

Raport științific final
(2022 - 2024)

Competiția:	Proiect de transfer la operatorul economic - PTE 2021
Nr. contract:	92PTE din 21/06/2022
Cod proiect:	PN-III-P2-2.1-PTE-2021-0589
Domeniul de cercetare:	3.1 - Energie
Titlul :	Validarea prototipului de Micro-Turbină Eoliană cu Ax Vertical pentru Integrarea în Arhitectura Urbană
Acronim:	VMVAWT
Data începere proiect:	21/06/2022
Data finalizare proiect:	20/06/2024
Durata (luni):	24
Buget total:	1.376.620,00 [RON]
Sursa 1 Bugetul de stat	1.193.105,00 [RON]
Sursa 2 Alte surse atrase (cofinanțare):	183.515,00 [RON]
Pagina web proiect:	https://www.rolix.ro/proiecte_cercetare/copacel.htm
Instituția coordonatoare:	SC ROLIX IMPEX SERIES SRL
Director de proiect:	Ing. DURAN Bogdan
Partener 1 proiect (P1):	INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE TURBOMOTOARE - COMOTI

1. *Prezentare generală a realizării obiectivelor proiectului, cu punerea în evidență a rezultatelor și gradul de realizare a obiectivelor. Prezentarea trebuie să includă explicații care să justifice diferențele (dacă există) dintre activitățile preconizate și cele realizate.*

Energia a fost și va fi în continuare principalul indicator de stabilitate al oricărei economii. Există multe tipuri diferite de energie. Energia potențială este energia disponibilă datorită poziției dintre particule, de exemplu:- apa stocată într-un baraj, energia dintr-un arc comprimat dar și energia stocată în molecule (benzină) . Energia cinetică este energia disponibilă în mișcarea particulelor, iar energia eoliană este un exemplu în acest sens. Există multe exemple de energie: mecanică, electrică, termică, chimică, magnetică, nucleară, biologică, mareică, geotermală și așa mai departe . O revoluție a energiei regenerabile este speranța pentru un viitor durabil. În mod clar, viitorul aparține surselor de energie curate și celor care se pregătesc pentru el acum.

Energiile solară și eoliană oferă adesea opțiuni cu cel mai mic cost pentru dezvoltarea economică și comunitară în regiunile rurale din întreaga lume, în timp ce furnizează energie electrică, creează locuri de muncă locale și promovează dezvoltarea economică cu resurse de energie curate. Viitorul va fi un amestec de tehnologii energetice cu surse regenerabile precum solar, eolian și biomasă, care joacă un rol din ce în ce mai important în noua economie energetică globală . Energia eoliană apare ca urmare a energiei solare. Aproximativ 1% până la 2% din energia provenită de la soare este convertită în energie eoliană . Turbinele eoliene valorifică energia cinetică a vântului și o

transformă în energie electrică. Acest lucru se realizează prin rotirea palelor profilate aerodinamic, care acționează un arbore conectat la un generator. Turbinele eoliene pot fi utilizate pentru a furniza energie electrică caselor (în special în zonele rurale), clădirilor și chiar unei societăți. Electricitatea produsă poate fi stocată în baterii pentru utilizare atunci când viteza vântului este prea mică pentru a produce electricitate sau când vântul este prea puternic (se poate deteriora turbina - în acest caz, turbina eoliană poate fi oprită pentru a preveni supraîncălzirea generatorului).

Producția de energie a turbinei eoliene depinde de interacțiunea dintre rotor și vânt. Experiența a arătat că aspectele majore ale performanței turbinei eoliene (puterea medie și sarcinile medii) sunt determinate de forțele aerodinamice generate de vântul de putere medie.

Prezenta propunere de proiect a avut 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 s-a urmărit 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. Implementarea unui astfel de proiect va duce la creșterea competitivității mediului economic prin asimilarea rezultatelor din cercetarea științifică anterioară a organizației partenere și transferul acestora la firma coordonatoare în vederea dezvoltării și fabricării prototipului. În urma validării acestuia în condiții reale de exploatare, se va oferi pieței un sistem operațional competitiv.

Obiectivele specifice ale proiectului au constat în stabilirea componentelor și geometriei prototipului, fabricarea și asamblarea acestuia, precum și instalarea și instrumentarea lui în vederea efectuării testelor în condiții reale de funcționare. Prin îndeplinirea acestor obiective specifice s-a dezvoltat și fabricat un prototip pentru un produs inovativ în domeniul furnizării de energie regenerabilă.

Realizarea proiectului va contribui la vizibilitatea României pe plan internațional în domeniul energetic, având un grad mare de actualitate raportat la cerințele mediului socio-economic la nivel european.

2. Prezentarea și argumentarea nivelului de maturitate tehnologică (TRL) la finalul proiectului.

Propunerea de proiect a permis realizarea trecerii de la cercetarea științifică la aplicația inginerescă și practică. Astfel, s-a pornit de la un nivel de maturitate tehnologică (TRL) 4 și în final s-a atins TRL 6.

Anterior depunerii de proiect a fost atins nivelul de maturitate tehnologică 4 prin testarea și validarea în condiții de laborator a diferitelor componente din sistemul propus. Printre elementele studiate și testate în condiții de laborator se numără și configurația unui generator, care va fi ulterior adaptat pentru incorporarea sa în cadrul sistemului eolian propus spre validare, ilustrat în figura 1.



Fig. 1. Generator



Fig. 2. Sisteme electronice pentru turbina eoliană

De asemenea, au fost testate și diferite ansamble electronice necesare sistemului eolian de tip copac dezvoltat, cum ar fi sistemul de control date (Fig. 2.a), o sursă de alimentare (Fig. 2.b), frână electrodinamică (cu modul de schimbare tensiune alternativă în tensiune continuă - Fig. 2.c), modul GPRS (General Packet Radio Services - pentru monitorizarea parametrilor mecanici ai turbinei eoliene, cum ar fi vibrația stâlpului - Fig. 2.d), modul principal de control date (Fig. 2.e), senzor de temperatură pentru generator și modul meteo (pentru colectare date cu privire la viteza și direcția vântului, umezeală, temperatură aer).

Pornind de la rezultatele generate de cercetarea științifică efectuată anterior depunerii de proiect, s-a dorit fabricarea, asamblarea și validarea prototipului de turbina eoliană copac cu micro-turbine, în vederea testării acestuia în condiții de funcționare similare celor reale, dintr-un mediu relevant aplicațiilor identificate. Ca rezultat al implementării proiectului, s-a atins nivelul de maturitate tehnologică 6 prin dobândirea unor informații cu privire la comportamentul întregului ansamblu în mediu relevant (industrial). În urma rezultatelor testelor efectuate s-a putut cuantifica diferențele induse de efectele de scară în raport cu aplicația practică și s-a validat capabilitatea prototipului de a îndeplini funcțiile necesare sistemului operațional ce va deriva din el. Astfel, prin evaluarea modelului la scară reală în mediu industrial s-a făcut validarea sistemului propus, realizându-se corelația dintre cercetarea științifică și aplicația practică.

Asamblarea și instalarea prototipului a fost realizată de către coordonatorul proiectului, SC Rolix Impex Series SRL. În figura 3 este ilustrat prototipul de turbina eoliană.



Fig. 3. Prototipul de turbină eoliană instalat

În ceea ce privește fabricarea prototipului, sunt prezentate succint mai jos etape din procesul tehnologic de fabricare și instalare a întregului ansamblu.

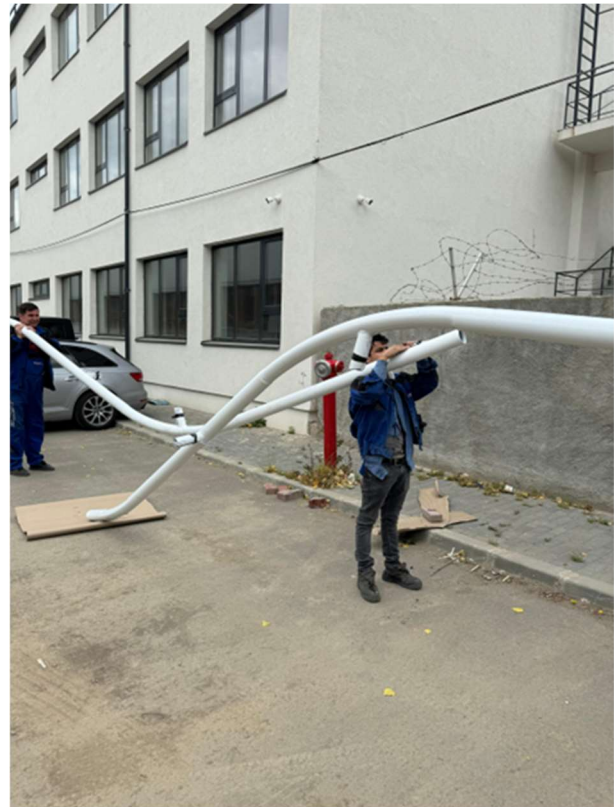


Fig. 4. Pregătirea ramurilor principale



Fig. 5. Instalarea ramurilor principale pe placa suport



Fig. 6. Asamblarea celor 27 de turbine eoliene



Fig. 7. Turbinele eoliene montate pe ramurile secundare

3. Gradul de atingere a rezultatelor estimate (prezentarea produsului/tehnologiei sau a serviciului rezultat al proiectului).

Una dintre cele mai mari provocări întâmpinate în derularea unui proiect este reprezentată de managementul resurselor, iar pentru preîntâmpinarea eșecului în cercetare generat de utilizarea defectuoasă a resurselor se consideră o măsură de prevenție experiența persoanelor aflate în poziții de conducere din prezenta propunere de proiect. Totuși, pentru a se asigura un grad mare de îndeplinire a rezultatelor preconizate, proiectul a fost împărțit în patru pachete de lucru, unul de management și diseminare și 3 care cuprind atât activități de cercetare industrială cât și dezvoltare experimentală. Prin activitățile de cercetare industrială/ dezvoltare experimentală se numără: - dimensionarea și realizarea documentației tehnice de execuție a prototipului; - realizarea prototipului; - instalarea și testarea prototipului în condiții relevante de funcționare.

Proiectarea prototipului și evaluarea eficienței turbinei eoliene a avut la bază teoria din literatură de specialitate, unde estimarea puterii generate de o turbină de vânt este direct proporțională cu cubul vitezei vântului. În tabelul 1 sunt prezentate caracteristicile unei turbine eoline de tip Savonius ce au fost utilizate în realizarea celor 27 de micro-turbine care au alcătuit prototipul.

Tabel 1. Caracteristicile turbinei eoline

P 200[W]							
ρ [kg/m ³]	V[m/s]	c_p	A [m ²]	Dt [m]	H [m]	$\beta = e/Dt$	e
1,225	14	0,25	0,48	0,5	1	0	0
				d [m]		0,1	0,05
				0,25		0,2	0,1

Folosind un cod dezvoltat în cadrul INCDT COMOTI, au fost estimate performanțele conceptului de turbină pentru diferite viteze ale vântului. În figura de mai jos sunt prezentate rezultatele.

Randament [%]	25
Densitate aer	1.225
Putere Turbina nominal [W]	200
Viteză nominal [m/s]	14
Înălțime [m]	0.475992
Diametru nominal [m]	0.475992
Viteză vântului [m/s]	1 2 3 4 5 6 7 8
Diametru [m]	0.476 0.476 0.476 0.476 0.476 0.476 0.476 0.476
Înălțime [m]	1 1 1 1 1 1 1 1
Turație RPM	40.144 80.288 120.432 160.576 200.721 240.865 281.009 321.153
0.8	32.115 64.231 96.346 128.461 160.576 192.692 224.807 256.922
Putere vânt	0.292 2.332 7.872 18.659 36.443 62.974 100.000 149.271
Putere turbină [W]	0.073 0.583 1.968 4.665 9.111 15.743 25.000 37.316

32.4km/h	36km/h	39.6km/h	43.2km/h	46.8km/h	50.4km/h	54km/h	57.6km/h
9	10	11	12	13	14	15	16
0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476
1	1	1	1	1	1	1	1
361.297	401.441	441.585	481.729	521.873	562.018	602.162	642.306
289.038	321.153	353.268	385.383	417.499	449.614	481.729	513.845
212.536	291.145	388.047	503.790	640.525	800.200	983.965	1194.160
53.134	72.886	97.012	125.948	160.131	200.000	245.591	296.542

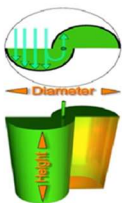


Fig. 8. Rezultate analitice

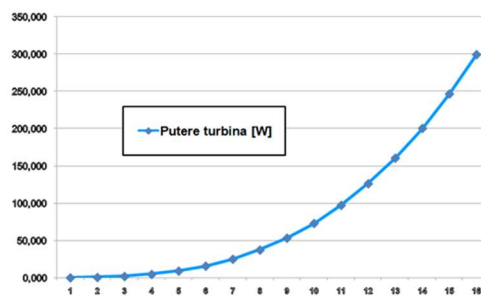


Fig.9. Puterea turbinei în funcție de viteză

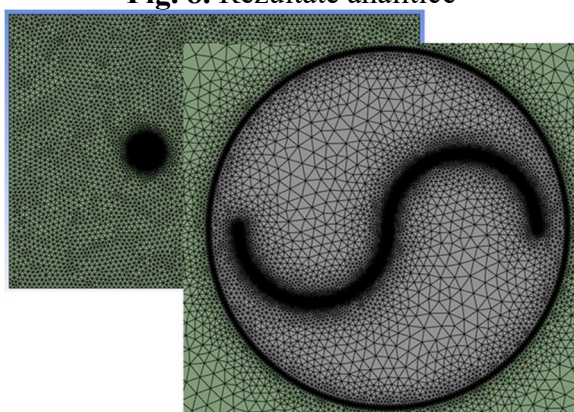


Fig. 10. Grila de calcul

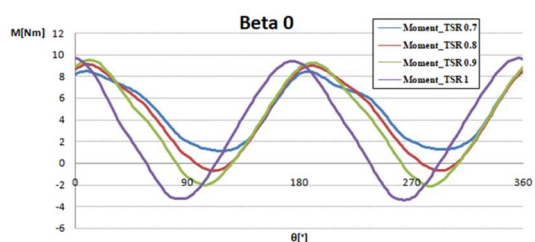


Fig. 11. Variația momentului

Procesul de proiectare asistat de calculator nu diferă față de proiectarea propriu-zisă, ca etape, însă acestea sunt redefinite astfel: a). analiza nevoilor; b). stabilirea/definirea problemei; c). realizarea modelului; d). analiza; e). revizuirea proiectului și reevaluarea acestuia; f). elaborarea documentației de execuție.

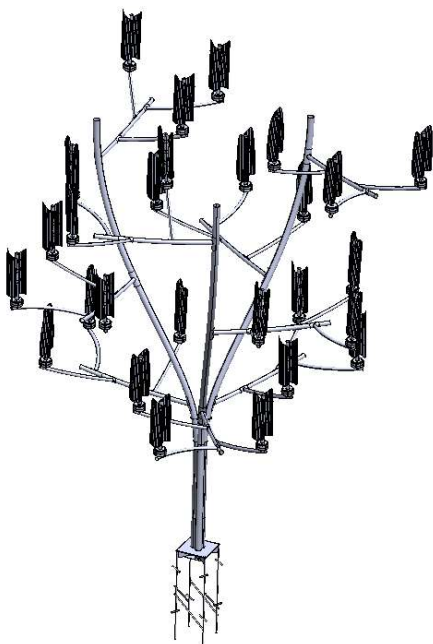


Fig. 12. Ansamblu 3D turbină eoliană

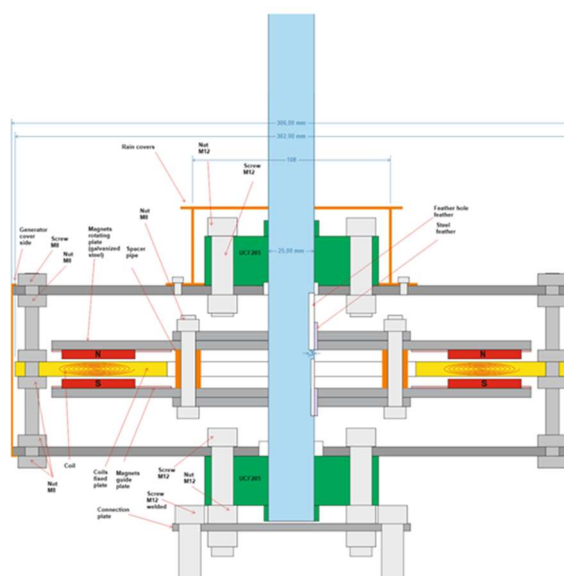


Fig. 13. Structura generator

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.



Fig. 14. Subansamblu turbină eoliană

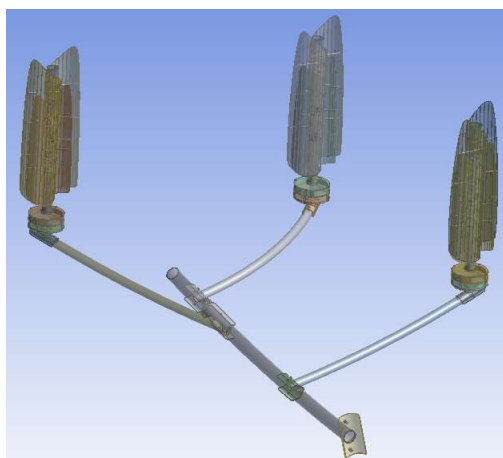


Fig. 15. Subansamblu 3 turbine

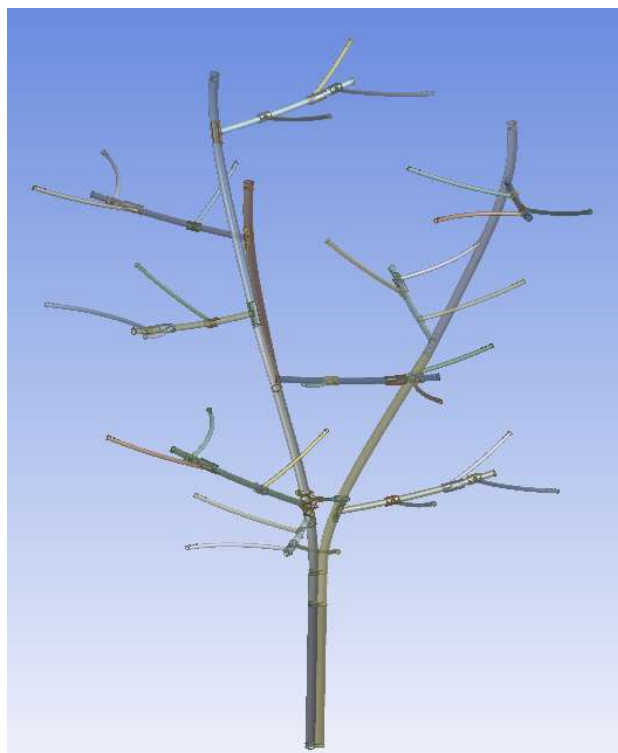


Fig. 16. Subansamblu ramuri

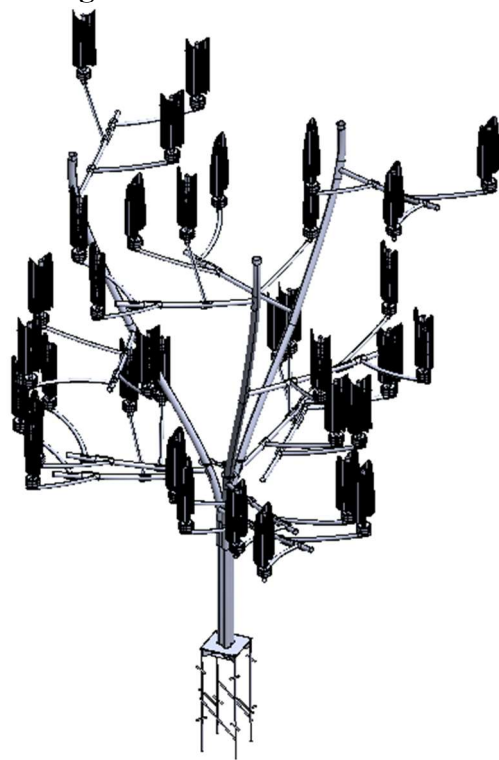


Fig. 17. Ansamblu concept

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.

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



Fig. 18. Decuparea cu ajutorul laser a suportilor de pale

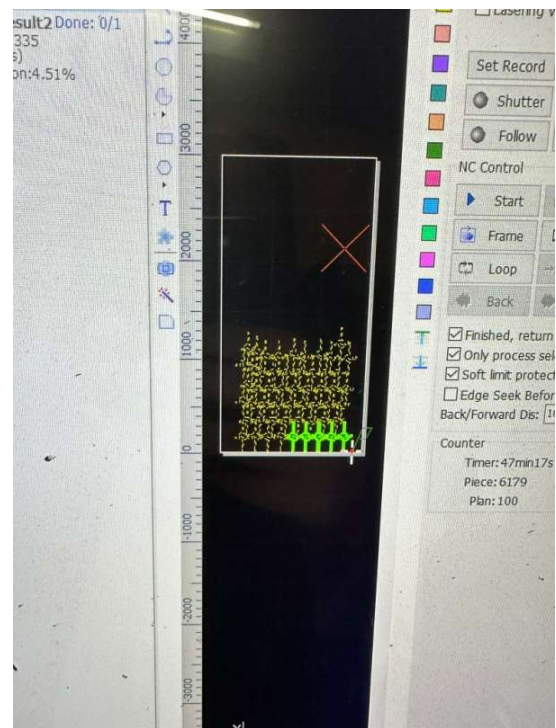


Fig. 19. Setarile pentru procesul de taiere



Fig. 20. Prelucrarea axului de turbina eoliana



Fig. 21. Cele 27 de axe pentru turbinele eoliene ce vor forma structura de copacel



Fig. 22. Prelucrarea axelor pentru conexiunea la generatoarele electrice



Fig. 23. Sablon pentru deformarea bratelor palelor de turbina eoliana

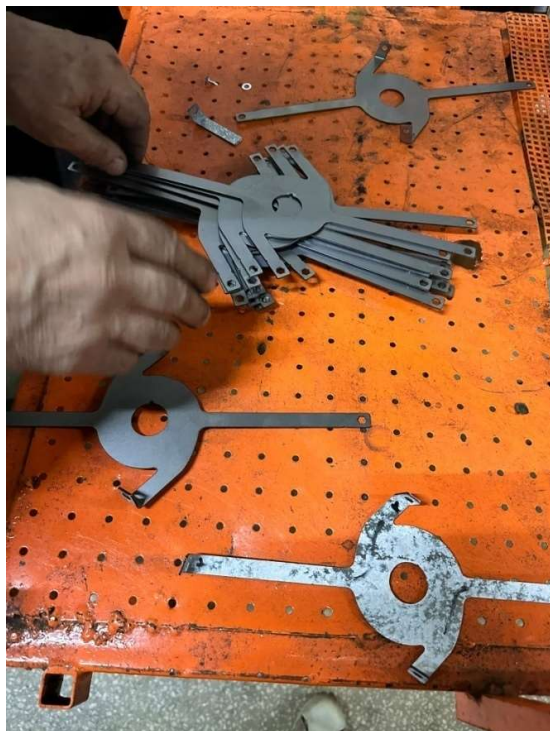


Fig. 24. Verificarea bratelor



Fig. 25. Prelucrarea bratelor pe abkant



Fig. 26. Semifabricat pala



Fig. 27. Pala de turbina eoliana



Fig. 28. Vopsirea palelor

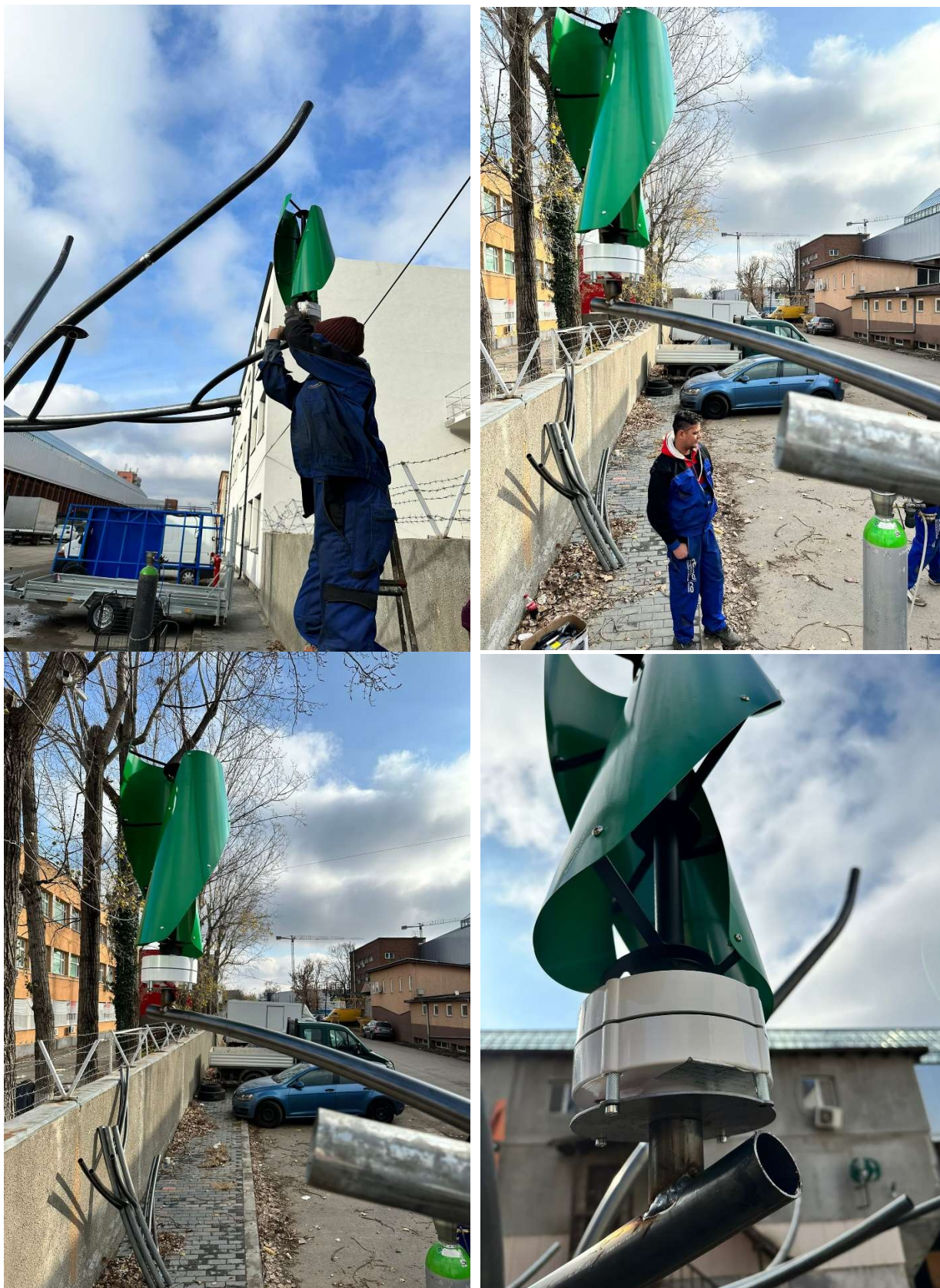


Fig. 29. Fixarea turbinelor eoliene pe ramuri

Testarea în reale de funcționare este un pas indispensabil și complex în dezvoltarea și optimizarea turbinelor eoliene. Obiectivele principale ale testării pentru turbine eoliene

cuprind o gamă largă de aspecte, printre acestea se numără: - analiza aerodinamică; - integritate structurală; - reducerea zgomotului; - performanța; - validare și certificare.

Testarea în condiții reale de funcționare este un proces critic utilizat în mai multe domenii pentru a evalua performanța aerodinamică a obiectelor și pentru a studia fluxul de aer în jurul lor. În figura 30 este prezentată schema întregului ansamblu pentru testare.

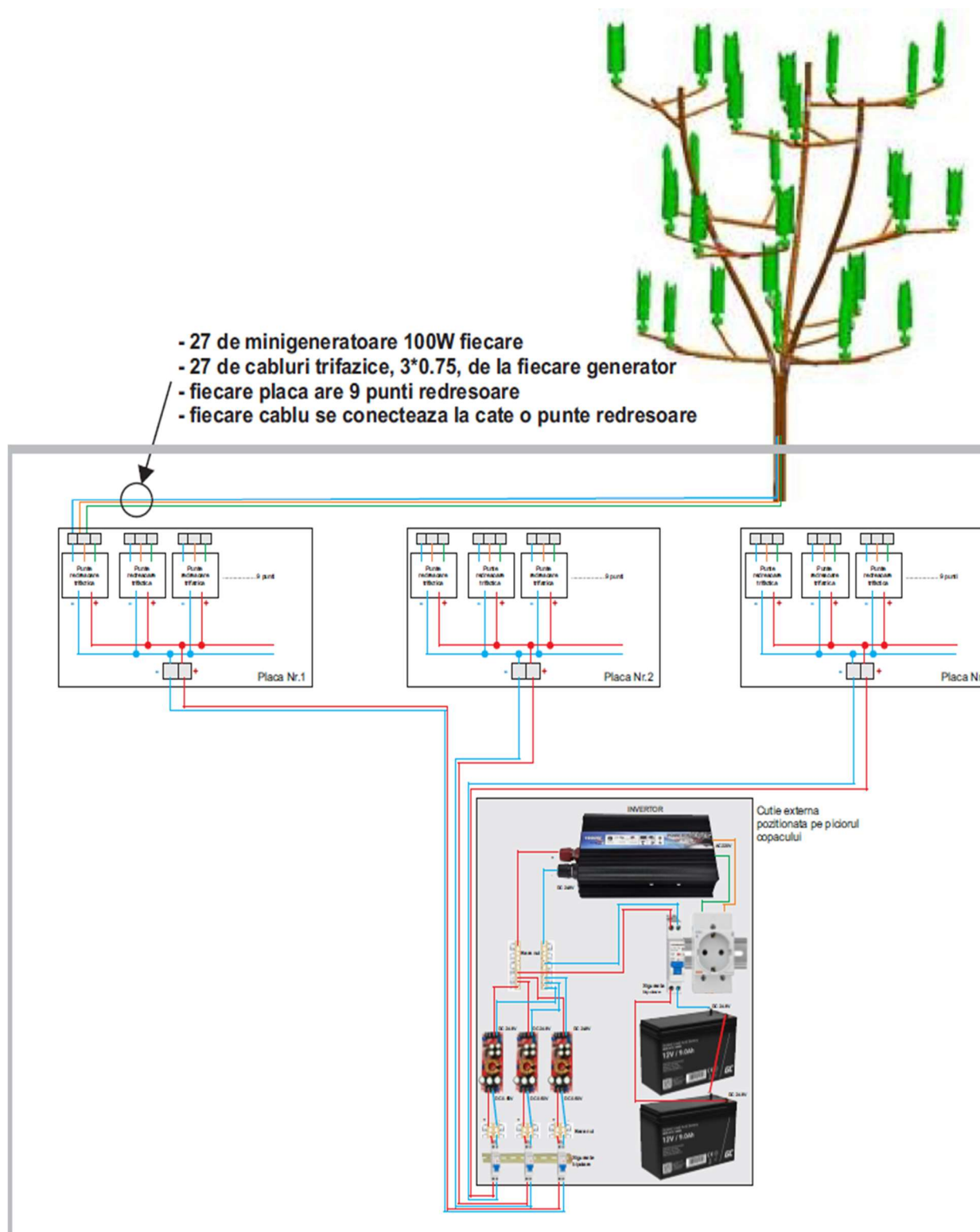


Fig. 30. Schema întregului ansamblu pentru testare

Procedura pentru evaluarea experimentă implică de obicei următorii pași: - definirea obiectivelor; - pregătirea modelului; - instrumentație; - calibrare; - colectarea datelor; - analiza datelor; - testare iterativă; - raportare; - documentație.

Evaluarea experimentală a avut loc în condiții reale de funcționare pe platforma de lucru a coordonatorului proiectului, unde prototipul a fost instalat. După colectarea datelor experimentale, acestea au fost prelucrate în vederea obținerii performanțelor. Puterea a fost determinată ca fiind produsul dintre intensitatea și tensiunea electrică măsurate.

În graficele următoare sunt reprezentate puterea în funcție de viteză, evoluția turației în funcție de viteză și variația coeficientului de putere cu TSR-ul pentru o ramură principală.

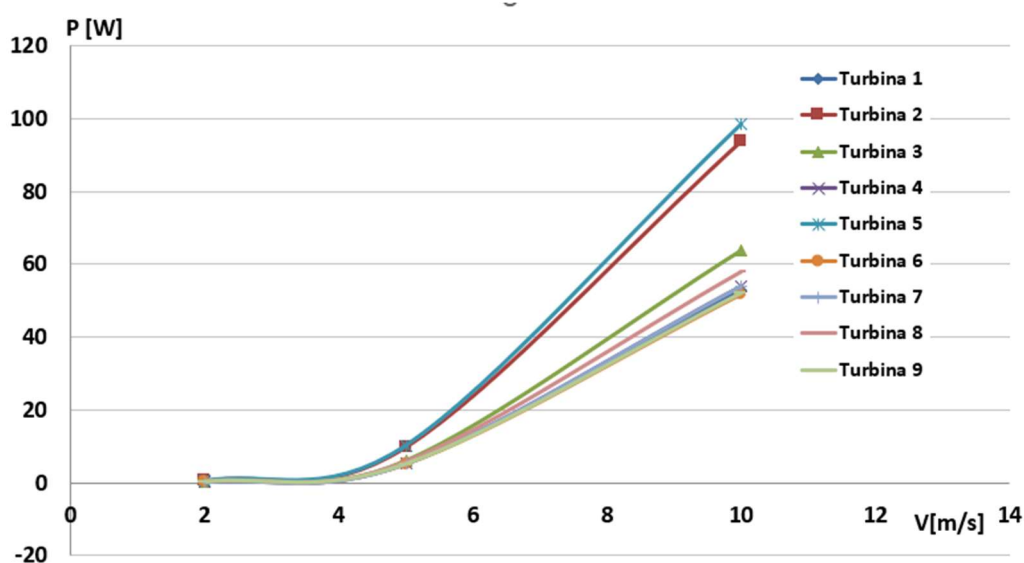


Fig. 31. Putere vs viteza curentului de aer – ramura principala 1

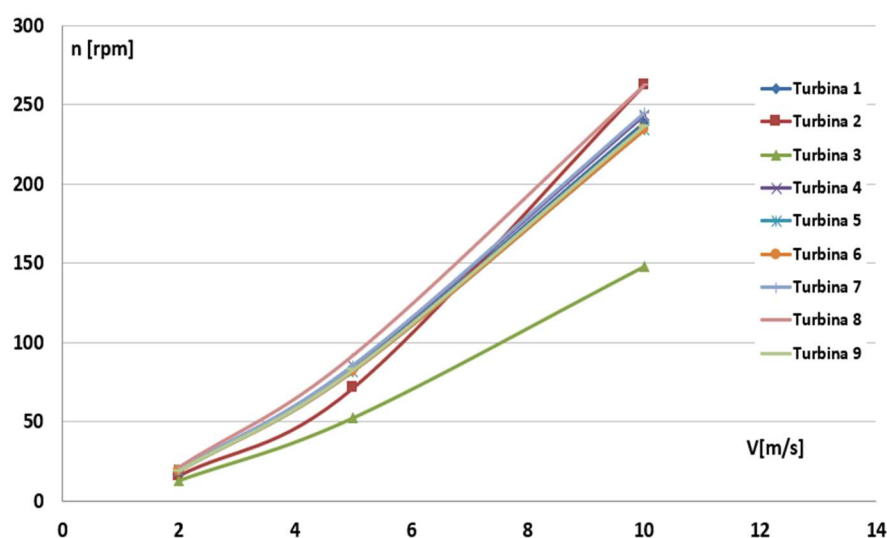


Fig. 32. Turație vs viteza vântului - ramura principala 1

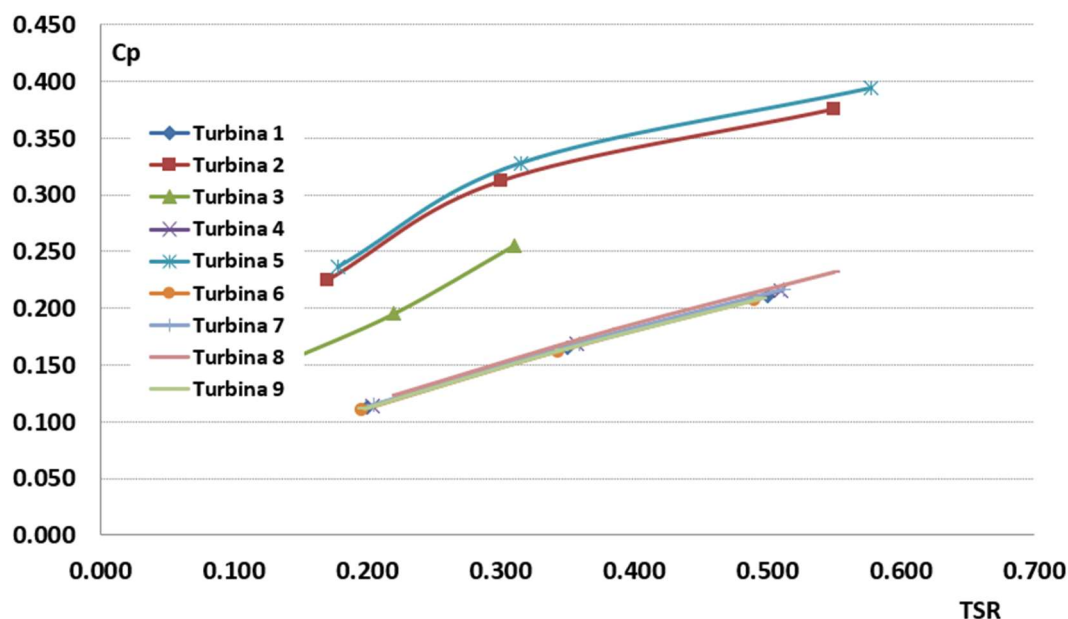


Fig. 33. Coeficientul de putere vs TSR - ramura principală 1

4. Impactul rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.

Propunerea de proiect a avut ca obiectiv principal 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.

Proiectul a fost împărțit în trei etape: 1 - realizarea proiectării prototipului cu ajutorul unui cod dezvoltat de către institut care are la bază teoria clasică de dimensionare a unei turbine eoliene. Astfel au rezultat dimensiunile de gabarit ale unei turbine eoliene (diametru, înălțime, număr de pale, turație nominală, etc). Iar pentru evaluarea eficienței au fost utilizate metodele CFD în 2D pentru diferite configurații; 2- au fost întreprinse activități de realizare a desenelor de ansamblu, stabilirea protocolului tehnologic, verificarea ansamblului, fabricarea componentelor prototipului și asamblarea acestora; 3 - au fost realizate asamblarea și instalarea prototipului, definirea procedurii și a condițiilor de testare și au fost făcute măsurători în condiții reale de funcționare.

5. **Detalii privind exploatarea și diseminarea rezultatelor proiectului.**

Pentru exploatarea rezultatelor proiectului vor urma etape ce au în vedere atingerea nivelului 9 de maturitate tehnologică care au la bază și omologarea prototipului dar și realizarea unei serii de producție, cum este prevăzută în planul de afaceri. Pentru omologare se va lua în calcul testarea prototipului în baza experimentală din Delta Dunării, de la Sfântu Gheorghe.

În ceea ce privește procesul de diseminare în etapa a2a, a proiectului, 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 ". Deasemenea 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. Iar în etapa a3a s-a participat la o conferință internațională, unde a fost afișat posterul proiectului. Deasemenea a fost trimis spre publicare articolul „*High-precision numerical investigation of a VAWT starting process*" într-un jurnal ISI cu factor de impact 5,2. Totodată a fost actualizată/ realizata și pagina web a proiectului.

6. *Prezentarea livrabilelor/indicatorilor obținuți la finalul proiectului comparativ cu cei propuși.*

Nr. crt.	Livrabile/indicatori planificați	Nr.	Livrabile/indicatori realizați	Nr.
1.	Raport: Crearea și actualizarea paginii web	1	Raport: Crearea și actualizarea paginii web	1
2.	Publicarea de lucrări științifice	3	Publicarea de lucrări științifice	3
3.	Afișul de prezentare al proiectului	1	Afișul de prezentare al proiectului	1
4.	Modele pentru componentele prototipului	1	Modele pentru componentele prototipului	1
5.	Geometria finală a prototipului	1	Geometria finală a prototipului	1
6.	Analiza rezistenței structurii	1	Analiza rezistenței structurii	1
7.	Echipamentele auxiliare	1	Echipamentele auxiliare	1
8.	Documentația tehnică de execuție a prototipului	1	Documentația tehnică de execuție a prototipului	1
9.	Protocolul tehnologic	1	Protocolul tehnologic	1
10.	Componentele prototipului	1	Componentele prototipului	1
11.	Achiziția echipamentelor auxiliare	1	Achiziția echipamentelor auxiliare	1
12.	Asamblarea componentelor prototipului	1	Asamblarea componentelor prototipului	1
13.	Procedura și condițiile de testare	1	Procedura și condițiile de testare	1
14.	Locație instalare și sistem de ancorare	1	Locație instalare și sistem de ancorare	1
15.	Asamblarea și instalarea prototipului	1	Asamblarea și instalarea prototipului	1
16.	Testarea prototipului	1	Testarea prototipului	1
17.	Post-procesarea datelor	1	Post-procesarea datelor	1

Director de proiect
(Nume, prenume, semnătura)
Ing. DURAN Bogdan

Data: