



Bostan Viorel
Bostan Ion
Dulgheru Valeriu
Zaporojan Sergiu
Secieru Nicolae
Guțu Marin
Rabei Ion

SISTEME INTELIGENTE DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE Aplicații

Chișinău - 2022

CZU 620.97

S 61

Trăim poate mai mult ca oricând în istorie, într-o civilizație puternic afectată de probleme globale ale Omenirii, una dintre care este Problema Energiei și poluarea mediului. Energiile regenerabile sunt cele care pot rezolva această problemă. „*Secolul al XIX-lea a fost al aburilor, secolul al XX-lea – al electricității, iar al XXI-lea va fi al energiilor regenerabile sau nu va fi deloc*”, spun specialiștii în domeniu.

Monografia își propune să familiarizeze cercetătorii, studenții, micii consumatori cu sisteme inteligente de conversie a celor mai utilizabile surse de energie regenerabilă cum ar fi eoliană și solară (fotovoltaică și termică), cu posibile căi de optimizare a funcționării lor.

Monografia înserează unele soluții conceptuale de sisteme inteligente de conversie a energiilor eoliană și solară, de asemenea, hibride, protejate cu brevete de invenție, de metode de monitorizare predictivă și de optimizare a funcționării lor, de asemenea, aplicații de sisteme inteligente.

Scrisă într-un stil accesibil, cu accent pe inovare și aplicații practice a sistemelor inteligente de conversie, cu exemplificări adecvate, bazată pe o informație amplă și la zi, monografia își propune să familiarizeze cititorii cu cele mai răspândite sisteme de conversie a energiilor eoliană și solară, cu caracteristicile de bază, cu modele de simulări numerice a fenomenelor, care au loc în structura palei în timpul funcționării turbinei eoliene.

Monografia se adresează, în primul rând, cercetătorilor, studenților, masteranzilor și doctoranzilor din învățământul tehnic superior, inginerilor proiectanți de sisteme de conversie a energiilor eoliană și solară, și utilizatorilor acestora.

Redactor: Valeriu Dulgheru

Paginare computerizată: Valeriu Dulgheru, Sergiu Zaporojan,

Prelucrare imagini: Marin Guțu, Ion Rabei

Tipar: Bons Offices

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții din Republica Moldova

Sisteme inteligente de conversie a energiilor regenerabile: Aplicații / Bostan Viorel, Bostan Ion, Dulgheru Valeriu [et al.]. – Chișinău: S. n., 2022 (Bons Offices). – 200 p. Bibliogr.: p. 191-200 (95 tit.). – 200 ex.

ISBN 978-9975-166-49-2.

ISBN 978-9975-166-49-2

© UTM, 2022

CZU 620.9(075.8)

S61

Trăim poate mai mult ca oricând în istorie, într-o civilizație puternic afectată de probleme globale ale Omenirii, una dintre care este Problema Energiei și poluarea mediului. Energiile regenerabile sunt cele care pot rezolva această problemă. „*Secolul al XIX-lea a fost al aburilor, secolul al XX-lea – al electricității, iar al XXI-lea va fi al energiilor regenerabile sau nu va fi deloc*”, spun specialiștii în domeniu.

Monografia își propune să familiarizeze cercetătorii, studenții, micii consumatori cu sisteme inteligente de conversie a celor mai utilizabile surse de energie regenerabilă cum ar fi eoliană și solară (fotovoltaică și termică), cu posibile căi de optimizare a funcționării lor.

Monografia înserează unele soluții conceptuale de sisteme inteligente de conversie a energiilor eoliană și solară, de asemenea, hibride, protejate cu brevete de invenție, de metode de monitorizare predictivă și de optimizare a funcționării lor, de asemenea, aplicații de sisteme inteligente.

Scrisă într-un stil accesibil, cu accent pe inovare și aplicații practice a sistemelor inteligente de conversie, cu exemplificări adecvate, bazată pe o informație amplă și la zi, monografia își propune să familiarizeze cititorii cu cele mai răspândite sisteme de conversie a energiilor eoliană și solară, cu caracteristicile de bază, cu modele de simulări numerice a fenomenelor, care au loc în structura palei în timpul funcționării turbinei eoliene.

Monografia se adresează, în primul rând, cercetătorilor, studenților, masteranzilor și doctoranzilor din învățământul tehnic superior, inginerilor proiectanți de sisteme de conversie a energiilor eoliană și solară, și utilizatorilor acestora.

Redactor: Valeriu Dulgheru

Paginare computerizată: Valeriu Dulgheru, Sergiu Zaporojan,

Prelucrare imagini: Marin Guțu, Ion Rabei

Coperta: ?????????????????????????????????

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții din Republica Moldova

Sisteme inteligente de conversie a energiilor regenerabile: aplicații. V. Bostan, I. Bostan, V. Dulgheru, S. Zaporojan, N. Secrieru, M. Guțu, I. Rabei – Chișinău. S.n. 2021, 224 p. Tipogr. (Bons Offices”). ISBN XXXXXXXXXXXXXXXX. 300 ex.

CUPRINS

Prefață.....	7
CAPITOLUL I. Introducere.....	11
CAPITOLUL II. Sisteme inteligente de conversie a energiilor regenerabile: soluții conceptuale...	25
2.1. Generalități.....	25
2.2. Soluții conceptuale de sisteme inteligente de conversie a energiilor regenerabile.....	28
2.2.1. Sisteme inteligente de conversie a energiei eoliene.....	28
2.2.1.1. Metodă și dispozitiv de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor (Cerere de BI MD nr. S 2022 0030).....	29
2.2.1.2. Pală inteligentă a rotorului turbinei eoliene (BI 1127Y MD).....	44
2.2.1.3. Turbină eoliană cu ax orizontal (BI nr.4487 MD).....	48
2.2.1.4. Turbină eoliană cu ax orizontal cu control al puterii (BI nr.1553Y MD).....	52
2.2.1.5. Turbină eoliană cu ax orizontal cu orientare automată la direcția vântului (BI nr.4219 MD).....	55
2.2.1.6. Turbină eoliene cu ax vertical cu rotor elicoidal (BI nr.3847MD, 127909RO).....	59
2.2.1.7. Instalație de conversie a energiei eoliene (BI nr.1151Y MD).....	64
2.2.1.8. Turbină eoliană cu ax vertical cu protecție împotriva suprasolicității (BI nr. 1261Y MD).....	67
2.2.1.9. Turbine eoliene cu ax vertical cu control al puterii (BI nr. 1616Y MD, 1519Y MD).....	70

2.2.2.	Sisteme inteligente de conversie a energiei solare.....	78
2.2.2.1.	Procedeu și sistem inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice (Cerere de BI nr. A/00580 RO).....	79
2.2.2.2.	Instalație de orientare a panourilor fotovoltaice (BI nr. 4787 MD).....	88
2.2.2.3.	Instalație fotovoltaică tip „Floarea soarelui” (Cerere de BI nr. 133233 RO).....	96

**CAPITOLUL III. Aspecte privind optimizarea funcționării
sistemelor de conversie a energiei
regenerabile..... 105**

3.1.	Generalități.....	105
3.2.	Aspecte generale privind predictibilitatea funcționării turbinelor eoliene.....	106
3.2.1.	Introducere.....	106
3.2.2.	Mecanisme de defectare a palelor turbinei eoliene.....	107
3.2.3.	Elemente ale platformei de mentenanță predictivă.....	111
3.3.	Metode de optimizare a funcționării sistemului hibrid eolian-solar.....	117
3.3.1.	Noțiuni generale.....	117
3.3.2.	Algoritmi și scenarii.....	122
3.3.3.	Softul de optimizare HOMER.....	126
3.3.3.1.	Descrierea construcției unui sistem de generare a energiei.....	136
3.3.3.2.	Implementarea softului HOMER.....	138
3.3.4.	Optimizarea funcționării componentelor sistemului hibrid.....	141
3.3.4.1.	Optimizarea sistemelor hibride.....	141
3.3.4.2.	Metodologia de proiectare și optimizare.....	142

CAPITOLUL IV. Sisteme inteligente de conversie a	
	energiilor regenerabile. Aplicații..... 147
4.1.	Monitorizarea inteligentă a stării palelor unei turbine eoliene..... 147
4.1.1.	Abordarea problemei..... 147
4.1.2.	Modelarea numerică a palei turbinei eoliene..... 150
4.1.3.	Arhitectura sistemului de monitorizare..... 155
4.1.4.	Diagnosticul stării palei și implementarea contramăsurilor..... 162
4.1.5.	Construirea modelului predictiv: abordare preliminară... 165
4.2.	Monitorizarea și controlul sistemului autonom de irigare integrat cu instalații de conversie a energiilor regenerabile: eoliană, solară, hidrolică..... 168
4.2.1.	Aspecte generale..... 168
4.2.2.	Primul nivel al subsistemului de control al irigației..... 171
4.2.3.	Subsistemul de achiziție a datelor climatice de pe plantație..... 172
4.2.4.	Subsistemul pentru controlul și monitorizarea instalațiilor de conversie a energiilor regenerabile..... 176
4.2.5.	Subsistemul pentru controlul și monitorizarea funcționării pompelor de irigare..... 178
4.2.6.	Nivelul intermediar al subsistemului de control al procesului de irigare..... 180
4.2.7.	Nivelul superior al subsistemului de control al procesului de irigare..... 184
4.2.8.	Planificarea și controlul procesului de irigare..... 186
4.2.9.	Planificarea automată și controlul / reglarea cu „buclă închisă” 186

4.2.10.	Planificarea semi-automată și controlul / reglarea cu „ <i>buclă deschisă</i> ” (varianta A).....	188
4.2.11.	Planificarea manuală și controlul / reglarea cu „ <i>buclă deschisă</i> ” (varianta B).....	189
	Bibliografie	191

PREFAȚĂ

*„Secolul al XIX-lea a fost al aburilor, secolul al XX-lea
– al electricității, iar al XXI-lea va fi al energiilor regenerabile
sau nu va fi deloc”*



Suntem deja peste 8 miliarde de oameni pe glob și fiecare consumăm energie, zilnic, fără nici o pauză. O cantitate imensă de energie! Avem nevoie de energie să producem mâncare, să ne deplasăm la distanțe mai lungi sau mai scurte, să ne încălzim, să producem toate bunurile de larg consum, să construim, să comunicăm etc. În tot ce facem, avem nevoie din ce în ce mai multă energie! Energia asigură confort personal și mobilitate oamenilor și este esențială pentru realizarea de bogății industriale, comerciale și sociale. Astfel, întreaga omenire consumă an de an mai mult decât pot produce ecosistemele planetei. Întrebarea nu este dacă se vor termina resursele... ci când?

Din păcate actualmente pentru a produce această energie, folosim resurse imense, în principal, petrol, gaze, cărbuni, energie nucleară ș.a., dar producția și consumul de energie exercită presiuni considerabile asupra mediului (inclusiv producția de energie electrică și termică, rafinarea uleiului și utilizarea finală a acestuia în gospodării, servicii, industrie și transport). Aceste presiuni cuprind și emisiile de gaze cu efect de seră și poluanții atmosferici, utilizarea terenului, producerea deșeurilor și deversările de petrol. Toate acestea contribuie la schimbările climatice, exercită un impact extrem de negativ asupra ecosistemelor naturale și a mediului artificial, și cauzează efecte adverse asupra sănătății umane. Astfel sistemul energetic și automobilele provoacă în jur de 40% din totalul poluării naturii. În aceste domenii se cer soluții și măsuri de majorare a gradului de neutralitate a emisiilor.

Soluții nu sunt multe... Ar trebui să începem să folosim cât mai responsabil resursele, pe care încă le mai avem, să utilizăm cât mai multă energie din surse regenerabile sau să folosim inteligent energia gratuită, pe care ne-o dă soarele, vântul și apa, pentru a produce energia, de care avem

nevoie. Dacă nu vom face acest lucru vom rămâne foarte rapid fără resurse și cu o natură extrem de poluată!

Cu părere de rău astăzi „*Piața energetică se află încă în epoca de piatră*” – consideră Tobias Kurth de la firma de consultanță Energy Brainpool și expertul în energie de la WAGO Heiko Tautor [1]. Într-adevăr, ca și stră-strămoșii noștri ardem combustibili fosili (lemne) ca să obținem energie. Ca și acum 5000 de ani în urmă folosim roata hidraulică (modernizată) pentru a obține energie din curgerea apei. Ca și acum 3000 de ani în urmă folosim morile de vânt (modernizate) pentru a transforma energia vântului în energie utilă. Ca și acum peste două mii de ani în urmă, când ne-am învățat a concentra energia solară, folosim procedeul pentru a obține energie. Puțin ce s-a schimbat în aceste procedee.

Astăzi, lumea se bazează încă în mare măsură pe combustibilii fosili și chiar continuă să îi extragă. Între timp, poluarea pe care o provoacă, de la gaze cu efect de seră dăunătoare climei până la particule, care pun în pericol sănătatea, a atins niveluri record. Dar și catastrofele legate de extragerea și transportarea combustibililor (cum au fost recentele explozii la conductele magistrale Nord Stream I și II sau, de exemplu, explozia platformei petroliere Deepwater Horizon din 2010), au avut un impact distrugător asupra mediului. Este absolut clar că trebuie de trecut cât mai larg la producerea și consumul energiei verzi, regenerabile. Dar pentru aceasta pe lângă optimizarea sistemelor tehnice de conversie a energiei regenerabile este strict necesar de a revedea înseși „*pieța energetică*”, de a implementa la scară cât mai largă digitalizarea proceselor legate de energie (producere, conservare, consum).

Din 2011, energia regenerabilă crește mai rapid decât toate celelalte forme de energie. Energia regenerabilă a avut un alt an record în 2021, deoarece capacitatea de putere instalată a crescut cu peste 314 gigawați (GW) – cea mai mare creștere înregistrată vreodată. Aproape 29% din electricitatea noastră provine acum din energie regenerabilă, iar aceasta continuă să se dezvolte. În comparație cu tehnologiile convenționale de generare de energie electrică, sursele alternative / regenerabile de energie au următoarele avantaje:

- Resursele regenerabile de energie nu sunt numai surse regenerabile nonpoluante, dar și abundente. De exemplu, conform datelor din a. 2000,

resursele eoliene SUA pot produce energie electrică mai mult decât este necesar pentru asigurarea întregii națiuni cu energie electrică. Energia solară totală într-o zi de la suprafața solului este de aproximativ 1000 de ori mai mult decât consumul tuturor combustibililor fosili;

- Diferite surse de energie regenerabile se pot completa reciproc: chiar dacă resursele regenerabile de energie nu sunt distribuite uniform în întreaga lume, fiecare regiune are unele tipuri de resurse regenerabile de energie. Și resursele de energie diferite (cum ar fi energia solară și eoliană) se pot completa reciproc. Acest lucru este important de a îmbunătăți securitatea energetică a națiunilor;

- Aceste sisteme regenerabile / alternative de generare a energiei electrice au, în mod normal, structură modulară și pot fi instalate aproape de centrele de încărcare ca surse de generare distribuită (cu excepția turbinelor eoliene mari și fermelor PV). Prin urmare, nu sunt necesare linii de înaltă tensiune de transport a energiei electrice.

De menționat, de asemenea, că energia regenerabilă este o parte a soluției pentru atingerea obiectivului de neutralitate a emisiilor:

- *Electrificarea transporturilor și a sistemelor de încălzire, hidrogenul ca sursă de energie și infrastructura pentru rețele inteligente sunt zone prioritare de investiții;*

- *Corelarea capitalului cu capacitățile de producție sub aspectul neutralității emisiilor impune noi modele de investiții.*

În vederea atingerii obiectivului de neutralitate a emisiilor, sunt necesare investiții nu doar în producția de energie regenerabilă, ci și în electrificarea transporturilor și a sistemelor de încălzire, în producția de energie din hidrogen și în infrastructură pentru rețele inteligente, potrivit celei de-a 54-a ediții a raportului EY Renewable Energy Country Attractiveness Index (RECAI). „Europa poate deveni primul continent neutru din perspectiva emisiilor de gaze cu efect de seră până în 2050. Comisia Europeană este așteptată să prezinte un set de schimbări legislative în perioada următoare ce va impune modificări profunde în aproape fiecare element al economiei. Sectorul energetic, în mod general, și energia regenerabilă, în mod specific, sunt doar o parte a soluției”, a declarat Mihai Drăghici, Senior Manager, Departamentul de Consultanță

în Afaceri, EY România. Criza energetică actuală din Europa poate fi un stimulent major pentru apropierea de această „*neutralitate a emisiilor*”.

Raportul evidențiază măsura, în care se va accelera în viitor implementarea unor tehnologii cheie, în domenii precum generarea distribuită, vehiculele electrice și soluțiile de stocare a energiei. De asemenea, raportul subliniază că, pentru a respecta scenariul de dezvoltare durabilă al Agenției Internaționale pentru Energie, investițiile în energia regenerabilă ar trebui să se dubleze, de la 300 miliarde USD, alocate în 2018, la o medie anuală de 600 miliarde de USD, care vor atinge valoarea de 18,6 trilioane de USD până în 2050.

Astăzi se vorbește tot mai des despre case inteligente, rețele inteligente, sisteme inteligente, în general, de soluții inteligente în domeniul energiei. Acest domeniu devine un adevărat Eldorado, în care vor apărea multiple soluții de optimizare atât a sistemelor tehnice și funcționării lor, cât și a managementului energetic. Schimbările, pe care le vom vedea în sectorul energetic în viitorul apropiat, vor fi caracterizate de trei D: *decarbonizare, descentralizare și digitalizare*, care pe termen lung vor modela o economie energetică mai rezistentă, cu mai puțină volatilitate.

Monografia a fost elaborată în cadrul proiectului Program de Stat nr. 20.80009.7007.10 „*Studiul potențialului energetic eolian și solar al Republicii Moldova și elaborarea sistemelor de conversie pentru consumatori dispersați*”, 2022.

Capitolul 1. INTRODUCERE

Natura ne furnizează numeroase surse de energie, incluzând energiile regenerabile (energia solară, eoliană, a apelor curgătoare, valurilor oceanelor și mărilor, mareelor ș.a.) și neregenerabile (gaze naturale, petrol, uraniu, cărbune). Omul utilizează diverse forme de energie regenerabilă încă din cele mai vechi timpuri. Lumina solară și lemnul au fost surse de căldură, animalele de tracțiune – sursă de energie mecanică, vântul a pus în mișcare corăbiile și morile de vânt. Mai târziu a început să fie folosit cărbunele și alte resurse energetice fosile, care s-au format de milioane de ani, dar care, practic, au fost deja consumate timp de 200-300 de ani [2]! Analiza fig. 1.1 arată că energiile regenerabile sunt practic inepuizabile.

Esențială pentru generarea bunăstării industriale, comerciale și societale, energia asigură, de asemenea, confort personal și mobilitate. De aceea se observă o creștere continuă a consumului în lume, cu toate că consumul devine tot mai eficient (fig. 1.2).

Totuși, producția și consumul acestora pun o presiune considerabilă asupra mediului: emisii de gaze cu efect de seră și de gaze poluante, utilizarea terenurilor, generarea de deșuri și scurgeri de petrol. Aceste presiuni contribuie la schimbări climatice, dăunează ecosistemelor naturale și mediului antropic și au efecte adverse asupra sănătății oamenilor.

Majoritatea țărilor se bazează pe combustibili fosili (petrol, gaze naturale și cărbune) pentru a-și satisface cererea de energie. Arderea acestor combustibili eliberează căldură, care poate fi transformată în

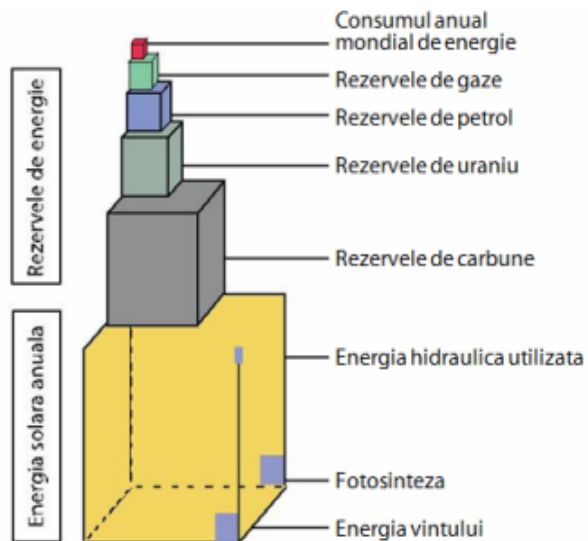


Fig. 1.1. Rezerve de energie verde.

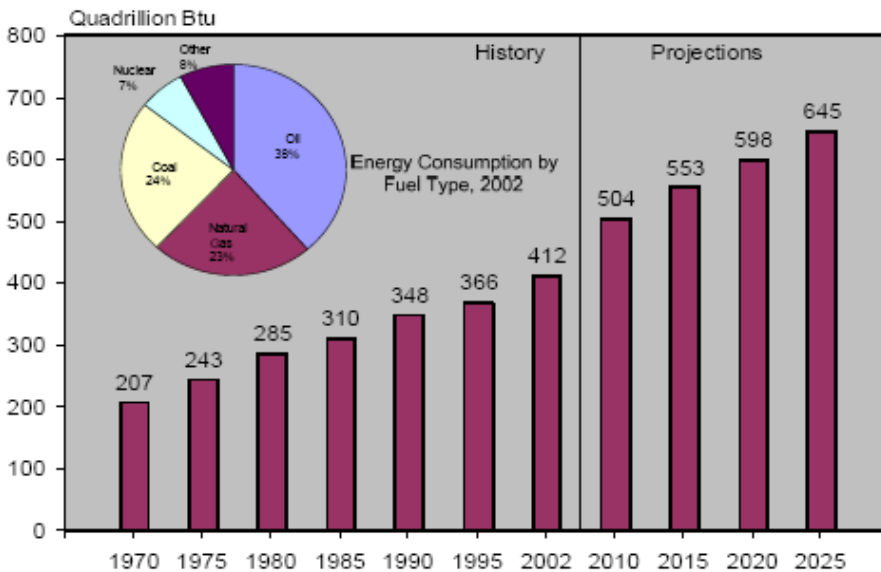


Fig. 1.2. Consumul mondial de energie 1970-2025.

energie. În cadrul procesului, carbonul din combustibil reacționează cu oxigenul, producând CO_2 , care este eliberat în atmosferă. De asemenea, se eliberează și poluanți atmosferici (dioxid de sulf, oxizi și particule de azot), cu impact asupra calității aerului.

Consumul global de energie electrică este de așteptat să crească cu mai mult de 50% până în 2025, se arată în figura 1.2. Aproximativ 24% din cererea de energie electrică totală în 2003 era consumată de către SUA și se anticipează să crească cu 44% în primul trimestru al secolui XXI. Mai mult decât atât, cererea de energie electrică din regiuni economice emergente, cum ar fi China și India, este în creștere chiar mai repede. Pentru a satisface cererea de energie electrică la nivel mondial în viitor este necesară o extindere a capacității de generare instalată. Capacitățile de generare a energiei electrice este de așteptat să crească de la 3626 GW (gigawați) în 2003 la 5495 GW în 2025 (fig. 1.3), la o rată medie de 2,2 la sută anual de creștere. Procentual capacitatea producătoare de energie electrică din SUA comparativ cu capacitatea totală de generare în lume este în scădere. În conformitate cu estimarea de Energy Information Administration (EIA) aceasta scade de la aproximativ 25% în 2003 la aproximativ 20% în 2025 (fig. 1.3). Cu toate acestea, capacitatea de generare de energie electrică din SUA este încă de așteptat să crească

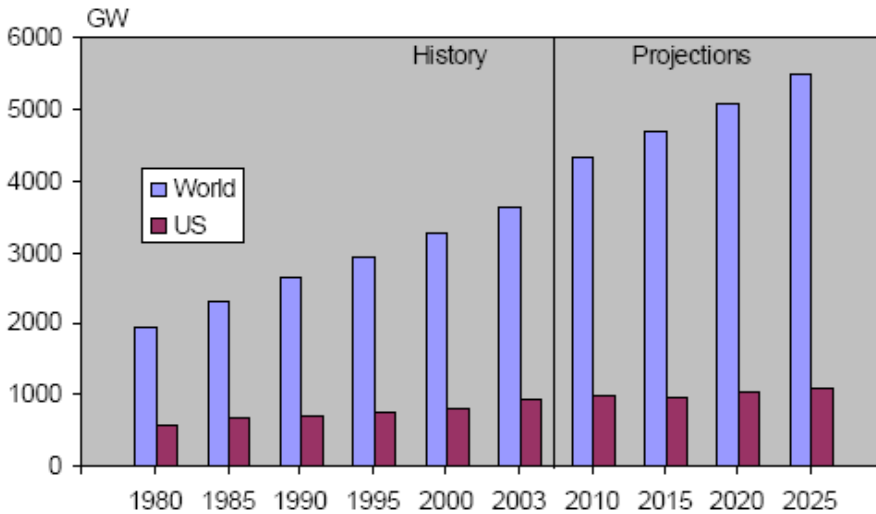


Fig. 1.3. Generarea de energie electrică la nivel global și în SUA. 1980-2025.

aproximativ cu 38%, 2000 - 2025. Prin compararea datelor privind consumul de energie electrică în Figura 1.2 și a datelor privind capacitatea de generare în Figura 1.3, se remarcă faptul că consumul de energie electrică din SUA crește mai repede decât capacitatea de producție. Dacă această tendință nu va fi inversată, este de așteptat că Statele Unite ar trebui să importe energie electrică mai mult în viitorul apropiat. În caz contrar, marja de rezervă a sistemului de întreaga putere în Statele Unite se va micșora, ceea ce va compromite stabilitatea sistemului și fiabilitatea de livrare de putere.

Europeanul mediu utilizează 27 de megawați-oră (MWh) pe an, incluzând toate sursele domestice, industriale și de transport. Această cifră variază mult de la o țară la alta, după cum variază și emisiile de CO₂ aferente, care depind foarte mult de măsura, în care energia regenerabilă și cea nucleară au pătruns în țara respectivă (fig. 1.4). Transportul, sectorul dependent de energie cu cea mai rapidă creștere din 1990, este în prezent cel mai mare consumator de energie.

Combustibilii fosili sunt încă dominanți în mixul de combustibili: aproximativ 77% din nevoile energetice ale europeanului mediu sunt satisfăcute de petrol, gaze naturale și cărbune. Acest lucru îl demonstrează și actuala criză energetică din Europa, și nu numai, bazată în mare parte de

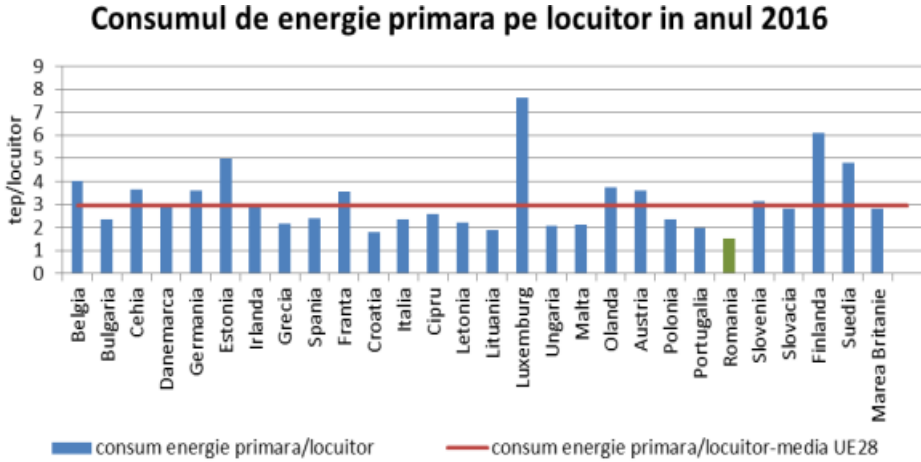


Fig. 1.4. Consumul energie primară/locuitor UE.

dependența de gazul rusesc. Energia nucleară asigură 14% (actualmente, în legătură cu criza energetică, unele țări europene și-au reorientat atenția asupra acestui domeniu important de obținere a energiei), iar restul de 9% este asigurat din surse de energie regenerabile. Cu toate acestea, energia regenerabilă prezintă o creștere rapidă. În 2010, instalațiile solare fotovoltaice au reprezentat cea mai mare sursă de capacitate nou instalată, urmată de gazele naturale și apoi de energia eoliană. În ceea ce privește energia nucleară, capacitatea dezafectată a fost mai mare decât cea instalată [3].

Ponderea energiei din surse regenerabile în UE a crescut de aproape două ori între 2004 și 2018 [4]. Un rol important în acest sens l-a jucat Directiva 2009/28/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 23 aprilie 2009 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile.

Ponderea energiei electrice produse din surse regenerabile în consumul final brut de energie a ajuns la 17% în anul 2016, în Uniunea Europeană (UE), dublu față de proporția de 8,5% atinsă în 2004 - primul an pentru care sunt date disponibile, conform Eurostat [5]. Ponderea surselor regenerabile de energie în consumul final brut de electricitate a fost unul dintre principalii indicatori ai strategiei Europa 2020 și rămâne pentru strategia Europa 2030. UE a urmărit ca țările din blocul comunitar să atingă o cotă de 20% din consumul final brut de energie din surse regenerabile până în 2020 și de minimum 27% până în 2030. România este

printre cele 11 state membre, care și-au atins deja ținta în materie pentru 2020. În 2018, Suedia a înregistrat de departe cea mai mare pondere a energiei din surse regenerabile în rândul statelor membre ale UE, peste jumătate din consumul final brut de energie (54,6 %) fiind reprezentat de energia din surse regenerabile. Suedia este urmată de Finlanda (41,2 %), Letonia (40,3 %), Danemarca (36,1 %) și Austria (33,4 %). La capătul opus, cele mai scăzute proporții ale energiei din surse regenerabile au fost înregistrate în Țările de Jos (7,4 %), Malta (8,0 %), Luxemburg (9,1 %) și Belgia (9,4 %) (fig. 1.5). În comparație cu cele mai recente date disponibile

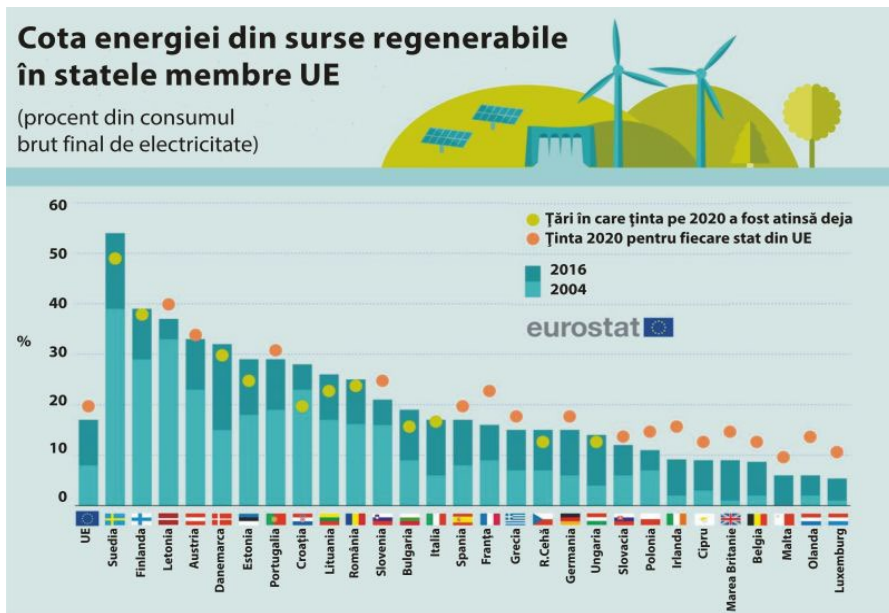


Fig. 1.5. Cota energiei din surse regenerabile în statele member UE [5].

pentru 2018, obiectivele pentru Franța și Țările de Jos le impun să își crească ponderea reprezentată de energia din surse regenerabile din consumul final de energie cu cel puțin 6,4 și, respectiv, 6,6 puncte procentuale. În schimb, 12 dintre statele membre și-au depășit deja obiectivul pentru 2020. Obiectivele au fost depășite într-o măsură deosebit de mare — în intervalul cuprins între 5,0 și 8,0 puncte procentuale — în Croația, Suedia, Danemarca și Estonia [6]. Din 2004, cota energiei regenerabile în consumul final brut de energie a crescut semnificativ în toate statele membre, menționează Eurostat, adăugând: „Comparativ cu anul 2015, acesta a crescut în 15 din cele 28 de state membre” [6].

Transformarea Europei în primul continent neutru din punct de vedere climatic până în 2050 este obiectivul, care stă la baza *Pactului verde european* [COM(2019) 640 final], cel mai ambițios pachet de măsuri, care ar trebui să le permită cetățenilor și întreprinderilor din Europa să beneficieze de tranziția către o economie verde și durabilă. Și acest plan ambițios este realizabil.

Deja peste o cincime din energia utilizată pentru încălzire și răcire provine din surse regenerabile. În 2018, energia din surse regenerabile a reprezentat 21,1 % din consumul total de energie pentru încălzire și răcire în Uniunea Europeană. Aceasta reprezintă o creștere semnificativă de la 11,7 % în 2004. Energia termică aerotermală, geotermală și hidrotermală, captată de pompele de căldură, este luată în considerare în măsura raportată de țări.

În 2018, ponderea energiei din surse regenerabile în activitățile de transport a crescut de la 1,5 % în 2004 la 8,3 % în 2018. În rândul statelor membre ale UE, ponderea energiei din surse regenerabile în consumul de combustibil pentru transporturi a variat de la un maxim de 29,7 % în Suedia, 14,9 % în Finlanda și 9,8 % în Austria până la mai puțin de 4,0 % în Croația (3,9 %), Grecia (3,8 %), Estonia (3,3 %) și Cipru (2,7 %). UE a convenit cu privire la stabilirea unui obiectiv comun pentru ponderea energiei din surse regenerabile (incluzând biocombustibilii lichizi, hidrogenul, biometanul, energia electrică „verde” etc.) în sectorul transporturilor până în 2030.

Energia eoliană este cea mai importantă sursă regenerabilă de energie electrică. Normele de contabilizare stabilite de Directiva 2009/28/CE prevăd că energia electrică generată de energia hidroelectrică și cea eoliană trebuie normalizată pentru a ține cont de variațiile climatice anuale (energia hidroelectrică este normalizată în cursul ultimilor 15 ani, iar energia eoliană, în cursul ultimilor 5 ani).

Creșterea procentului energiei electrice provenite din surse regenerabile de energie în perioada 2008-2018 reflectă, în mare măsură, o creștere a trei surse regenerabile de energie la nivelul UE, în special energia eoliană, dar și energia solară și biocombustibilii solizi (inclusiv deșeurile regenerabile). În 2018, energia eoliană era singura și cea mai importantă sursă de producere a energiei electrice din surse regenerabile

în UE. Într-adevăr, cantitatea de energie electrică produsă din energie hidroelectrică a fost relativ similară nivelului înregistrat cu un deceniu mai devreme. În schimb, cantitatea de energie electrică generată la nivelul UE pe baza energiei solare și a turbinelor eoliene a fost de 15,5 ori și, respectiv, de 2,9 ori mai mare în 2018 decât în 2008. Creșterea cantității de energie electrică generată pe baza energiei solare a fost semnificativă, înregistrând o creștere de la numai 7,4 TWh în 2008 până la 115,0 TWh în 2018.

Și în Republica Moldova se observă o tendință de creștere a energiei obținute din surse regenerabile, printre care cele dominante sunt energia solară și eoliană (fig. 1.6). La aceasta contribuie facilitățile legislative, care

Potențialul tehnic al surselor de energie regenerabilă în Republica Moldova, mln.tep (tone echivalent petrol)

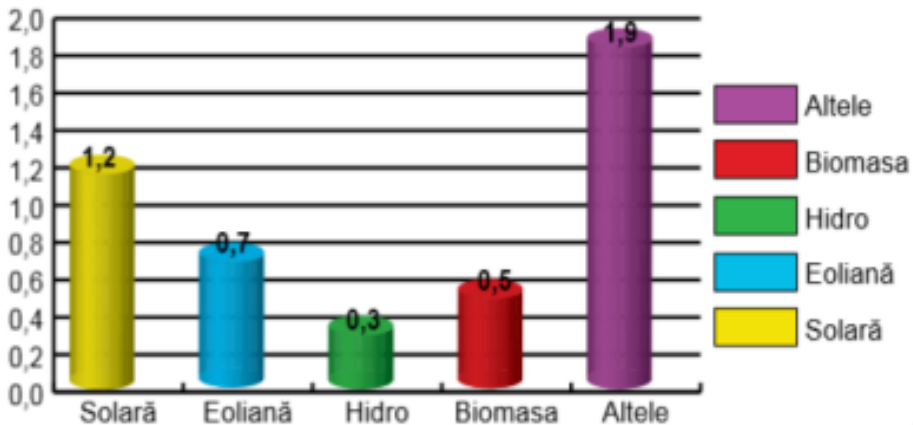


Fig. 1.6. Surse de energie regenerabilă în Republica Moldova.

sunt tot mai favorabile pentru transformarea unor consumatori în prosumatori.

Există șase soluții practice EgoGreen Energy Solutions pentru a produce inteligent energia, de care avem nevoie: *EgoSolarEnergy*, *EgoWindEnergy*, *EgoWaterEnergy*, *EgoGeothermalEnergy*, *EgoBiomass Energy* și *EgoHybrid Energy*. Cele mai importante și disponibile sunt primele trei.

EgoSolarEnergy. Panourile solare produc energie electrică cel puțin 9 ore/zi (calculul se face pe minim; iarna ziua are 9 ore). Ziua, timp de 9 ore, aceste panouri solare produc energie electrică și, în același timp, inmagazinează energie în acumulatori pentru a fi folosită noaptea.



Fig. 1.7. Sistem solar fotovoltaic.

Instalațiile solare funcționează chiar și atunci când cerul este înnourat. De asemenea, sunt rezistente la grindină (în cazul celor mai bune panouri) (fig. 1.7).

EgoWindEnergy. A doua soluție sustenabilă EgoGreen Energy, este folosirea energiei eoliene pentru producerea de energie electrică cu turbine eoliene, pentru a furniza energia electrică local și în rețeaua electrică. Fiecare persoană fizică are dreptul în România să producă energie electrică, ca prosumator, la o putere instalată de până la 27 kW. Surplusul de energie rămas după acoperirea nevoilor casei, se vinde în rețea. Similar se procedează și în



Fig. 1.8. Sistem eolian.

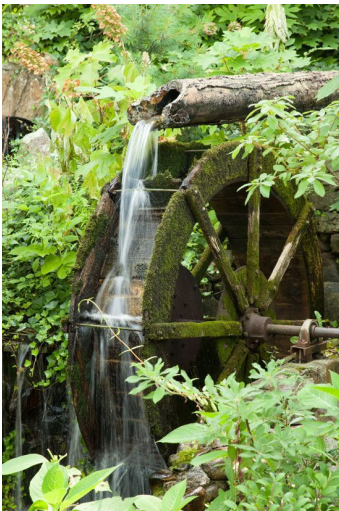


Fig. 1.9. Sistem hidraulic.

Republica Moldova. Principalul avantaj al turbinelor eoliene, fata de panourile solare, este că acestea produc energie și noaptea. Avantajul devine și mai mare iarna, când nopțile sunt mai lungi.

EgoWaterEnergy. A treia soluție sustenabilă EgoGreen Energy, este folosirea energiei hidraulice (potențiale sau cinetice) pentru producția de energie electrică, cu turbine hidraulice, pentru a furniza energia electrică local și în rețeaua electrică.

Soluții pentru alimentarea mai sigură a consumatorilor sunt sistemele hibride, care includ 2, 3 și mai multe sisteme individuale.

Multitudinea soluțiilor tehnice și măsurilor legislative indiscutabil favorizează dezvoltarea sectorului energetic regenerabil. Dar conform studiului [1] sectorul energetic se află într-un punct de turnură. În viitor, tehnologiile descentralizate și digitale vor câștiga teren, furnizorii clasici de energie electrică se transformă în distribuitori și noi modele de afaceri unifică generarea și consumul. Se anticipează o creștere a proporției energiilor regenerabile în consumul electric de la nivelul curent de cca 30% la 100%. Cu toate acestea, capacitățile rețelelor existente se apropie deja de anumite limite.

Poate reuși tranziția în sectorul energetic? „Au apărut exigențe mari în materie de infrastructură, rețele, controlere și flexibilitate, exigențe care erau anterior satisfăcute de centrale energetice controlabile. Biomasa, ca singură sursă controlabilă de energie regenerabilă, pare să fie limitată, în schimb, energia solară și eoliană domină domeniul. Problema este că producția de energie electrică din sistemele descentralizate fluctuează în funcție de vreme. Prin urmare, pe lângă noi rețele, sunt necesare tehnologii, care să asigure flexibilitate, precum bateriile, atât pentru stocarea excesului de energie, cât și pentru furnizare în funcție de necesități. În plus, cererea de energie electrică trebuie să devină mai flexibilă. Până în prezent, furnizarea a urmat cererea. Acest model devine tot mai dificil la niveluri crescute ale fluctuației surselor”, declară Tobias Kurth.

Care vor fi caracteristicile de bază ale pieței energetice viitoare? „Sistemul va trebui să fie mai descentralizat, mai complex și controlabil digital. Urmează schimbări de amploare: extinderea surselor regenerabile a dus la o reducere a costurilor marginale în producția de energie și, astfel, la o reducere a prețurilor energiei electrice. Prin urmare, energia electrică va înlocui alte surse primare de energie în încălzire și transporturi” (T. Kurth, [1]).

„În continuare vor fi necesare sisteme inteligente pentru controlarea fluxurilor energetice tot mai complexe... **Ce opțiuni de flexibilitate întrevedeți în afară de baterii?**” (T. Kurth, [1]). „Capătă importanță soluțiile de electricitate convertită în căldură, electricitate convertită în gaze și electricitate convertită în mobilitate. Propunerea: convertirea energiei electrice în exces în căldură, gaze sau combustibil sintetic.

Această conectare a sectoarelor oferă avantajul atenuării solicitării rețelei electrice și reprezintă, de asemenea, un mod de includere a încălzirii și transporturilor în tranziția energetică” (H. Tautor [1]).

„Este digitizarea economiei energetice deja suficient de avansată pentru a face posibile aceste tipuri de modele?” (T. Kurth, [1]). *„De fapt, digitizarea este încă în fașă. Potențialul pentru eficiență în industrie și comerț este enorm. Totuși, rămâne problema că acești consumatori comunică extrem de puțin cu operatorii de rețea. Piese lipsă sunt interfețele, care permit schimbul de valori măsurate între participanții individuali: Câtă energie se produce? Câtă energie se consumă? Când are sens să se oprească consumatorii?”* (H. Tautor [1]). *„În prezent, piața energetică este în epoca de piatră în privința tehnologiei de comunicare. Măsurătorile și calculele se efectuează la intervale de 15 minute în economia energetică, deci nici vorbă de urmărire în timp real. Contoarele mecanice, de exemplu, care înregistrează consumul privat de energie, sunt citite, de obicei, doar o dată pe lună.*

Ce tehnologii ne sunt necesare în mod specific? *„Există tehnologii, care măsoară, controlează și monitorizează precis și care pot simultan să încorporeze prognoze despre generarea de energie electrică. Și acestea trebuie să funcționeze în timp real. Discutăm despre cantități enorme de date deoarece în trecut, exista un singur punct de date pentru fiecare consumator și unul pentru fiecare centrală energetică. Cu un total de cca 400 de centrale energetice centralizate, controlabile, care funcționau în Germania, datele erau gestionabile. Situația s-a schimbat odată cu energiile regenerabile. În prezent există 10000 de sisteme în rețea și tranziția energetică se află încă la început”* (T. Kurth, [1]). *„Există deja tehnologii care pot măsura, controla și monitoriza, dar cu anumite limitări. Cu toate acestea, pentru faza de extindere finală, începând din 2030, avem nevoie de sisteme inteligente și extrem de puternice. De exemplu: Contoarele inteligente sunt contoare de energie electrică, care nu fac altceva decât să înregistreze și să transmită date. Nu controlează și nici nu monitorizează. Pentru reglementarea și monitorizarea furnizorilor și a consumatorilor ar fi necesară o casetă suplimentară. Controlerele din prezent sunt prea mici și insuficient de puternice. Avem o nevoie acerbă de inovații tehnice pentru aplicații viitoare”* (H. Tautor [1]).

Dar și de capital. *„Având în vedere această enormă nevoie de capital pentru proiectele de energie regenerabilă, vor apărea și evolua în timp numeroase modele de investiții. Proiectele de generare a energiei din surse regenerabile încep să aibă cu adevărat o anvergură industrială, ceea ce creează o necesitate tot mai mare de a găsi noi surse și structuri pentru atragerea capitalului într-un mod eficient. Decarbonizarea va impune schimbări profunde în aproape fiecare element al economiei, iar sectorul energetic va juca un rol esențial în majoritatea acestor inițiative, dacă nu chiar în toate”*, a declarat Ben Warren, coordonator EY Global Power & Utilities Corporate Finance și redactorul-șef al RECAI [7].

„Atingerea obiectivului de neutralitate a emisiilor este dificilă, dar realizabilă, dacă începem acum. Este un obiectiv pe care patru țări s-au angajat, prin adoptarea de legislație, să îl atingă până în 2050 și pe care peste 60 de alte țări îl analizează în mod activ. Această situație oferă o oportunitate de transformare pentru sectorul energetic. Este momentul ca acesta să scape de stereotipul că sectorul se schimbă greu, să își asume rolul de lider și să ia măsuri ferme pe multiple fronturi, inclusiv, implementarea de noi tehnologii, investiții în eficiența energetică și promovarea tarifării emisiilor de carbon”, a declarat Benoit Laclau, coordonator EY Global Energy [7].

Dr. Fang Liangzhou, vicepreședinte și CMO Huawei Digital Power, a susținut prin intermediul videoconferinței un discurs despre *„Construirea unei societăți inteligente cu emisii scăzute de carbon”* în cadrul sesiunii *„Schimbarea sistemului și inovația climatică în industria tehnologiei”* găzduită de Global Innovation Hub UNFCCC în cadrul COP26 [8]. Fang a descris modul, în care Huawei Digital Power integrează tehnologiile digitale și electronice pentru a ajuta industriile să economisească energie și să reducă emisiile atât din generarea de energie, cât și din consum. Digitalizarea energiei poate reduce risipa în consumul de energie, poate stimula semnificativ generarea de energie din surse regenerabile și poate face transportul și orașele ecologice. Fang a îndemnat la eforturi comune pentru a construi împreună o societate inteligentă cu emisii reduse de carbon. Fang a menționat că: *„Neutralitatea în ceea ce privește emisiile de carbon a devenit o misiune comună a lumii. Inovația tehnologică va juca un rol central în abordarea schimbărilor climatice și*

în atingerea obiectivelor de reducere a emisiilor de carbon. Huawei Digital Power integrează tehnologiile digitale și electronice, dezvoltă energie curată și permite digitalizarea energiei, astfel încât să stimuleze o revoluție energetică pentru un viitor mai bun și mai ecologic. Ne concentrăm pe convergența și inovarea în tehnologii pentru a accelera digitalizarea energiei și a permite diverselor industrii să se modernizeze. Ne propunem să accelerăm generarea de energie curată, să construim transporturi ecologice, locații și centre de date, și să colaborăm cu partenerii din industrie pentru a construi o societate inteligentă cu emisii scăzute de carbon”.

Potrivit Agenției Internaționale pentru Energie (IEA), principalele surse de emisii globale de carbon sunt electricitatea, industria și transportul. Sectoarele de electricitate și transporturi reprezintă 40%, respectiv 21% din emisiile de carbon. Sectorul TIC consumă 4% din electricitatea globală. Pentru a obține neutralitatea în ceea ce privește emisiile de carbon, producția de energie electrică cu emisii scăzute de carbon și consumul de energie electrică sunt o necesitate. Huawei Digital Power lucrează cu parteneri pentru a inova continuu în ceea ce privește producția și consumul de energie, pentru a obține rezultate ecologice și cu emisii scăzute de carbon:

- În cadrul soluțiilor inteligente fotovoltaice, Huawei dezvoltă un sistem de energie curată, care se concentrează pe tehnologii de energie regenerabilă, cum ar fi sistemele eoliene, solare și de stocare a energiei. În Orientul Mijlociu, Huawei sprijină Proiectul de stocare a energiei la Marea Roșie al Arabiei Saudite, astfel încât să furnizeze energie întregului oraș. Acest proiect va folosi sistemul de stocare a energiei de 400 MW + 1,3 GWh, urmând să satisfacă cerințele energetice a milioane de oameni în viitor. Odată ce proiectul va fi lansat, orașul va fi primul din lume, care va fi alimentat cu energie 100% curată provenită din sisteme fotovoltaice și stocare a energiei;

- În ceea ce privește digitalizarea energiei, Huawei folosește o combinație de tehnologii digitale și electronice pentru a reduce consumul în timpul conversiei, stocării și utilizării energiei, îmbunătățind astfel eficiența energetică. Huawei, împreună cu China Southern Power Grid, utilizează tehnologii IA pentru a identifica automat scenariile riscante

tipice și defectele liniilor de transmisie. Datorită noii abordări de întreținere preventivă bazată pe analiză inteligentă și judecată manuală, timpul de finalizare a lucrărilor la fața locului este scurtat de la 20 de zile la 2 ore, îmbunătățind eficiența de 80 de ori;

- În ceea ce privește instalația de alimentare de la fața locului, Huawei folosește cabineți în loc de camere tehnologice și stâlpi, în loc să folosească dulapuri pentru a simplifica amplasamentele, și a lansat o serie de soluții de alimentare cu energie pentru eliminarea combustibilului în afara rețelei, pentru a ajuta transportatorii să accelereze neutralitatea carbonului din rețea și să reducă diviziunea energetică. De exemplu, furnizorul din Zhejiang, China, a folosit tehnologia Huawei Site Power de înaltă densitate eMIMO pentru a înlocui șase cabineți tradiționali cu unul singur, reducând amprenta la sol de la 5m² la 1m² și îmbunătățind eficiența energetică a amplasamentului de la 85% la 96%. Ei au adoptat, de asemenea, soluția de energie verde de la Huawei, în care tehnologia unică iPV ajută la generarea cu 20% mai multă energie electrică, permițând panourilor fotovoltaice să devină principala sursă de energie pentru rețelele ecologice TIC și reducând emisiile de carbon cu 8 tone per amplasament în fiecare an;

- În centrul de date, prefabricarea, modularizarea și tehnologiile inteligente sunt utilizate pentru a construi centre de date simplificate, ecologice, inteligente și securizate de ultimă generație. De exemplu, soluția modulară prefabricată pentru centre de date de la Huawei a ajutat Wuhan să construiască rapid un centru de calcul IA. Centrul a fost construit în 120 de zile și dat în folosință în 180 de zile, scurtând timpul de lansare cu peste 50%. În plus, tehnologia de conservare a energiei IA este adoptată pentru a reduce indicatorul PUE la 1,25, ceea ce reprezintă o economie de peste 3,4 milioane kWh de energie electrică în fiecare an. În plus, emisiile de dioxid de carbon pot fi reduse cu aproximativ 42000 de tone pe parcursul ciclului de viață;

- În mPower, Huawei oferă soluții în domeniul energetic și infrastructură de încărcare pentru a accelera procesul de electrificare a transporturilor. De exemplu, sistemul de propulsie DriveONE de la Huawei a ajutat SERES să construiască primul SUV coupe electric de

înalță performanță, produs în masă, cu o autonomie de croazieră de peste 1000 km, atingând o accelerație de la 0 la 50 km/h în 1,99 secunde.

Huawei aderă la angajamentul ecologic „*Tech for a Better Planet*” și a continuat să investească în reducerea emisiilor de carbon, promovarea energiei regenerabile, contribuția la o economie circulară și conservarea naturii cu ajutorul tehnologiei. Începând cu 30 septembrie 2021, Huawei Digital Power a ajutat clienții să genereze 443,5 miliarde kWh de energie verde, să economisească 13,6 miliarde kWh de electricitate și să reducă emisiile de dioxid de carbon cu 210 milioane de tone, ceea ce a echivalat cu plantarea a 290 milioane de copaci.

Astfel, în această *Societate a Cunoașterii*, în care deja am intrat, vom beneficia tot mai mult de avantajele caselor inteligente, rețelelor inteligente, sistemelor inteligente, în general, de soluții inteligente în domeniul energiei. În acest domeniu vor apărea multiple soluții inteligente de optimizare atât a sistemelor tehnice și funcționării lor, cât și a managementului energetic.

Capitolul 2. SISTEME INTELIGENTE DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE

2.1. Generalități

„Avem o nevoie acerbă de inovații tehnice pentru aplicații viitoare în domeniul energetic”
(Heiko Tautor, expert în energie de la WAGO).

Da, într-adevăr, acest domeniu de o importanță vitală cum este Domeniul energetic, are acum „nevoie acerbă de inovații tehnice”. Dar este bine știut faptul că, de regulă, cerința naște soluții, motivația fiind stimulatorul principal al Creatorului.

Cele mai eficiente principii în crearea invențiilor sunt cele preluate din Natură, Natura fiind cel mai desăvârșit creator. Rolul inventatorului este doar să le observe și să le folosească în crearea invențiilor lor. De aceea, spiritul de observație este poate cea mai importantă calitate a Inventatorului.

De asemenea, este bine cunoscut din teoria creativității că cele mai performante invenții apar la juanta de domenii. Se explică acest lucru prin faptul că, de regulă, inventatorul explorează spațiul apropiat centrului domeniului, rareori ajungând la periferiile lui. Astfel, la juanta de domenii, de regulă, se află segmentele cele mai slab explorate, acesta fiind un adevărat Eldorado pentru inventatori. Caracterul pluridisciplinar al invențiilor, descoperite în aceste sectoare, le face mult mai valoroase.

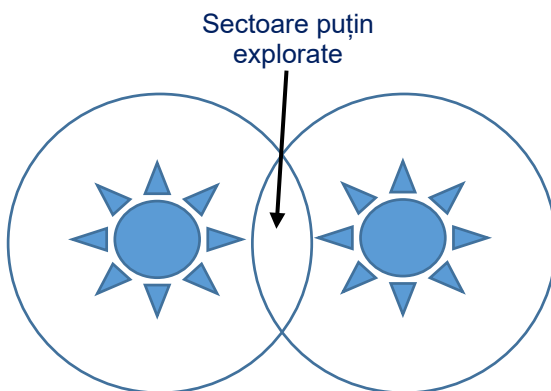


Fig. 2.1. Sectoare neexplorate la juanta de domenii.

Un imbold important în crearea inovațiilor tehnice au devenit Tehnologiile Informaționale, care deja, în debutul acestei Societăți a Cunoașterii, penetrează toate domeniile (industriale, economice, sociale). De ex. compania românească EnergoBit, care combină două elemente

cheie: Energie (Energio) și Informație (Bit), propune clienților de peste 25 de ani soluții inteligente privind sustenabilitatea afacerilor în domeniul electroenergetic, de a-și dezvolta activitatea, a reduce amprenta de carbon și, în final, de a-și îmbunătăți serviciile, pe care le oferă clienților lor finali. Volumul proiectelor, pe care EnergoBit le are în lucru, este de 10000MW [9]. „Primul val de regenerabile din România a fost dominat de tehnologia eoliană, răspândită însă în mai puține locații. Al doilea val de regenerabile se bazează pe proiectele fotovoltaice, care sunt mai numeroase și sunt distribuite pe teritoriul întregii țări”, a declarat directorul general F. Pop [9].

Deci, tehnologiile eoliene și cele fotovoltaice, integrate cu tehnologiile informaționale, sunt astăzi tehnologii de vârf în sectorul electroenergetic.

Un exemplu de sistem fotovoltaic inteligent rezidențial, care produce curent electric inteligent, este așa numitul sistem fotovoltaic „Floarea Soarelui” (Smart Flower) (fig. 2.2, [10]). Grație sistemului computerizat, în fiecare dimineață floarea se deschide automat la răsăritul soarelui. Își



Fig. 2.2. Sistem fotovoltaic „Floarea Soarelui” (Smart Flower) [10].

calculează unghiul perfect față de soare. Este fascinant să ai un panou solar, care face tot posibilul să capteze cât mai multă energie solară, producând cu 40% mai multă energie decât cele instalate fix. Mai mult de atât are capacitatea să se curețe singură și are un sistem de răcire, care

permite creșterea energiei convertite cu încă 5-10%. Dacă este deschisă total, aceasta măsoară pe verticală 5 metri. Dacă este pericol de distrugere: grindină, furtună, vijelie, se va închide automat. La acest sistem de energie verde este conectată o aplicație, care îți transmite date despre nivelul energiei captate, astfel încât tu să decizi cum e cel mai bine să o utilizezi. Are și un sistem integrat de baterii, astfel te ajută să menții energia regenerabilă pentru perioadele cu încărcare mai mare. Pe an, poate genera aproximativ 4000 kWh.

Un alt exemplu de sistem inteligent este un sistem eolian, care vine cu o noutate pe piață: funcționare și la vânt de viteză mică și design minimalist (fig. 2.3, [11]). Eoliana arată ca un copac și funcționează de la 2 m/s.



Fig. 2.3. Copac eolian, care produce energie electrică la viteze mici ale vântului.

Caracteristici: 11 metri înălțime și 8 metri în diametru; structură metalică, care susține 63 de turbine cu ax vertical; se elimină zgomotul puternic; este rezistentă la vânt de până la 200 km/oră; turbinele tip Savonius sunt realizate din plastic rezistent la solicitări mecanice și radiație ultravioletă; turbinele sunt cablate în paralel, astfel încât dacă una se defectează, celelalte nu sunt afectate; poate genera pe an între 3500 și 13500 kWh.

Viitorul energiei este o schimbare completă de paradigmă, oferind oportunități de investiții într-o nouă infrastructură energetică, susținută de soluții tehnologice inteligente.

În continuare se prezintă o serie de soluții conceptuale de sisteme inteligente regenerabile, elaborate de autori.

2.2. Soluții conceptuale de sisteme inteligente de conversie a energiilor regenerabile

2.2.1. Sisteme inteligente de conversie a energiei eoliene

Performanțele de bază ale unui sistem de conversie a energiei eoliene sunt eficiența maximă de conversie a energiei eoliene, durata de funcționare și siguranța în exploatare. După cum se menționa mai sus tehnologiile eoliene, integrate cu cele informaționale, sunt astăzi tehnologii de vârf în sectorul electroenergetic. În acest caz tehnologiile informaționale sunt extrem de utile în monitorizarea predictivă a funcționării turbinelor eoliene și a componentelor lor și elaborarea contramăsurilor pentru prevenirea sau eliminarea neajunsurilor.

O altă direcție este utilizarea elementelor constructive inteligente pentru majorarea eficienței de conversie și protecția sistemului eolian de suprasarcini. Pentru realizarea măsurilor de protecție a sistemului eolian de suprasarcini deseori se merge pe calea inversării principiilor utilizate pentru majorarea eficienței de conversie a turbinelor eoliene.

În general, în literatura de specialitate, turbinele eoliene se împart în două tipuri de bază:

- cu axa de rotire a rotorului orizontală (HAWT), fig. 2.4,a;
- cu axa de rotire a rotorului verticală (VAWT), fig. 2.4,b-c.

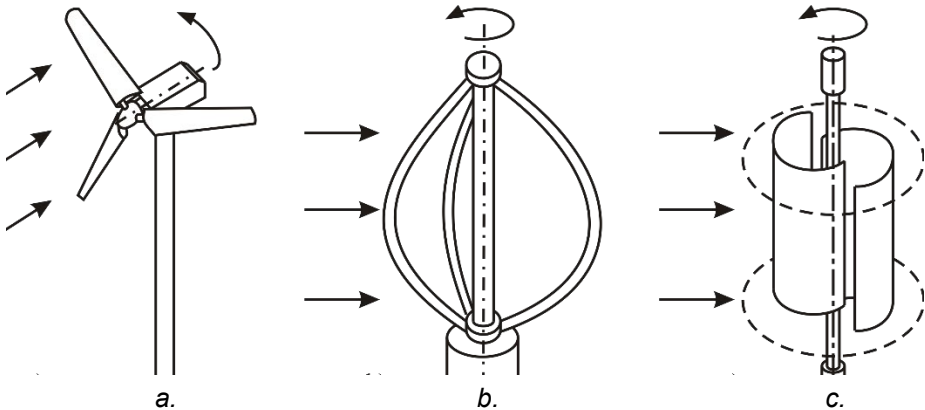


Fig. 2.4. Turbine de vânt tipice: a – cu ax orizontal; b și c – cu ax vertical.

Cea mai largă utilizare au turbinele eoliene cu ax orizontal, care sunt produse industrial cu puteri de până la 16 MW. Însă în ultimul timp un

interes aparte este acordat turbinelor eoliene cu ax vertical tip Darreus (fig. 2.4,b) sau Savonius (fig. 2.4,c), utilizarea cărora în spațiile urbane și suburbane, unde turbulența curenților de aer este mai pronunțată din cauza gradului înalt de rugozitate a locațiilor (clădiri, copaci ș.a.), este mai eficientă. Dar și sub aspect constructiv turbinele eoliene cu ax vertical sunt mai simple (lipsește mecanismul de orientare a rotorului la vânt; generatorul și multiplicatorul (pentru turbine de puteri mari) sunt plasate la sol, fapt ce face mai lejeră mentenanța lor).

2.2.1.1. Metodă și dispozitiv de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor

Răspândirea tot mai largă a turbinelor eoliene ca sisteme de producere a energiei regenerabile alternative face ca problema predictibilității ieșirii din funcție a unor componente ale turbinelor eoliene, în special, distrugerea palelor, care prezintă pericol pentru oameni, să devină una majoră. Performanțele crescânde ale tehnologiilor informaționale face mai lejeră rezolvarea acestei probleme. Metoda și dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor elaborate [12] sunt un exemplu cras de penetrare a tehnologiilor informaționale în sistemele de conversie a energiei eoliene inteligente. Invenția se referă la dispozitive de conversie a energiei eoliene în energie electrică, în special, la metode și dispozitive de monitorizare a stării turbinelor eoliene.

Sunt cunoscute metode pentru monitorizarea stării rotorului cu pale a turbinei eoliene (aspecte ale rezistenței palelor, detectarea gheții), în care identificarea locurilor periculoase și depunerea gheții pe pale se face prin recepționarea și măsurarea semnalelor în structura palei cu ajutorul unor senzori. Semnalul electric este transmis la o unitate de evaluare pentru transformarea în forma unui spectru, care este comparat cu spectrul dintr-o bază de date și, ulterior, implementarea contramăsurilor [13, 14]. Mai sunt, de asemenea, cunoscute echipamente de monitorizare și procesare a datelor pentru turbine eoliene și sistemul de mentenanță predictivă a turbinei eoliene, care include un grup de turbine eoliene, o rețea de comunicare și supervizare, și un sistem de control. Sistemul de mentenanță predictivă include un echipament de monitorizare și procesare conectat la

un sistem de control, care transmite semnalele de alarmă de la turbine la sistemul de supervizare și control [15, 16].

Problema, pe care o rezolvă soluția tehnică propusă, constă în lărgirea posibilităților funcționale prin crearea sistemelor inteligente de monitorizare predictivă și de implementare a contramăsurilor, de asemenea, în simplificarea construcției dispozitivului. Problema tehnică se rezolvă prin aceea că evaluarea semnalelor emise de senzori, inclusiv, analiza de la distanță și implementarea de contramăsuri, recepția și măsurarea semnalului, privind apariția unei microfisuri în învelișul palei aerodinamice, se efectuează prin intermediul a cel puțin unui senzor de deformații fără contact instalat în zonă cu solicitări maxime a palei aerodinamice și transmiterea semnalului la un echipament de monitorizare și procesare (EMP), un procesor și un sistem de control (SC) pentru realizarea contramăsurilor. În zona cu solicitări maxime a palei aerodinamice pot fi impregnați la faza de fabricare a învelișului compozit al palei un set de senzori de deformații executați filiform.

Într-o variantă de realizare metodă de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene prin recepția, transmisiunea și măsurarea valorii datelor achiziționate și prelucrate precum și transformarea semnalului, evaluarea lui, inclusiv, analiza de la distanță și implementarea de contramăsuri, recepția și măsurarea semnalului privind apariția stratului de gheață pe suprafața exterioară a palei aerodinamice prin intermediul a cel puțin unui senzor de temperatură instalat pe suprafața palei aerodinamice pe partea bordului de atac cu depuneri maxime ale gheții, și transmiterea semnalului la un echipament de monitorizare și procesare (EMP), un procesor și un sistem de control (SC) pentru realizarea contramăsurilor.

Într-o variantă de realizare dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor are, cel puțin, un senzor de deformații fără contact instalat în zonă cu solicitări maxime ale palei aerodinamice pentru detectarea și măsurarea microfisurii în materialul învelișului compozit al palei aerodinamice, convertirea semnalelor recepționate în semnal electric și transmiterea semnalului electric la un echipament de monitorizare și procesare (EMP), un procesor și un sistem de control (SC), de la care - la un actuator pentru rotirea palei în jurul axei geometrice.

Într-o variantă de realizare dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor, conține cel puțin un senzor, care convertește semnalele primite în semnale electrice, o unitate de evaluare, care primește și prelucrează semnalele electrice transmise de senzori, cel puțin un dispozitiv de stocare a masei de date cu biblioteci de spectre și cu cel puțin un modul de comparare pentru analiza spectrelor cu privire la pala rotorului cu defect și nedeteriorată, un dispozitiv de analiză la distanță și un dispozitiv de declanșare a contramăsurilor. Pentru detectarea gheții și realizarea degivrării dispozitivul are cel puțin un senzor de temperatură instalat pe suprafața exterioară a învelișului compozit al palei aerodinamice pe partea bordului de atac cu depuneri maxime de gheață, convertirea semnalelor recepționate în semnal electric și transmiterea semnalului electric la un echipament de monitorizare și procesare (EMP), un procesor, un sistem de control (SC) și, în continuare, la o sursă de curent electric pentru încălzirea intermitentă a cel puțin unui element bimetalic fixat pe partea interioară a învelișului compozit al palei aerodinamice în zona bordului de atac. Într-o altă variantă de realizare semnalul electric se transmite unei surse de curent electric pentru alimentarea a cel puțin unui element executat din material magnetostrictiv, fixat pe suprafața interioară a învelișului compozit al palei aerodinamice în zona bordului de atac. Într-altă variantă de realizare semnalul electric se transmite unui generator de înaltă frecvență (GIF) pentru acționarea unui transductor magnetostrictiv, instalat cu posibilitatea microdeplasărilor axiale în carcasă, fixată pe structura de rezistență a palei aerodinamice și transmiterea oscilațiilor ultrasonore unui concentrator, care contactează intermitent cu suprafața interioară a învelișului compozit al palei aerodinamice.

Într-o variantă de realizare în dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor are cel puțin un senzor de temperatură instalat în interiorul nacei pe suprafața exterioară a carcasei generatorului electric în zona de încălzire maximă, convertirea semnalelor primite de la senzorul de temperatură în semnal electric și transmiterea semnalului electric la un echipament de monitorizare și procesare (EMP), un procesor și un sistem de control (SC) și, în continuare, la un cuplaj comandat de fixare a roții ventilatoare pe

capătul liber al rotorului generatorului electric, totodată semnalul electric este transmis unui actuator pentru deschiderea-închiderea a cel puțin unui orificiu cu un capac de reglare.

Dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor, conform fig. 2.5, include turnul 1, pe care este instalată nacela 2 cu posibilitatea rotirii în jurul axei turnului 1, rotorul eolian 3 cu palele aerodinamice 4 legat cu arborele conducător 5 al multiplicatorului mecanic 6. Arborele condus al multiplicatorului mecanic 6 este legat rigid cu un capăt al rotorului generatorului electric 7, iar pe celălalt capăt 8 al rotorului generatorului electric 7 este instalată liber o roată ventilatoare 9, care poate fi legată rigid cu capătul 8 al rotorului generatorului electric 7 prin intermediul unui cuplaj comandat 10. Totodată, în apropierea roții ventilatoare 9 în carcasa nacelui 2 este executat cel puțin un orificiu, care este „închis – deschis” cu capac reglabil 11. Pe carcasa generatorului electric 7 este instalat cel puțin un senzor de temperatură 12.

Pala aerodinamică 4 (fig. 2.6, a,b) este executată din material compozit cu stabilirea prin modelare numerică a zonelor maxim solicitate 13 ale palei aerodinamice 4. În aceste zone pe partea interioară a învelișului compozit 4 al palei aerodinamice 4 este instalat cel puțin un senzor de deformații fără contact 14, legat cu actuatorul 31 și frâna 32.

Pala aerodinamică 4 (fig. 2.6,c) poate fi fabricată din material compozit cu impregnarea unui set de senzori filiformi de deformații 14 în întreaga masă a învelișului compozit 15 al palei aerodinamice 4 la faza de execuție a învelișului compozit 15.

Pe suprafața palei aerodinamice 4 (fig. 2.7,a) pe partea bordului de atac, unde există probabilitatea de depunere maximă a gheții 16, este instalat cel puțin un senzor de temperatură 17, iar pe suprafața interioară a învelișului compozit 15 al palei aerodinamice 4 pe partea bordului de atac este fixat cel puțin un element bimetalic (19), care include plăcile metalice 20 și 21 (fig. 2.7,b,c), executate din metale cu coeficient de dilatare diferit, iar capetele plăcilor metalice 20 și 21 sunt lipite între ele și fixate rigid în învelișul compozit 15 al palei aerodinamice 4.

Pe suprafața interioară a învelișului palei aerodinamice 4 (fig. 2.7,d) poate fi instalat cel puțin un element 22 executat din material

magnetostrictiv. În interiorul palei aerodinamice 4 (fig. 2.8,a,b) pe structura de rezistență 18 poate fi fixat un generator de unde ultrasonore 23, care include generatorul de înaltă frecvență (GIF) 24, transductorul magnetostrictiv 25 și concentratorul 26, instalate în carcasa 27 fixată pe structura de rezistență 18 a palei aerodinamice 4.

În dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor conform fig. 2.5-2.8, semnalele de la senzorul de temperatură 12, senzorul de deformații 14, senzorul de temperatură 17, sunt recepționate de echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28 legat cu procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30, iar comenzile de implementare a măsurilor sunt transmise, respectiv, actuatorului 30, cuplajului comandat 10, capacelor reglabile 11, elementului bimetalic 19 sau elementului 22 sau generatorului de frecvență înaltă 24.

În fig. 2.9 este prezentat cazul monitorizării turbinelor unui parc eolian. Semnalele către turbinele eoliene 1-12 și de la ele sunt distribuite/primate de un singur echipament de monitorizare și procesare (EMP), procesate, în baza cărora un singur sistem de control (SC) va realiza contramăsurile.

Schema logică a funcțiilor blocului de monitorizare, control și implementare a contramăsurilor (fig. 2.10) include senzorii de deformație 14, de temperatură 12 și 17, echipamentul de monitorizare și procesare 28, procesorul 29 și sistemul de control 30, dispozitivele de implementare a contramăsurilor (protecție distrugere pale, degivrare pale și protecție de supraîncălzire nacelă). În fig. 2.11 este prezentat algoritmul de monitorizare a semnalelor senzorilor de deformații și contramăsurilor, iar în fig. 2.12 – monitorizarea procesului de degivrare a palelor.

Metoda de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor se realizează în felul următor. În metoda de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene prin recepția, transmisiunea și măsurarea valorii datelor achiziționate și prelucrate, precum și transformarea semnalului, evaluarea lui, inclusiv, analiza de la distanță și implementarea de contramăsuri, pentru protecția palelor aerodinamice 4 ale turbinei eoliene de distrugeri, recepția și măsurarea semnalului privind apariția unei microfisuri în învelișul compozit 15 al

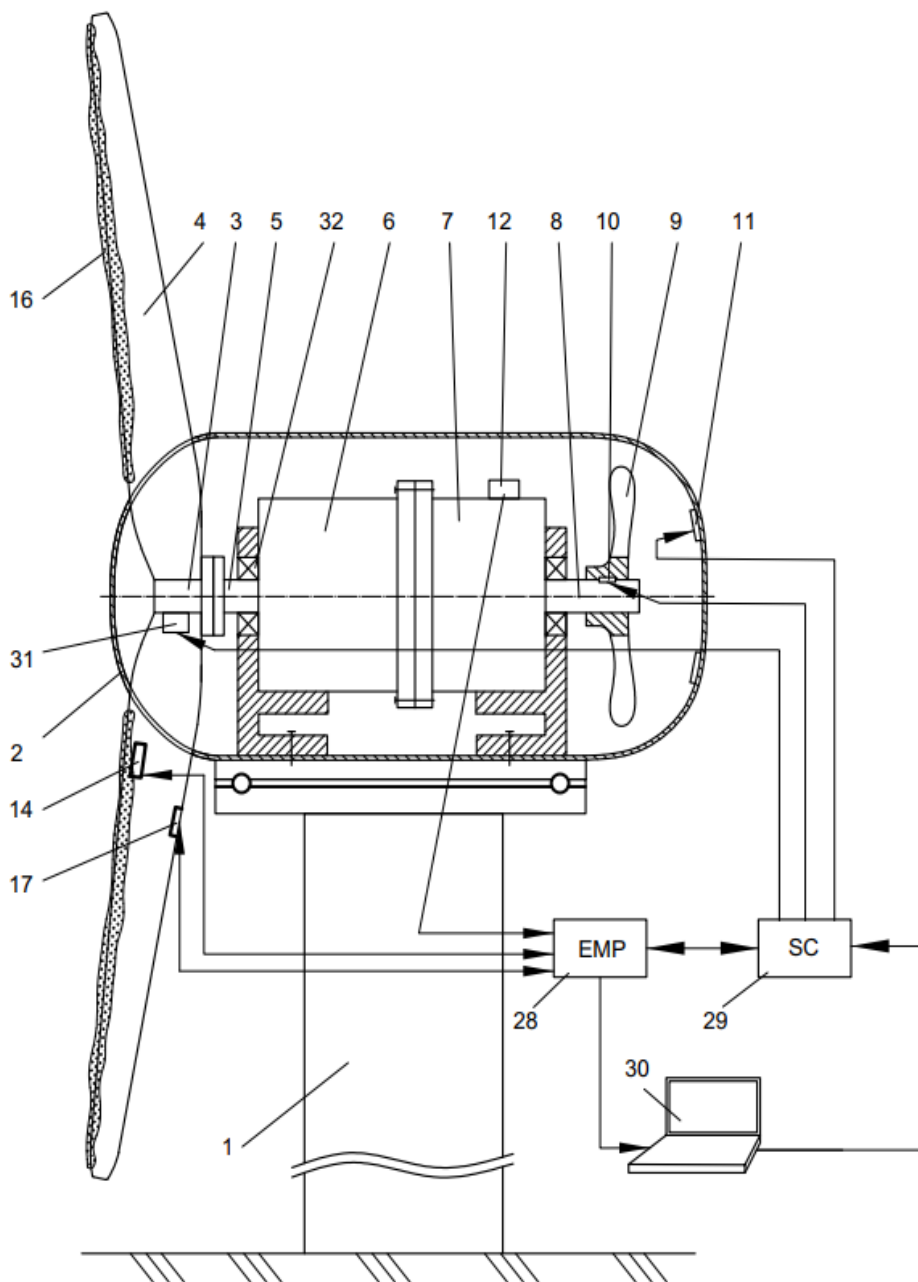


Fig. 2.5. Vederea generală a turbinei eoliene.

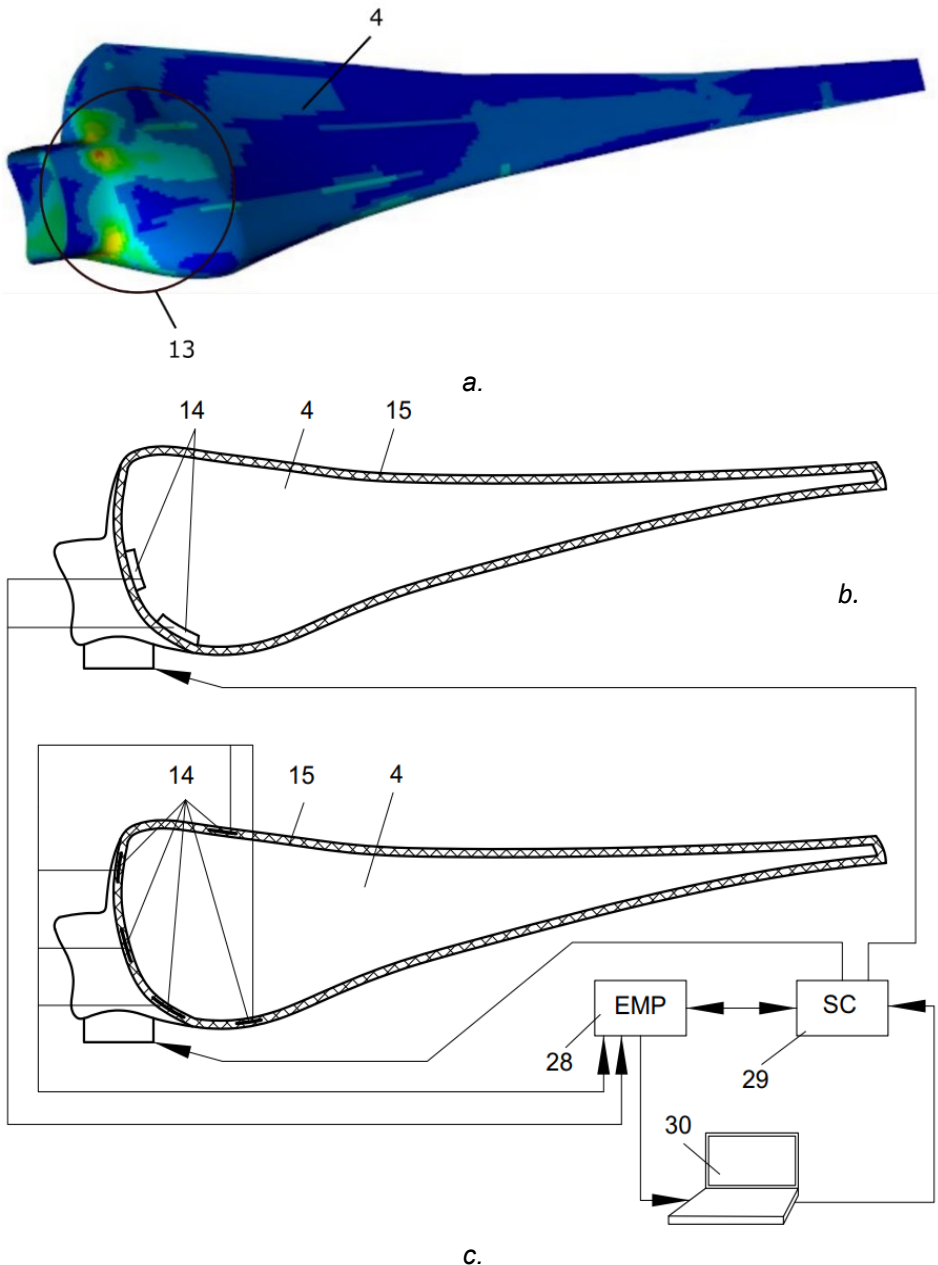


Fig. 2.6. a - tabloul modelării stării tensionale în pala aerodinamică; b - pala aerodinamică cu senzorii de deformare instalați pe suprafața interioară a palei; c - pala aerodinamică cu senzorii de deformare impregnați în învelișul compozit la faza de fabricație.

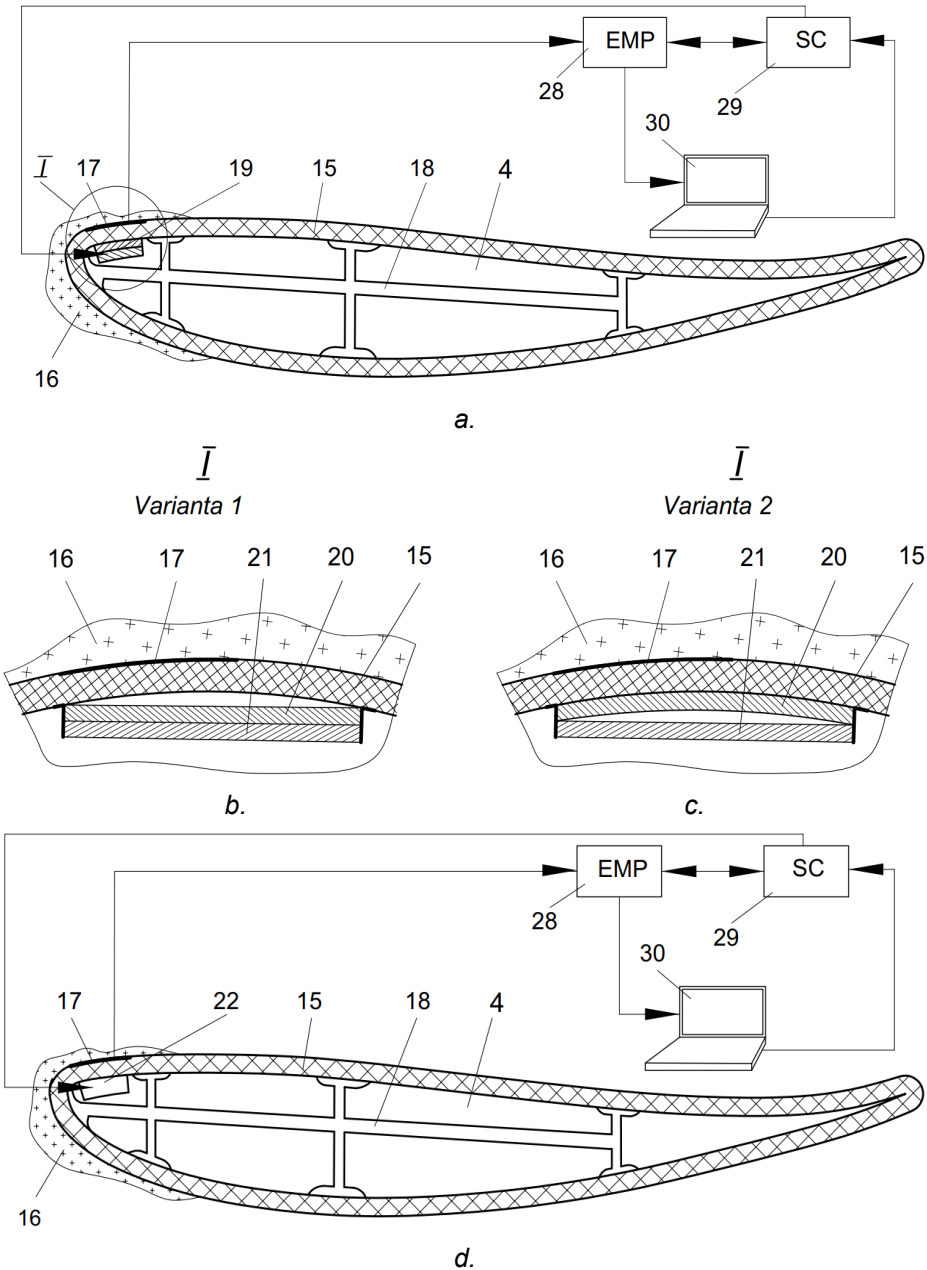
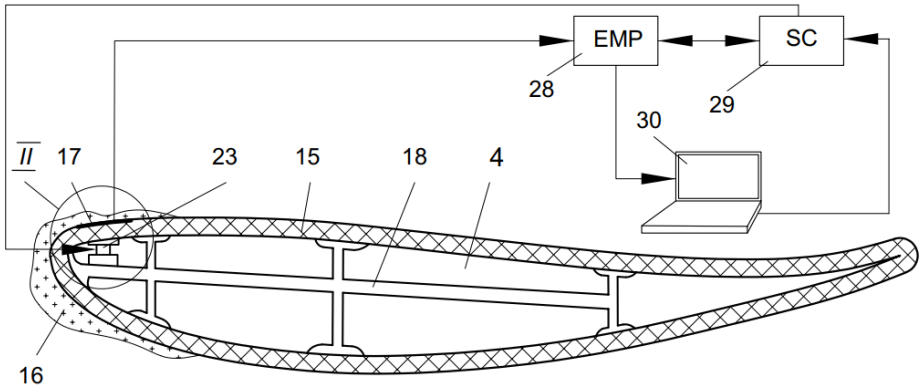
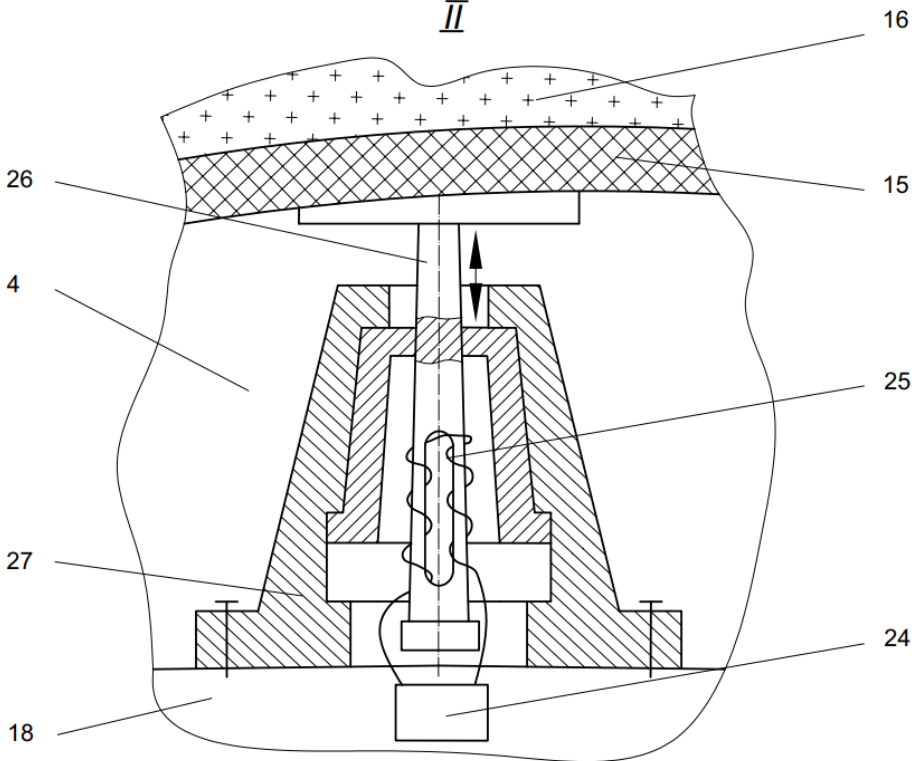


Fig. 2.7. a - pală aerodinamică cu senzori de temperatură pentru detectarea gheții și elementul bimetalic de eliminare a gheții; b - elementul bimetalic de eliminare a gheții la faza de repaos; c - elementul bimetalic de eliminare a gheții la faza funcțională; d - pală aerodinamică cu senzorii de temperatură pentru detectarea gheții și elementul magnetostrictiv de eliminare a gheții.



a.

II

b.

Fig. 2.8. a - pala aerodinamică cu senzorii de temperatură pentru detectarea gheții și generatorul de unde ultrasonore de eliminare a gheții;
b - generatorul de unde ultrasonore de eliminare a gheții.

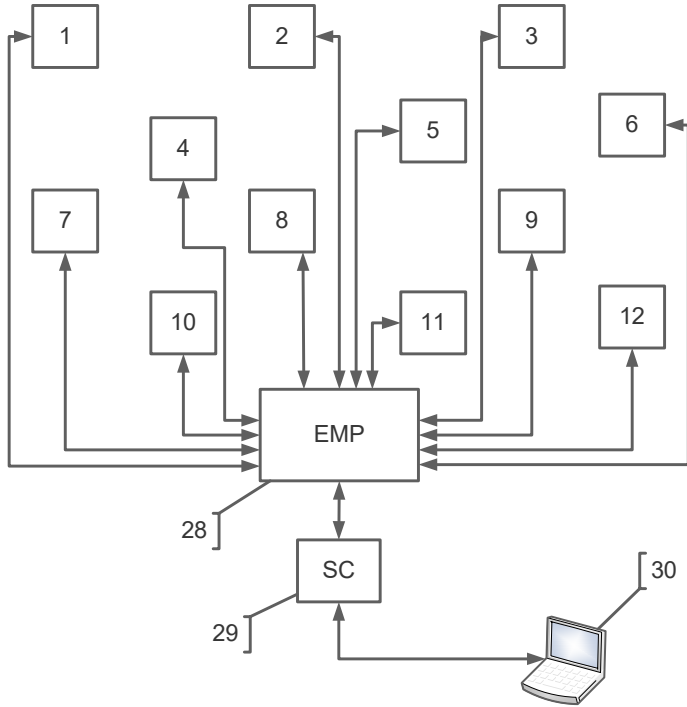


Fig. 2.9. Parc eolian cu turbine eoliene conectate la sistemul de monitorizare, procesare și control a semnalelor, emise de senzorii instalați pe fiecare turbină.

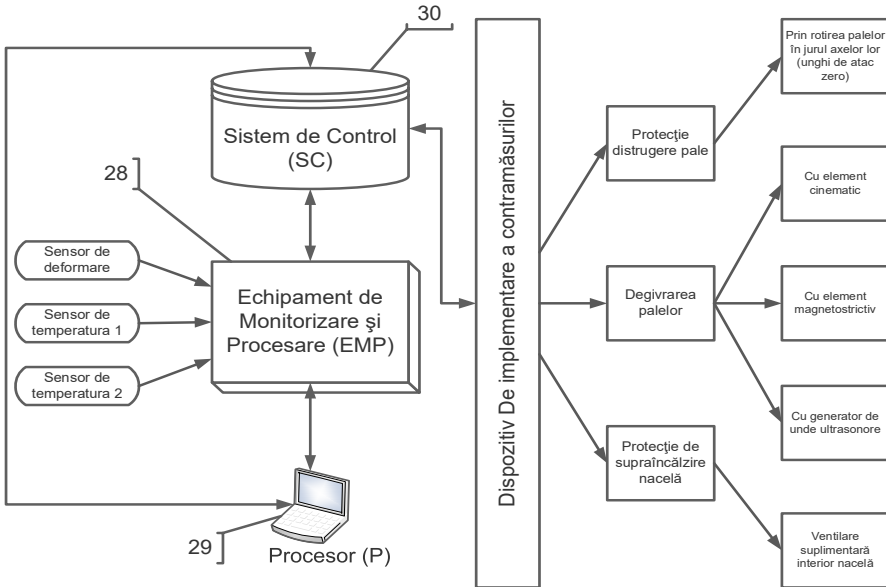


Fig. 2.10. Schemă logică a funcțiilor blocului de monitorizare, control și implementare a conțra-măsurilor.

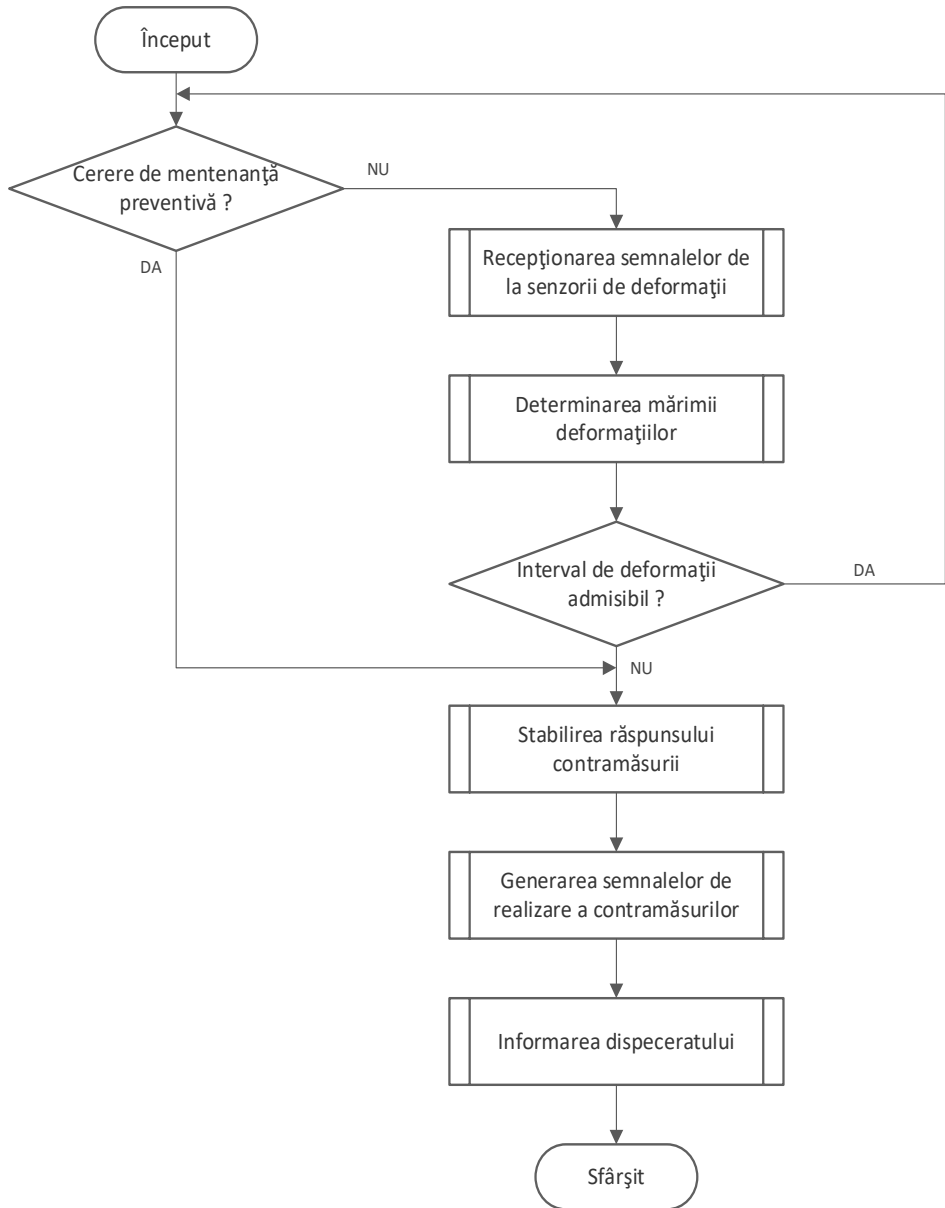


Fig. 2.11. Algoritmul monitorizării semnalelor senzorului de deformații și contramăsurilor.

senzor de deformații fără contact 14 instalat în zona cu solicitări maxime 13 ale palei aerodinamice 4.

În metoda de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene prin recepția, transmisiunea și măsurarea valorii datelor achiziționate și

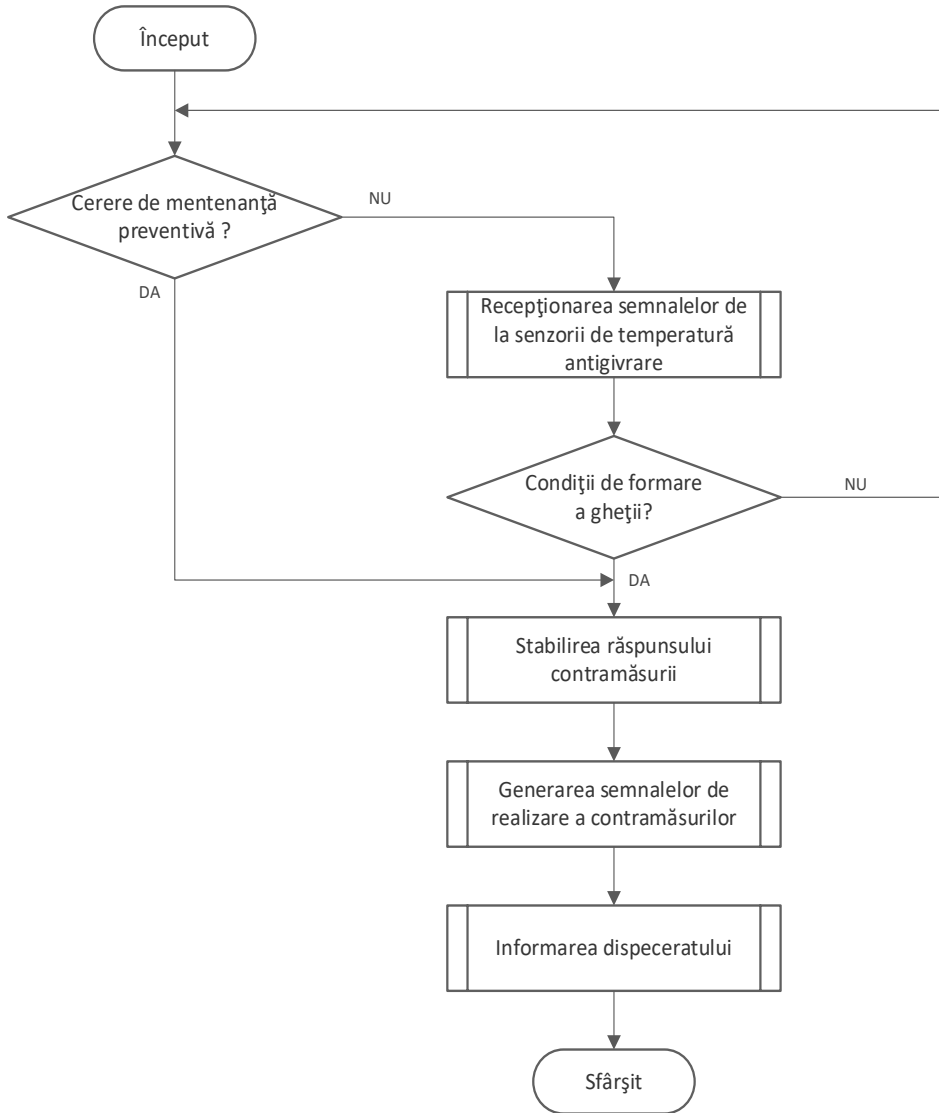


Fig. 2.12. Algoritmul monitorizării procesului de degivrare a palei.

prelucrate, precum și transformarea semnalului, evaluarea lui, inclusiv, analiza de la distanță și implementarea de contramăsuri, pentru depistarea stratului de gheață 16 deșus pe bordul de atac al palelor aerodinamice 4 ale turbinei eoliene, recepția și măsurarea semnalului privind apariția stratului de gheață pe suprafața exterioară a palei aerodinamice 4 prin intermediul a cel puțin unui senzor de temperatură 17 instalat pe suprafața

palei aerodinamice 4 pe partea bordului de atac cu depuneri maxime ale gheții 16.

Dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor conform fig. 2.5 funcționează în modul următor: În cazul când temperatura în interiorul nacelei 2 depășește o valoare limită senzorul de temperatură 12 emite semnale, care sunt transmise (cu sau fără contact) la echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28, procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30, care va acționa cuplajul comandat 10 pentru fixarea roții ventilatoare 9 pe capătul 8 al rotorului generatorului electric 7, care se va roti cu turația rotorului generatorului. Totodată un semnal electric este transmis unui actuator pentru deschiderea capacului de reglare 11, care va permite aspirația de către roata ventilatoare a aerului mai rece din afara nacelei 2 și eliminarea aerului cald. Aceasta va permite protecția generatorului electric 7, dar și a multiplicatorului mecanic 6, de supraîncălzire. După ce temperatura în interiorul nacelei 2 va reveni la normal senzorul de temperatură 12 va transmite semnale la echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28, procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30, care va elimina legătura cuplajului comandat (10) cu capătul 8 al rotorului generatorului electric 7 și va opri roata ventilatoare 9. Totodată un semnal electric este transmis unui actuator pentru închiderea capacului de reglare 11.

Dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor conform fig. 2.5 – 2.6,*a,b* funcționează în modul următor: În cazul apariției unei microfisuri senzorul de deformații 14 emite semnale, care sunt transmise (cu sau fără contact) la echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28, procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30, care va acționa actuatorul 31, care va roti pala aerodinamică 4 în jurul axei sale, modificându-i unghiul de atac și, ulterior, frânată de frâna 32.

Dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor conform fig. 2.6,*c* funcționează în modul următor: În cazul apariției unei microfisuri senzorii de deformații 14, amplasați în întreaga masă a învelișului compozit 15 emit semnale, care sunt transmise (cu sau fără contact) la echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28, procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30 pentru

acționarea actuatorului 31, care va roti pala aerodinamică 4 în jurul axei sale, modificându-i unghiul de atac, și ulterior fiind frânată de frâna 32.

În procesul funcționării turbinelor eoliene în zone predispușe spre formarea gheții depunerea de gheață are loc preponderent pe bordurile de atac ale palelor aerodinamice. Aceasta conduce la deteriorarea formei profilului aerodinamic al palei ceea ce conduce la reducerea portanței palei și, respectiv, scăderea eficienței de conversie a energiei eoliene în energie electrică. Dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor conform fig. 2.7,*a,b,c* funcționează în modul următor: La depunerea gheții 16 pe bordul de atac al palei aerodinamice 4 între stratul de gheață 16 și suprafața palei aerodinamice 4, pe care este amplasat senzorul de temperatură 17, se crează o temperatură, diferită de cea din mediul înconjurător. În acest caz senzorul de temperatură 17 va emite semnale, care sunt transmise (cu sau fără contact) la echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) (28), procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30, unde vor fi comparate cu temperatura mediului înconjurător al palei aerodinamice (4). În rezultatul unei diferențe de temperaturi este acționată intermitent o sursă de încălzire a plăcilor metalice 20 și 21 ale elementului bimetalic 19, capetele cărora (de stânga și de dreapta) sunt, respectiv, lipite între ele și fixate rigid în învelișul compozit 15 al palei aerodinamice 4. Datorită coeficientului de dilatare diferit placa 20 se va alungi mai mult, schimbânduși forma (obținând o formă curbă) și lovind pe suprafața interioară a învelișului compozit 15 al palei aerodinamice 4. În rezultat, legătura dintre stratul de ghiață 16 și suprafața palei aerodinamice 4, va slăbi, de asemenea, în masa gheții 16 vor apărea microfisuri, care se vor dezvolta până la ruperea bucăților de gheață și curățarea profilului aerodinamic. După ce suprafața palei aerodinamice 4 va fi eliberată de stratul de gheață 16, temperatura la suprafața palei aerodinamice 4 se va egala cu temperatura mediului înconjurător al palei, semnalul va fi transmis la echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28, procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30, care va opri sursă de încălzire a plăcilor metalice 20 și 21.

Dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor conform fig. 2.7,*d* funcționează în mod similar celui anterior. La apariția diferenței de temperaturi pe suprafața palei aerodinamice 4 sub stratul de gheață 16 și în mediul înconjurător al

palei aerodinamice 4 echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28, procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30 va acționa elementul 22 executat din material magnetostrictiv, generând oscilații mecanice ale elementului, care sunt transmise învelișului compozit 15 al palei aerodinamice 4. În continuare procesul de distrugere a stratului de gheață este similar cazului precedent.

Dispozitivul de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor conform fig. 2.8,*a,b* funcționează în mod similar celui anterior. La apariția diferenței de temperaturi pe suprafața palei aerodinamice 4 sub stratul de gheață 16 și în mediul înconjurător al palei echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28, procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30 va acționa generatorul de unde ultrasonore 23, în care generatorul de înaltă frecvență (GIF) 24 va genera oscilații ultrasonore în transductorul magnetostrictiv 25 transmise prin concentratorul 26 suprafeței interioare a învelișului compozit 15 al palei aerodinamice 4. În continuare procesul de distrugere a stratului de gheață este similar cazului precedent. Monitorizarea, controlul și implementarea contramăsurilor se efectuează conform schemei logice prezentate în fig. 2.10. Monitorizarea semnalelor senzorilor de deformații și a contramăsurilor se efectuează conform algoritmului din fig. 2.11, iar a procesului de degivrare a palelor - conform algoritmului din fig. 2.12.

În cazul unui parc eolian (fig. 2.9) semnalele de la senzorii de temperatură 12, senzorii de deformații 14 și senzorii de temperatură 17 sunt recepționate de echipamentul de monitorizare și procesare (EMP) 28 legat cu procesorul 29 și sistemul de control (SC) 30, care elaborează comenzi la efectuarea contramăsurilor respective. Starea turbinelor eoliene este monitorizată în timp real.

Astfel, dispozitivele de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor asigură:

- protecția palei aerodinamice 4 de la distrugere mecanică, de asemenea, protecția oamenilor de căderea fracțiunilor de pală asupra lor;
- protecția multiplicatorului mecanic 6 și a generatorului electric 7 de supraîncălzire și distrugerea lor prin aprindere;
- majorarea eficienței de conversie a energiei eoliene în energie electrică prin distrugerea stratului de gheață 16 de pe bordul de atac al palei aerodinamice 4.

2.2.1.2. Pală inteligentă a rotorului turbinei eoliene cu ax orizontal

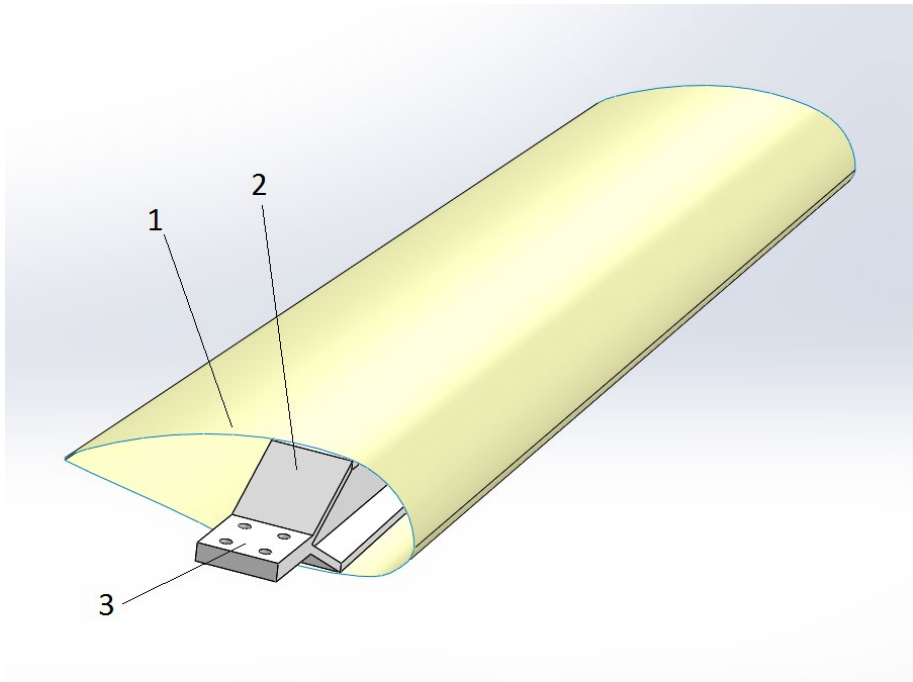
Soluția tehnică propusă [17] asigură rezistență mecanică înaltă palei și majorarea eficienței de conversie prin asigurarea procesului de degivrare automată a palei. Pala conform fig. 2.13,*a,b* include învelișul 1 executat din material compozit, în interiorul căreia este instalat lonjeronul 2 de tip I care, la rândul său, include capătul de prindere 3, din care se dezvoltă plăcile longitudinale superioară 4 și inferioară 5, între care este amplasată perpendicular pe plăcile 4 și 5 placa 6, legată rigid cu capătul de prindere 3. Plăcile 4, 5 și 6 se îngustează spre vârful palei. Totodată capătul de prindere 3 și plăcile 4, 5 și 6 în partea de bază a palei pe aproximativ $\frac{1}{4}$ din lungimea palei, unde sarcinile sunt mari, se execută din materiale compozite cu fibre de carbon.

În capul de asamblare al palei rotorului turbinei eoliene conform fig. 2.14 placa 6 este legată rigid cu plăcile 4 și 5 și amplasată la o distanță de capătul de prindere 3, iar în spațiul între capătul de prindere 3 și placa intermediară 6 este amplasată cel puțin o bară 7 legată rigid cu plăcile 4 și 5 și executată din aliaj cu memoria formei, pe care sunt instalați traductorii 8, legați cu blocul de dirijare 9 și sistemul de încălzire 10 a barelor 7 din aliaj cu memoria formei.

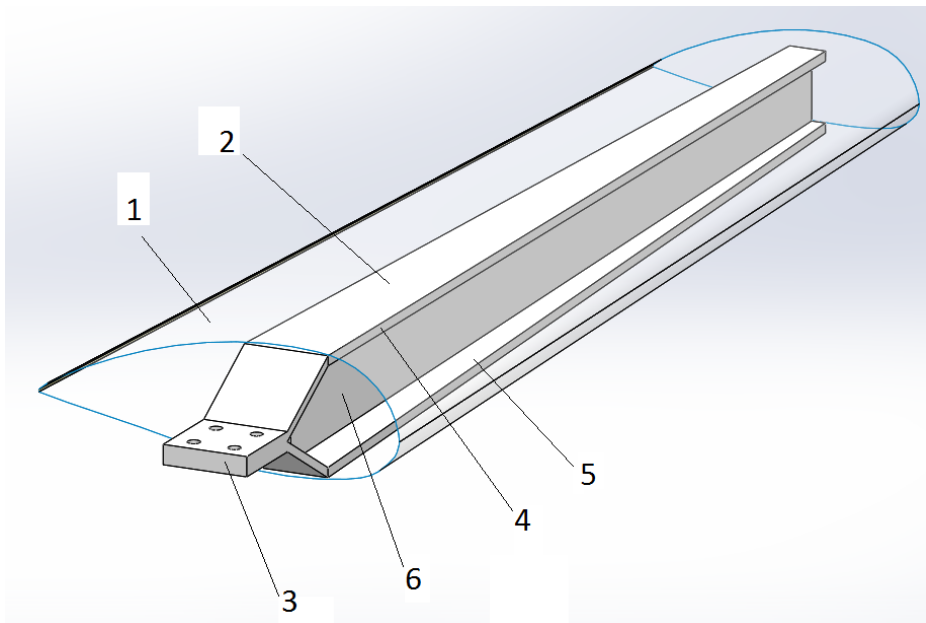
Pala rotorului turbinei eoliene conform fig. 2.13 placa superioară 4 este executată din material compozit, în structura căruia sunt amplasate fire 11 executate din aliaj cu memoria formei.

Pala rotorului turbinei eoliene conform fig. 2.13-2.14 funcționează în felul următor. Conform simulărilor numerice tensiunile maxime de încovoiere și de torsiune sunt generate în capătul de prindere și partea de la baza longeronului cu plăcile 4,5 și 6. Capătul de prindere 3 a palei, executat împreună cu plăcile longitudinale superioară 4 și inferioară 5, asigură rezistență mecanică (torsională și de încovoiere) mai mare. Fabricarea capătului de prindere 3 și a plăcilor 4,5 și 6 ale longeronului pe lungimea de apr. $\frac{1}{4}$ din lungimea lui (a palei 1) asigură rezistență mecanică (la torsiune și încovoiere) sporită.

În capul de asamblare al palei rotorului turbinei eoliene conform fig. 2.14 la deformarea barelor din nitinol 7 sub acțiunea sarcinilor majorate generate de creșterea vitezei vântului, traductorii 8 transmit semnalele la blocul de dirijare 9 care, la rândul său, pornește sistemul de încălzire 10 a



a.



b.

Fig. 2.13. a - pală aerodinamică cu placă de fixare; b - schema structurii lonjeronului din două plăci longitudinale unite rigid cu placa de fixare.

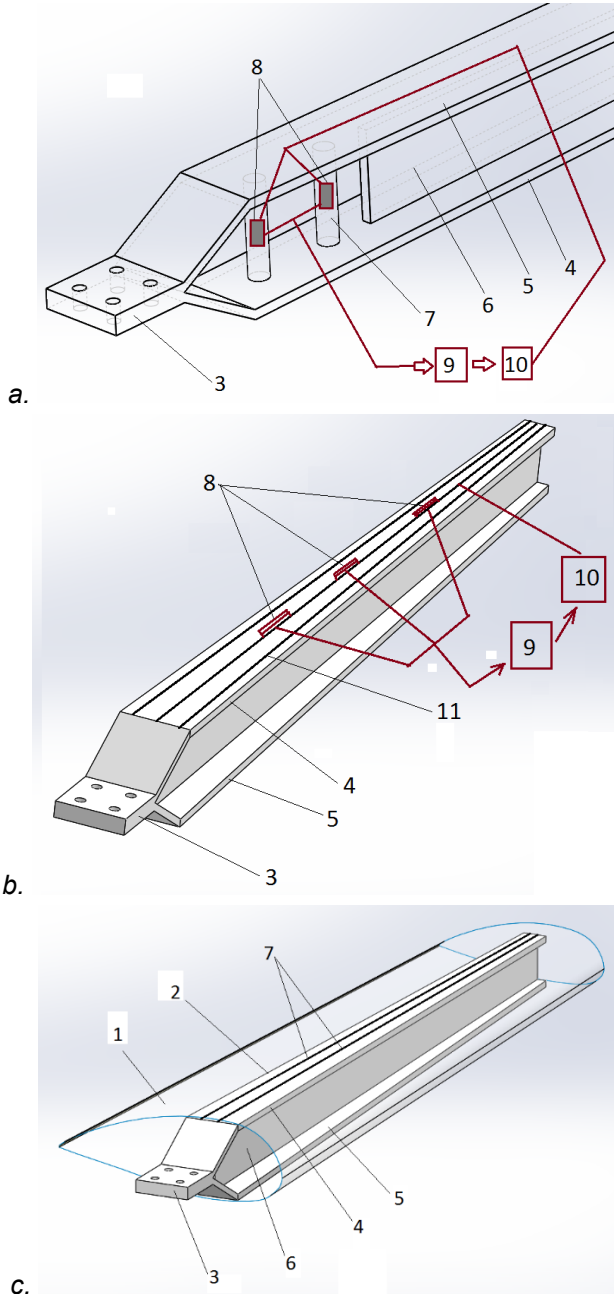


Fig. 2.14. a - schema lonjeronului cu cel puțin două bare din aliaj cu memoria formei; b - schema lonjeronului de tip I cu fire din aliaj cu memoria formei integrate în structura compozitului plăcii superioare; c - schema palei cu înveliș și lonjeron de tip I cu fire din aliaj cu memoria formei integrate în structura compozitului plăcii superioare.

barelor 7 executate din aliaj cu memoria formei (de ex. nitinol). Barele 7, încălzindu-se până la temperatura de transformări intercrystaline (pentru nitinol – NiTi=149°C), își aduc aminte forma lor inițială (adică drepte) îndreptându-se, readucând astfel și longeronul (plăcile 4,5 și 6) în starea inițială. Aceasta permite majorarea rezistenței mecanice a longeronului constituit din plăcile 4,5 și 6.

În capul de asamblare al palei rotorului turbinei eoliene conform fig. 2.14,b la deformarea plăcii longitudinale superioare 4 semnalele traductorilor 8, lipiți pe firele 11 din aliaj cu memoria formei (de ex. nitinol) sunt transmise blocului de dirijare 9 care, la rândul său, pornește sistemul de încălzire 10 a firelor 11 care, încălzindu-se până la temperatura de transformări intercrystaline (pentru nitinol – NiTi = 149°C), își aduc aminte forma lor inițială (adică forma dreaptă), îndreptându-se, readucând astfel placa longitudinală în starea inițială. Aceasta permite majorarea rezistenței mecanice a longeronului constituit din plăcile 4,5 și 6.

De asemenea, încălzirea firelor 11 din componența compozitului, din care este executată placa 4, conduce la evitarea depunerii gheții pe suprafața aerodinamică a palei, fapt ce asigură majorarea eficienței de conversie a energiei eoliene în energie mecanică (electrică) datorită faptului că este evitată depunerea gheții, care conduce la deformarea profilului aerodinamic calculat al palei.

Soluțiile tehnice propuse asigură majorarea rezistenței mecanice (la torsiune și la încovoiere), în special, a capătului de prindere și partea de la baza palei. De asemenea, asigură largirea posibilităților funcționale prin amplasarea în structura materialului compozit, din care este executată placa 4 a longeronului, a firelor din aliaj cu memoria formei, care asigură atât majorarea rezistenței mecanice cât și evitarea depunerii gheții pe profilul hidrodinamic al palei.

2.2.1.3. Turbină eoliană cu ax orizontal

Soluția tehnică se bazează pe un principiu des întâlnit în practica inginerescă: principiul de compensare a influenței diferitor fenomene, care influențează sistemul în timpul funcționării: predeformare, presolicitare ș.a. Deoarece eficiența turbinei eoliene depinde în mare măsură de suprafața baleiată a rotorului, condiționată de lungimea palelor (diametrul rotorului, relația empirică de calcul a puterii fiind: $P = 0,000195D^{2,156}$), în cazul palelor aflate sub acțiunea curenților de aer acestea se vor deforma (încovoia), astfel conducând la reducerea parțială a diametrului rotorului. Aceasta, la rândul său, va conduce la reducerea puterii generate. Pentru a elimina acest neajuns în soluția tehnică propusă [18] palele sunt amplasate în butucul rotorului cu un unghi de înclinare în aval (împotriva curenților de aer), astfel ca sub acțiunea curenților de aer palele să se deformeze în măsura, în care să revină la poziția verticală, asigurând suprafață baleiată maximă și, deci, putere maximă. Este un principiu utilizat la automobilele de tonaj mare, la care în stare descărcată roțile sunt instalate pe osie cu un unghi de înclinare în interior, astfel ca după încărcarea mașinii ele să ocupe poziția verticală, optimă pentru funcționare corectă.

Invenția [18] se referă la o turbină eoliană cu ax orizontal (fig. 2.15-2.16), care include palele 1, instalate în butucul 2 amplasat în nacela 3, instalată mobil pe turnul 4, fixat rigid pe fundația 5.

Turbina eoliană funcționează în modul următor. Acțiunea curenților de aer asupra palelor cu profil aerodinamic generează efectul aerodinamic, care antrenează palele 1 în mișcare de rotație, transmisă rotorului 2.

În continuare examinăm varianta turbinei cu pale instalate perpendicular la axa rotorului 2:

La viteze mici ale vântului pala 1 este practic nedeformată (fig. 2.15,b). Atunci aria baleiată a rotorului va fi:

$$A_0 = \frac{\pi D_0^2}{4}, \quad (2.1)$$

iar puterea generată va fi:

$$P_0 = \frac{1}{2} k \rho V^3 A_0, \quad (2.2)$$

unde k este eficiența de conversie; ρ - densitatea aerului; V - viteza aerului; D_0 - diametrul rotorului eolian.

La viteze mari ale vântului pala se deformează (fig. 2.15,b), vârful ei deplasându-se cu săgeata:

$$y_{max} = \frac{F_{max} \left(\frac{D_0}{2} \right)^3}{3EI_y}, \quad (2.3)$$

unde F_{max} este forța de încovoiere maximă generată de curenții de aer, care acționează asupra palei 1; D_0 - diametrul rotorului eolian; E - modulul de elasticitate de gradul I al materialului palei; I_y - momentul de inerție al secțiunii palei față de axa „y” (fig. 2.16,c).

Aria baleiată a rotorului va fi:

$$A_l = \frac{\pi D_l^2}{4}, \quad (2.4)$$

unde: $D_l = D_0 \cos \theta$, iar $\theta = 2 \arcsin \frac{y_{max}}{D_0}$

Puterea generată va fi:

$$P_l = \frac{1}{2} k \rho V^3 A_l, \quad (2.5)$$

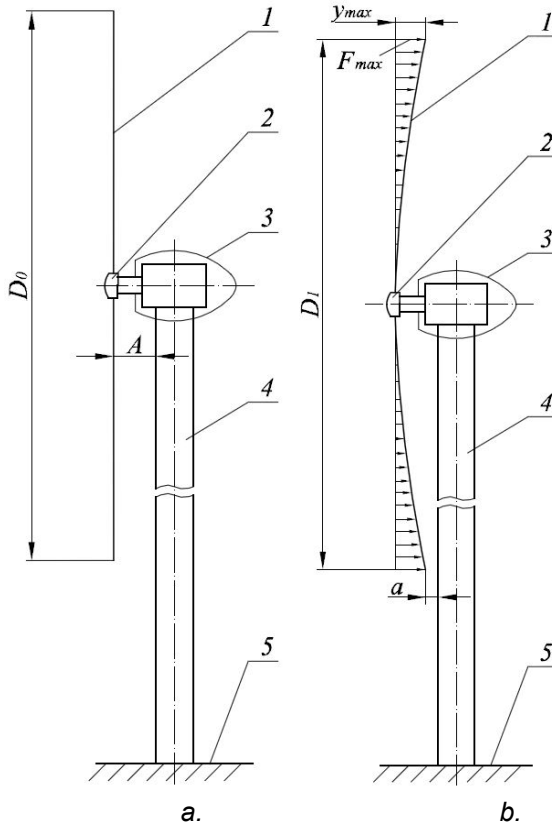


Fig. 2.15. Vederea generală a turbinei eoliene cu pale instalate perpendicular pe axa rotorului: a - nesolicitată; b - cu pale deformatе sub acțiunea curenților de aer.

Palele 1 sunt instalate sub unghiul θ în aval față de axa rotorului 2.

La viteze mici ale vântului pala 1 este practic nedeformată (fig. 2.16). Atunci aria baleiată a rotorului va fi:

$$A_0 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi (D_0 \cos \theta)^2}{4}, \quad (2.6)$$

iar energia convertită se determină cu relația (2.2).

La viteze mari ale vântului pala se deformează (fig. 2.16,b), vârful ei deplasându-se cu săgeata:

$$y_{max} = \frac{F_{max} \left(\frac{D_1}{2} \right)^3}{3EI_y}, \quad (2.7)$$

Aria baleiată a rotorului:

$$A_1 = \frac{\pi D_0^2}{4}, \quad (2.8)$$

Energia convertită se determină cu relația (2.5).

Analiza comparativă a celor două variante arată că în cazul instalării palelor sub un unghi θ în aval în raport cu planul perpendicular pe axa rotorului la viteze mai mari ale vântului (când potențialul energetic este mai mare) pala 1, deformându-se, ocupă o poziție apropiată de cea verticală, mărind astfel suprafața baleiată și, deci, cantitatea de energie convertită.

Instalarea palelor 1 în butucul rotorului 2 sub un unghi θ , după deformarea ei sub acțiunea curenților de aer la viteze mari ale vântului va ocupa poziția apropiată de cea verticală. De aceea, în vederea evitării coliziunii palelor cu turnul, planul de instalare a palelor în butuc este mai apropiat de turnul turbinei ($B < A$) fapt ce conduce la reducerea momentului de încovoiere generat de forțele care acționează asupra palelor la viteze mari ale vântului. Iar aceasta asigură o solicitare mai mică a elementelor de legătură mobilă a rotorului eolian 2 (nacelei 3) cu turnul. De asemenea, se vor reduce forțele care acționează asupra buloanelor de prindere a turnului cu fundația 5.

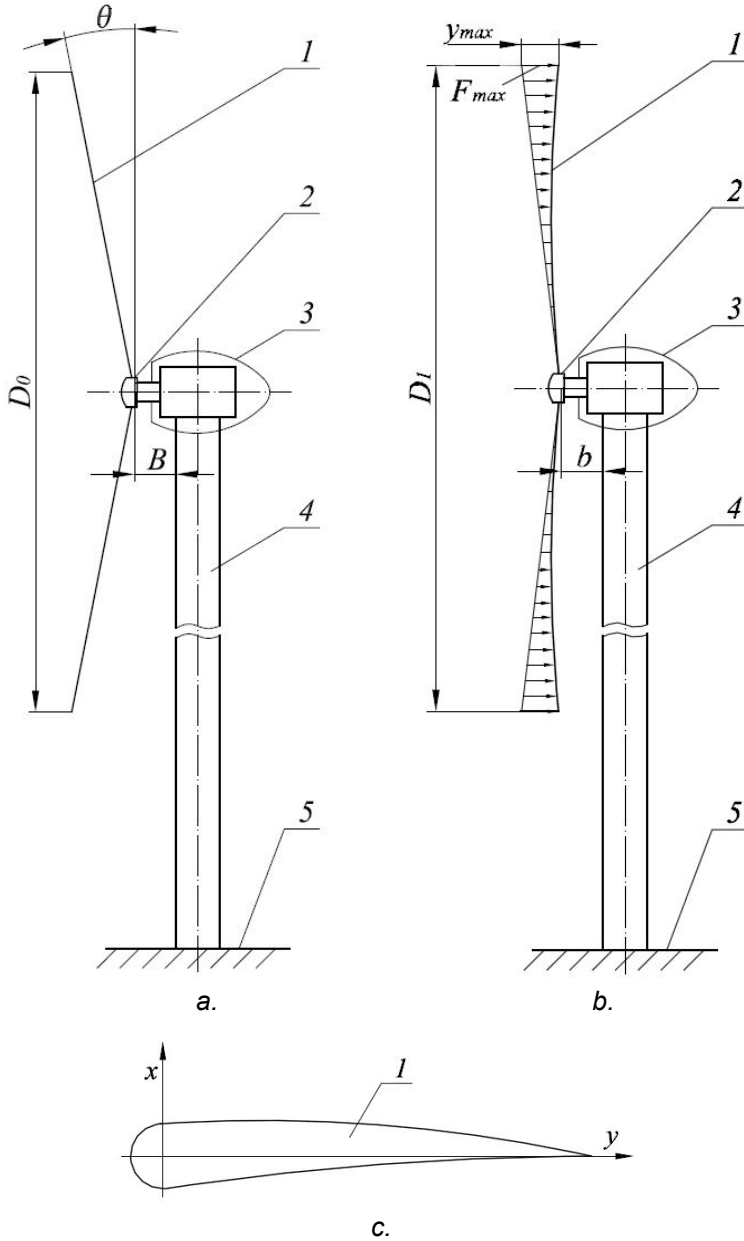


Fig. 2.16. Vederea generală a turbinei eoliene cu pale instalate înclinat în aval: a - nesolicitată; b - cu pale deformate sub acțiunea curenților de aer; c - axa y a profilului aerodinamic.

2.2.1.4. Turbină eoliană cu ax orizontal cu control al puterii

În scopul protejării turbinelor eoliene de distrugere la viteze ale vântului, care depășesc valori nominale, se folosesc diferite metode de protecție. În soluția tehnică propusă [19] se utilizează fenomenul dirijării regimurilor de curgere a curenților de aer pe suprafața palei cu elemente inerționale. Turbina eoliană cu ax orizontal cu control al puterii conform fig. 2.17-2.18 include turnul suport 1, pe care este instalată nacela 2 cu posibilitatea rotirii în jurul axei turnului suport 1. În nacela 2 este instalat cu posibilitatea rotirii în jurul axei sale rotorul 3 cu palele aerodinamice 4 și generatorul electric 5. Pe suprafața aerodinamică a palei 4 în zonele cu maxim efect aerodinamic este prevăzută clapeta periferică 6 (fig. 2.18,a),

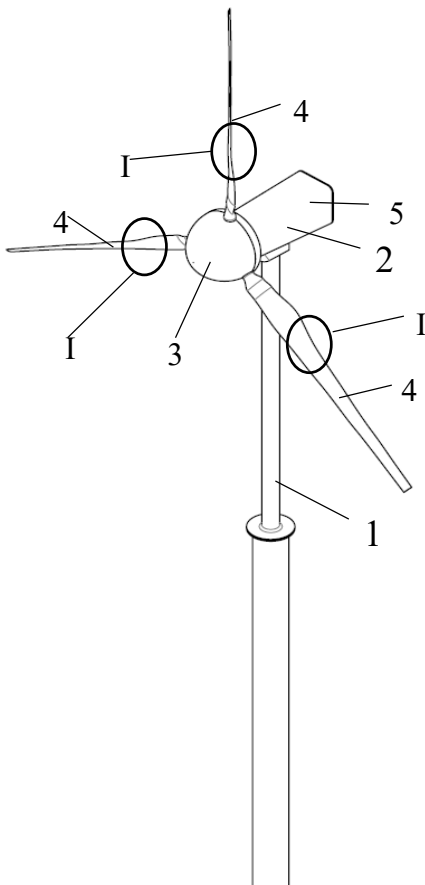


Fig. 2.17. Vederea generală a turbinei eoliene cu ax orizontal.

un capăt al căreia este legat prin articulația 7 cu corpul palei 4, iar al doilea este liber. Numărul clapetelor periferice 6 poate fi 1,2 și mai multe. Clapetele periferice 6 în partea lor de mijloc sunt legate prin intermediul articulației 8 cu un capăt al barei 9, al doilea capăt al căreia este legat rigid cu bara 10 și prin articulația 11 – cu structura de rezistență a palei aerodinamice 4. Pe al doilea capăt liber al barei 10 este fixat corpul inerțial 12, iar cu partea de mijloc, prin intermediul elementului elastic 13 este legat cu structura de rezistență a palei aerodinamice 4.

Turbina eoliană funcționează în modul următor. La viteze ale vântului până la cea nominală (de ex. sub 11-12 m/s) palele aerodinamice 4 au clapetele periferice 6 în stare închisă,

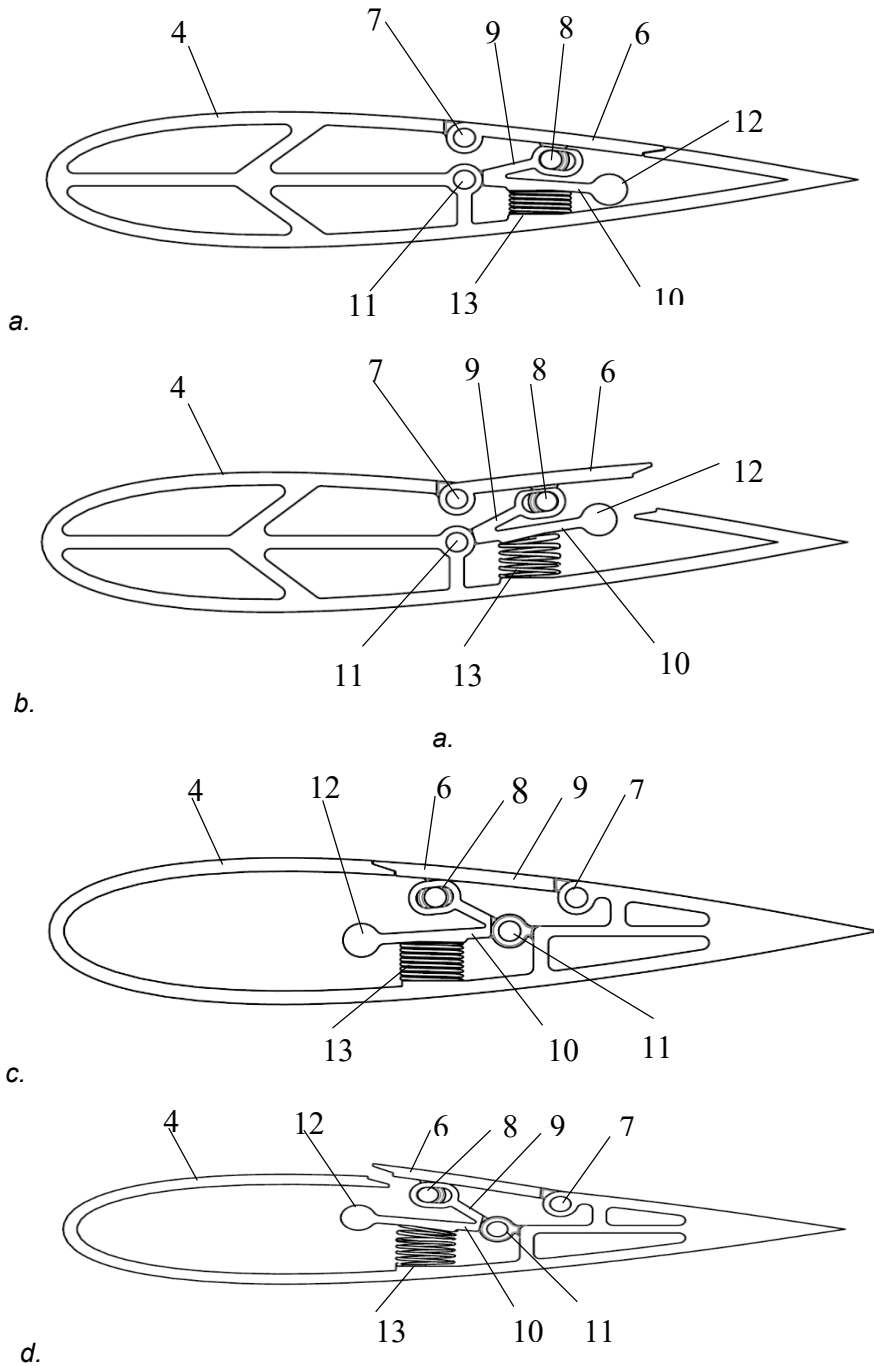


Fig. 2.18. Vederea I din fig.2.17 (varianta I) (clapeta 6 închisă (a) și deschisă (b)); vederea I din fig.2.17 (varianta II) (clapeta 6 închisă (c) și deschisă (d)).

fapt ce asigură palei 4 profil aerodinamic optim în zona respectivă și efect aerodinamic maxim. În cazul când viteza vântului depășește o valoare nominală (de ex. 15-25 m/s) turația rotorului 3 se mărește, forțele de inerție ale corpului inerțial 12 se măresc și prin intermediul barelor articulate 9 și 10, învingând forța de elasticitate a elementului elastic 13, deschide clapetele periferice 6, modificând profilul aerodinamic al palei 4 în direcția înrăutățirii eficienței de conversie, fapt ce va conduce la reducerea turației rotorului 3, astfel protejând palele aerodinamice 4 de suprasarcini mecanice și de distrugere. De asemenea, apare o anumită componentă a forței de rezistență la interacțiunea clapetelor periferice 6, aflate în stare deschisă, cu curenții de aer, care conduce la reducerea turațiilor rotorului 3. În momentul când turația rotorului 3 se va afla în limitele valorilor nominale elementele inerționale revin la poziția inițială, închizând clapetele periferice 6.

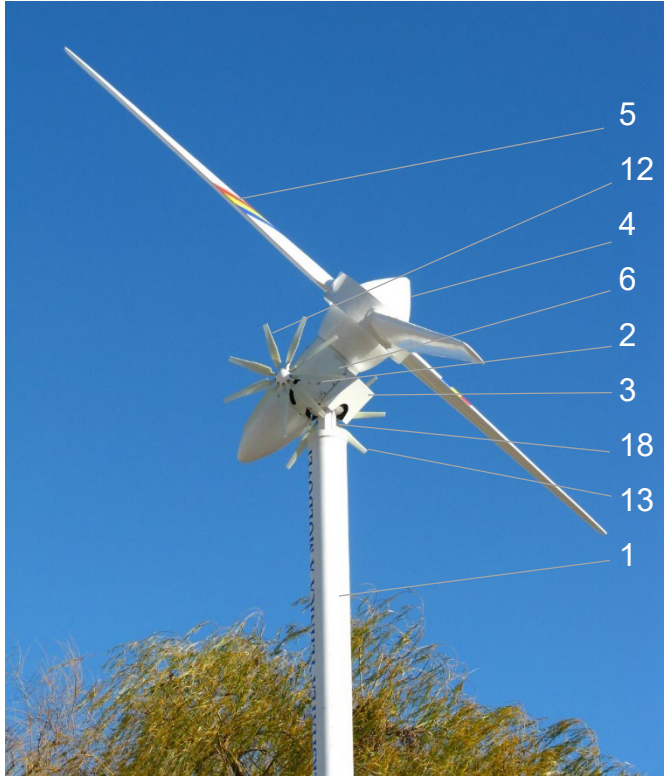
Soluțiile tehnice propuse asigură procesul de frânare mecanică și aerodinamică a rotorului turbinei eoliene cu ax orizontal, fiind soluții constructive relativ simple de control a puterii turbinei eoliene în cazul depășirii vitezei vântului a vitezei nominale.

2.2.1.5. Turbină eoliană cu ax orizontal cu orientare automată la direcția vântului

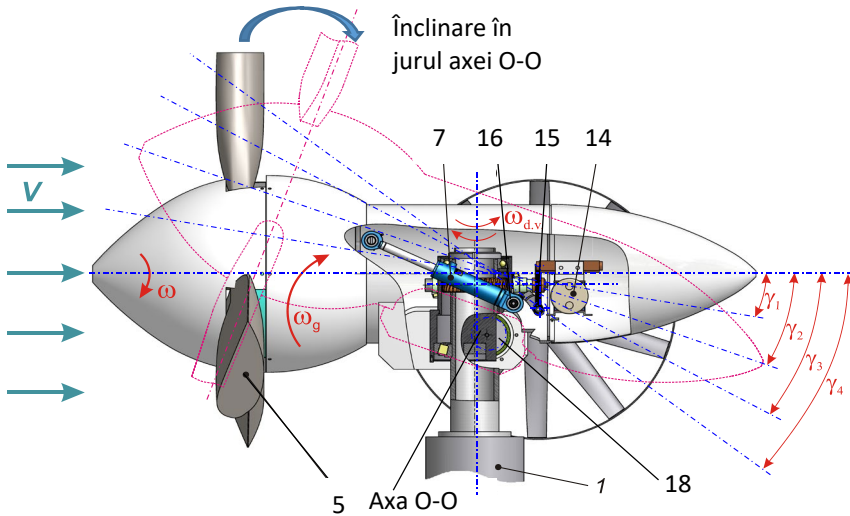
Este bine cunoscut faptul că eficiența de conversie a unei turbine eoliene cu ax orizontal depinde de orientarea cât mai corectă a rotorului la direcția vântului și utilizarea cât mai deplină a potențialului energetic eolian la viteze mai mari ale vântului fără a expune riscului de distrugere. În invenția [20] se propune o soluție tehnică inteligentă de orientare mecanică la direcția vântului și utilizarea maximă a potențialului energetic eolian la viteze mai mari ale vântului până la scoaterea rotorului de sub acțiunea vântului pentru a proteja turbine de distrugere mecanică a elementelor.

Turbina eoliană (fig. 2.19,*a,b*) include un turn 1, o gondolă 2 instalată cu posibilitatea rotirii în jurul axei verticale O-O a turnului pe un platou 3, un rotor 4 cu pale aerodinamice 5, arborele căruia este legat cu arborele generatorului electric 6 cu magneți permanenți. În nacela 2 este amplasat un hidrocilindru 7 acționat de o stație hidraulică 8. Carcasa 9 a hidrocilindrului 7 este legată cu platoul 3 prin intermediul unei articulații 10, iar ștocul 11 al hidrocilindrului 7 este legat cu nacela 2 și formează un unghi α între axa hidrocilindrului 7 și axa orizontală paralelă cu axa nacelei 2. De ambele părți ale nacelei 2 sunt instalate două roți vindroză 12 cu pale 13 cu profil rectiliniu. Roțile vindroză 12 sunt instalate pe un arbore melc 14, care angrenează cu roata melcată 15 a primei transmisii melcate. Roata melcată 15 este instalată fix pe arborele melc 16 care, la rândul său, angrenează cu roata melcată 17, fixată rigid pe capătul superior al turnului 1. Totodată nacela 2 este legată prin intermediul osiei 18 cu turnul 1 cu posibilitatea rotirii în jurul axei O-O.

Turbina eoliană funcționează în modul următor. La o viteză, a vântului $v > 3$ m/s curenții de aer interacționează cu palele aerodinamice 5 ale rotorului 4, antrenându-l în mișcare de rotație, care este transmisă arborelui generatorului electric 6 cu magneți permanenți. La schimbarea direcției vântului, palele 13 ale roților vindroză 12 interacționează cu curenții de aer, antrenând în mișcare de rotație roțile vindroză 12 și arborele cu melc 14. Mișcarea de rotație a roților vindroză 12 este redusă în angrenajul cu melc, asigurând rotirea nacelei 2 în plan orizontal împreună cu rotorul 4 după direcția vântului până când curenții de aer nu



a.



b.

Fig. 2.19. a - Turbină eoliană cu roți vindroză; b – vederea frontală a nacelei cu roți vindroză la diferite unghiuri de înclinare în plan vertical.

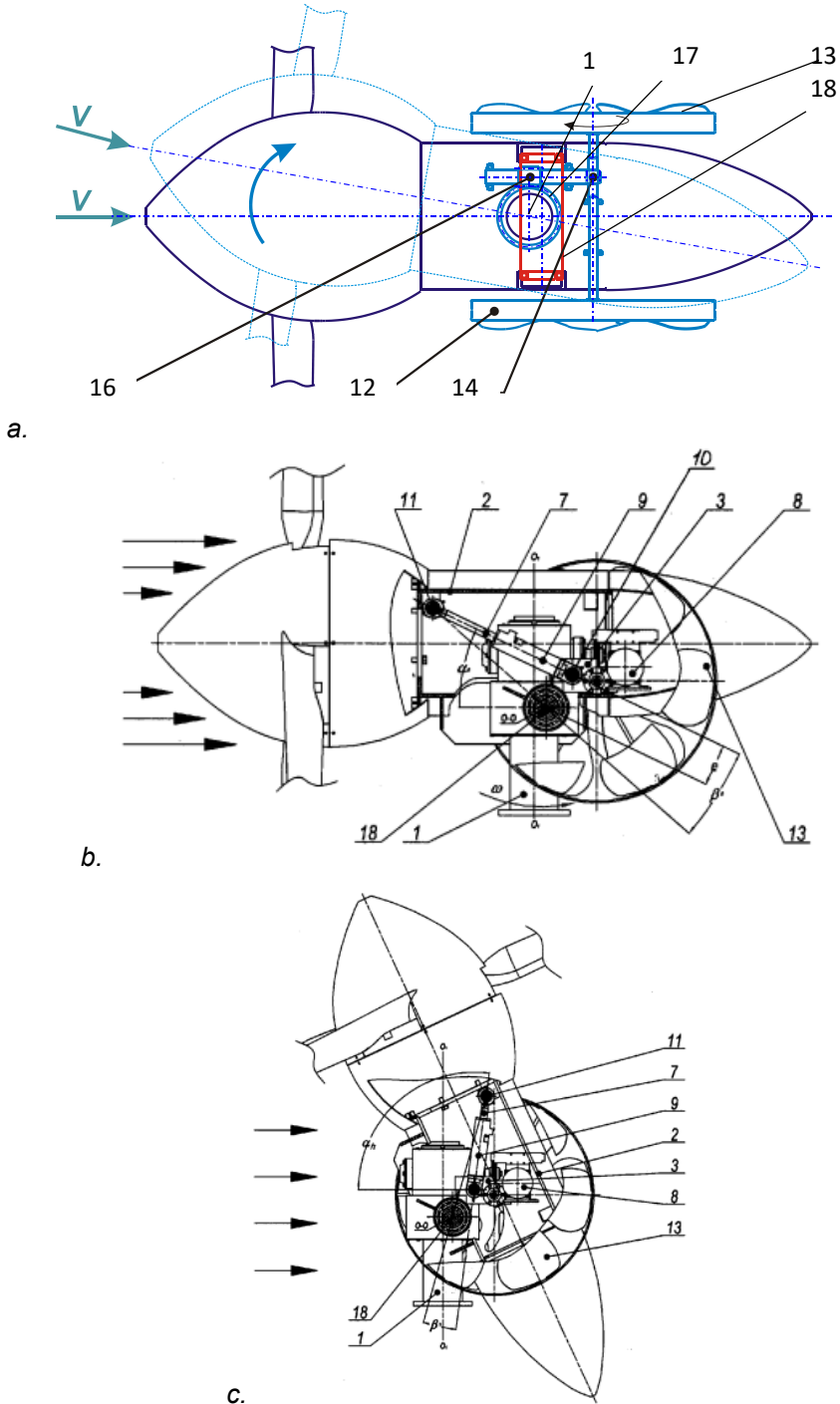


Fig. 2.20. a – vederea A din fig. 2.17,b; b – nacela în poziție orizontală; c – nacela în poziție înclinată.

vor mai acționa perpendicular planului palelor aerodinamice 5 ale rotorului 4. În această poziție palele 13 ale roților vindroză 12 nu vor mai reacționa cu curenții de aer și rotirea nacellei 2 în plan orizontal va fi stopată până când vântul nu-și va schimba direcția (fig. 2.20,a). Pentru asigurarea vitezei constante de rotire a rotorului 4 nacela 2 se va roti în jurul axei O-O (fig. 2.20,b,c). La o viteză a vântului $v < 14 \text{ m/s}$ axa comună a nacellei 2, generatorului electric 6 și a rotorului 4 cu pale aerodinamice 5 se află în poziție orizontală (fig. 2.20,b). La creșterea vitezei vântului $v > 14 \text{ m/s}$ nacela 2 cu rotorul 4 și generatorul electric 6 se vor roti în jurul axei O-O la unghiurile $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots \theta_n$ (fig. 2.20,b) în funcție de valoarea vitezei vântului, care este controlată de un traductor de tensiune, instalat pe rotorul generatorului electric. La viteze ale vântului $v > 14 \text{ m/s}$ puterea generală (tensiunea la bornele generatorului electric) scade. În acest caz se pornește stația hidraulică 8, acționând hidrocilindrul 7, care asigură rotirea nacellei 2 în jurul axei O-O, fapt ce asigură reducerea turației rotorului 4 până la cea nominală. Nacela este menținută în pozițiile respective $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots \theta_n$ (fig. 2.19,b) până când viteza vântului nu se va mai schimba (mări sau micșora). A fost proiectat, fabricat, testat în condiții de laborator și instalat în Parcul Muzeu al Tehnicii al UTM (sect. Râșcani) prototipul industrial al turbinei de vânt. În fig. 2.21 se prezintă nacela cu roțile vindroză în Laboratorul de Aerohidrodinamică.

Astfel, schimbarea poziției unghiulare a nacellei 2 (rotorului 4) în plan vertical asigură:

- o viteză relativ constantă a rotorului, egală cu viteza nominală la vitezele ale vântului $v > 14 \text{ m/s}$;

- producerea energiei electrice și în domeniul vitezelor mari ale vântului $v > 14 \text{ m/s}$, spre deosebire de alte turbine, când la viteze ce depășesc viteza nominală sunt stopate.



Fig. 2.21. Nodul nacela + roțile vindroză în Laboratorul de Aerohidrodinamică.

2.2.1.6. Elaborarea conceptuală a turbinei eoliene cu rotor elicoidal cu ax vertical

Un interes aparte pentru inventatori și ingineri prezintă turbinele eoliene cu ax vertical (VAWT), care posedă următoarele avantaje:

- posibilitatea asigurării demarării fără sisteme auxiliare (în comparație cu conceptul Darrieus);
- micșorarea greutateii nodurilor electromecanice odată cu creșterea turației organului de lucru;
- micșorarea semnificativă a suprafeței necesare turnului de susținere a organului de lucru;
- coeficient sporit de utilizare a energiei eoliene.

La baza practic a tuturor turbinelor eoliene cu ax vertical se află conceptele Darrieus și Savonius.

Turbina eoliană cu ax vertical propusă (fig. 2.22, [21]) include axul central *l*, poziționat vertical, de care sunt atașate trei pale elicoidale identice *2* cu profil aerodinamic. Sub acțiunea curentului de aer, palele cu profil aerodinamic, amplasate pe linii elicoidale față de axa arborelui central *l*, vor intra progresiv în lucru, astfel excluzându-se situația solicitării simultane a palei pe toată anvergura. Extremitățile acestor pale elicoidale sunt legate prin intermediul a două noduri de legătură cu butucii superior *5* și inferior *6*, care se rotesc liber față de axa arborelui central. Capătul de jos al arborelui central este fixat rigid pe turnul *8*.

Nodurile de legătură, care sunt identice, reprezintă o structură tetraedrică formată din trei pale identice cu profil aerodinamic *4* și, respectiv, spițele *3*, care tensionează palele *2* și *4* ale turbinei de vânt. Acest fapt permite obținerea unei structuri integer, constituite din palele elicoidale, nodurile de legătură și arborele central. Grație palelor cu profil aerodinamic din componența nodurilor de legătură, axul turbinei de vânt este antrenat cu un moment de torsiune suplimentar.

Momentul sumar de torsiune, generat de interacțiunea curenților de aer cu palele rotorului eolian, este transmis prin intermediul butucului inferior la generatorul cu magneți permanenți *7* situat, de asemenea, pe arborele central în partea de jos a butucului inferior și cuplat cu acesta din urmă.

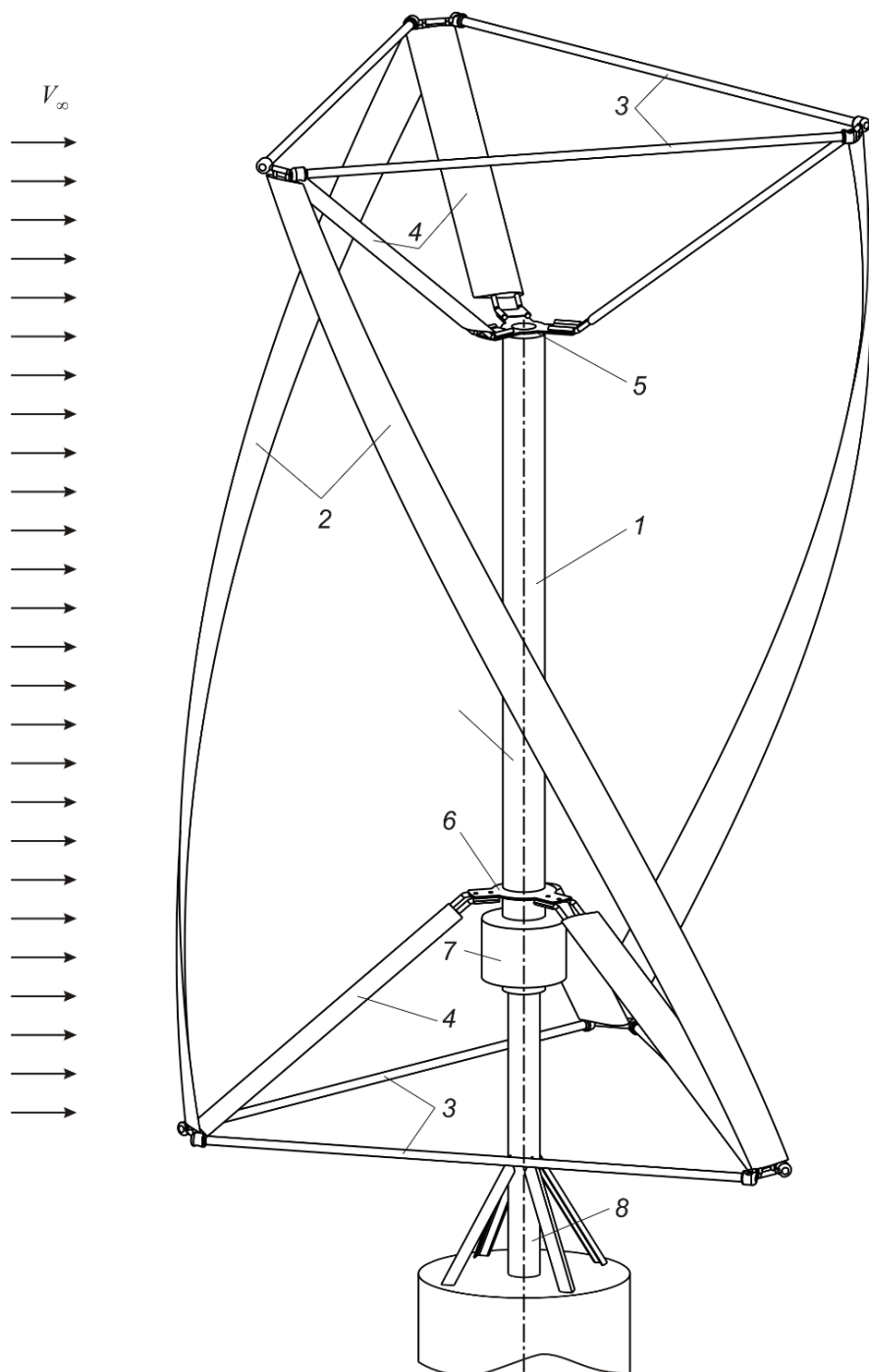


Fig. 2.22. Turbina eoliană cu ax vertical și pale elicoidale (REEV).

Datorită soluțiilor tehnice utilizate în construcția turbinei de vânt propuse, aceasta din urmă posedă următoarele avantaje față de conceptul clasic Darrieus:

- uniformitatea rotirii paletelor rotorului, fapt ce sporește eficiența turbinei;
- rezistența la rafale mari ale vântului;
- autodemarare la viteze joase ale vântului;
- nivel de zgomot și vibrații redus.

Pentru a mări eficiența de conversie a turbinei prin reducerea vitezei de pornire se propune o *turbina eoliană cu ax vertical combinată* (fig. 2.23, [22]), care include un arbore central fix *1*, poziționat vertical, pe care sunt

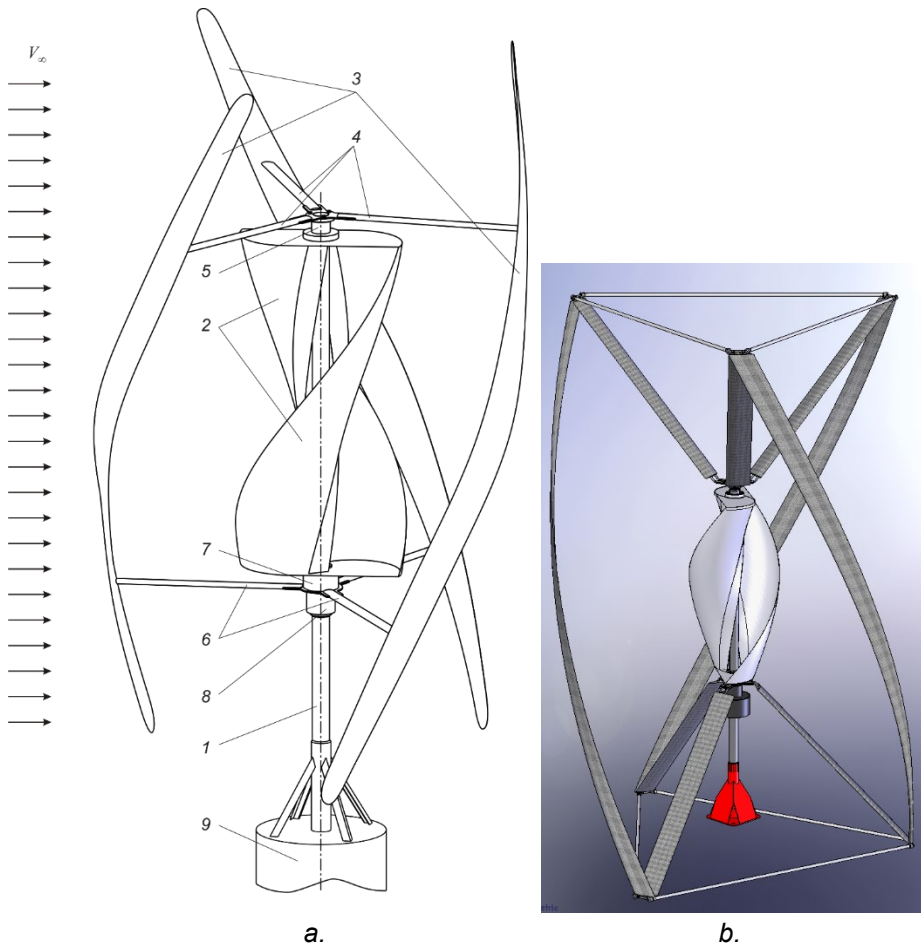


Fig. 2.23. Turbină eoliană cu ax vertical combinată.

instalate coaxial două rotoare: în exterior – un rotor în baza conceptului Darrieus; în interior – un rotor în baza conceptului Savonius. Rotorul interior (fig. 2.24) este constituit din cel puțin două pale elicoidale pline 2, legate cinematic cu butucul de sus 5, instalat cu posibilitatea rotirii față de acesta.

Rotorul exterior este constituit din trei pale elicoidale 3 cu profil aerodinamic în secțiunea transversală, ale căror capete de sus sunt legate rigid prin intermediul barelor 4 cu osia unui butuc superior 5, instalat cu posibilitatea rotirii în interiorul turnului vertical, iar capetele de jos ale palelor sunt



Fig. 2.24. Rotor eolian Savonius: a – pala executată din material compozit; rotor cu 2 pale.

legate prin intermediul barelor 6 cu carcasa butucului central 7, instalat cu posibilitatea rotirii în exteriorul turnului vertical. Legătura dintre rotorul interior și cel exterior se realizează prin intermediul unui cuplaj de înaintare, instalat în butucul central al turbinei de vânt.

Momentul de torsiune generat la interacțiunea turbinei de vânt cu masele de aer este transmis de ambele rotoare către butucul central, care este legat rigid cu rotorul generatorului cu magneți permanenți 8. Legătura dintre rotorul interior și cel exterior poate fi realizată, de asemenea, și prin intermediul unui diferențial, care va realiza sumarea momentelor de torsiune generate de ambele rotoare.

A fost elaborat modelul rotorului eolian cu ax vertical (fig. 2.25), efectuate ample modelări numerice ale interacțiunii „rotor cu ax vertical – curenți de aer”, obținându-se tablourile curenților de aer, presiunilor, forțelor generate ș.a. (fig. 2.26).

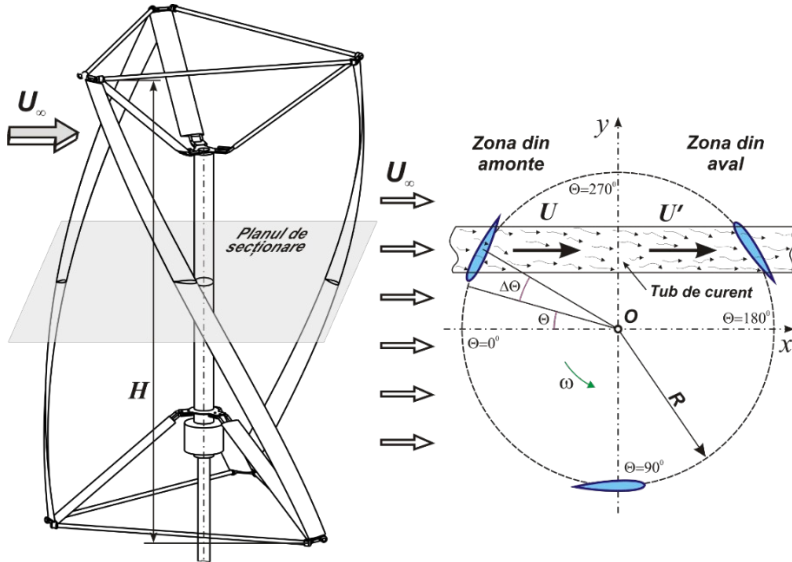


Fig. 2.25. Geometria rotorului eolian cu ax vertical.

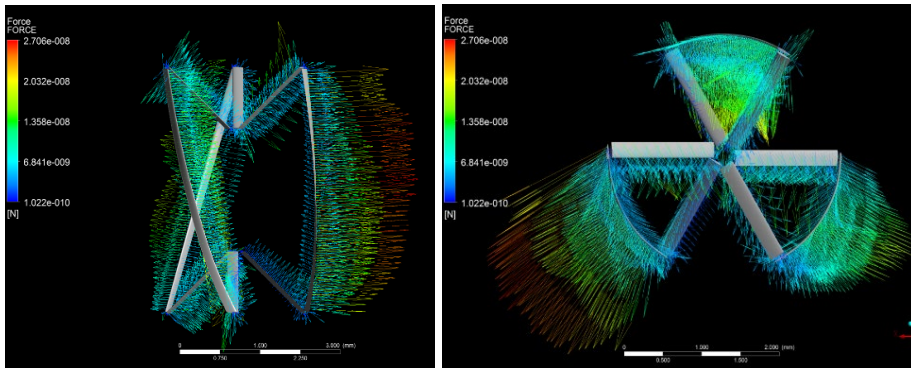


Fig. 2.26. Tabloul forțelor generate în pale de curenții de aer: a – vedere frontală; b – vedere de sus.

În rezultatul îmbinării acestor două concepte și datorită soluțiilor constructive elaborate de autori, turbina de vânt propusă asigură următoarele avantaje:

- eficiență sporită în zone cu potențial eolian relativ scăzut;
- demararea automată a rotorului exterior la viteze mai joase ale vântului grație rotorului interior, care posedă o soliditate înaltă;
- sumarea momentelor de torsiune generate de ambele rotoare și excluderea frânării din partea rotorului interior;
- uniformitatea rotirii rotorului turbine eoliene datorită formelor elicoidale ale palelor.

2.2.1.7. Instalație de conversie a energiei eoliene

Instalațiile hibride, care includ rotoare eoliene cu ax orizontal și vertical, permit utilizarea mai completă a energiei eoliene disponibile. De asemenea, în sistemele eoliene de puteri mari, de regulă turația rotorului eolian este mică și pentru majorarea turației rotorului generatorului electric se folosesc, de regulă, multiplicatoare mecanice. În instalația de conversie a energiei eoliene elaborată [23] majorarea turației rotorului generatorului electric este realizată prin utilizarea a două rotoare contrarotitoare legate cu același rotor al generatorului electric, astfel, turația rotorului generatorului fiind dublată. Instalația de conversie a energiei eoliene include turnul 1 (fig. 2.27), în care la înălțimea H_1 stabilită funcție de viteza nominală a curenților de aer $H_1=f(V_{nom})$, este instalat rotorul eolian cu ax orizontal 2, palele 3 (fig. 2.28,a) ale căruia sunt instalate în butucul 4 cu unghiul de atac – $\alpha=0...10^\circ$ față de planul orizontal al rotorului eolian 2. La înălțimea H_2 , stabilită funcție de viteza nominală a curenților de aer $H_2=f(V_{nom})$, este instalat rotorul cu ax orizontal 5, palele 6 (fig. 2.28,b)

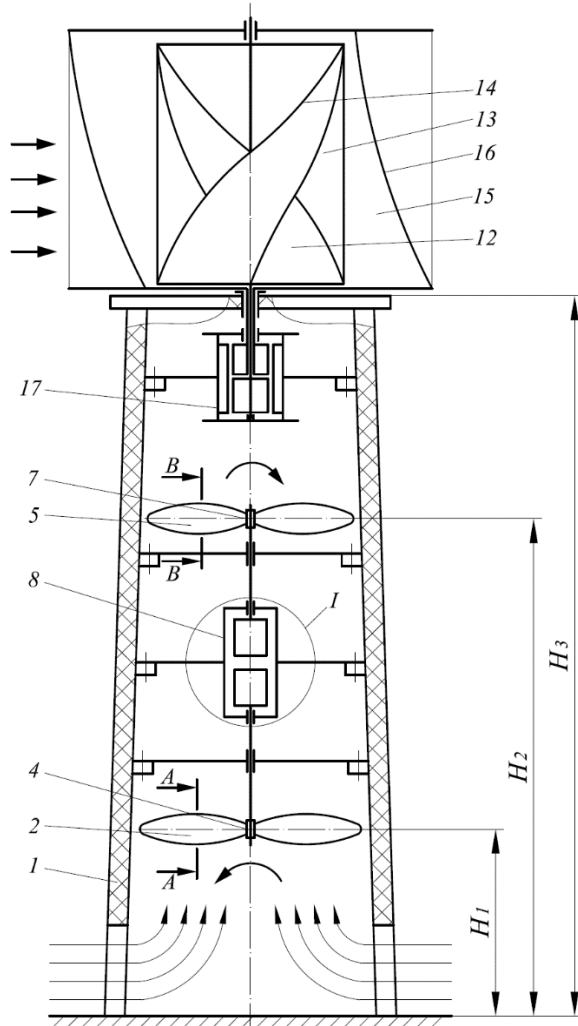


Fig. 2.27. Instalație de conversie a energiei eoliene

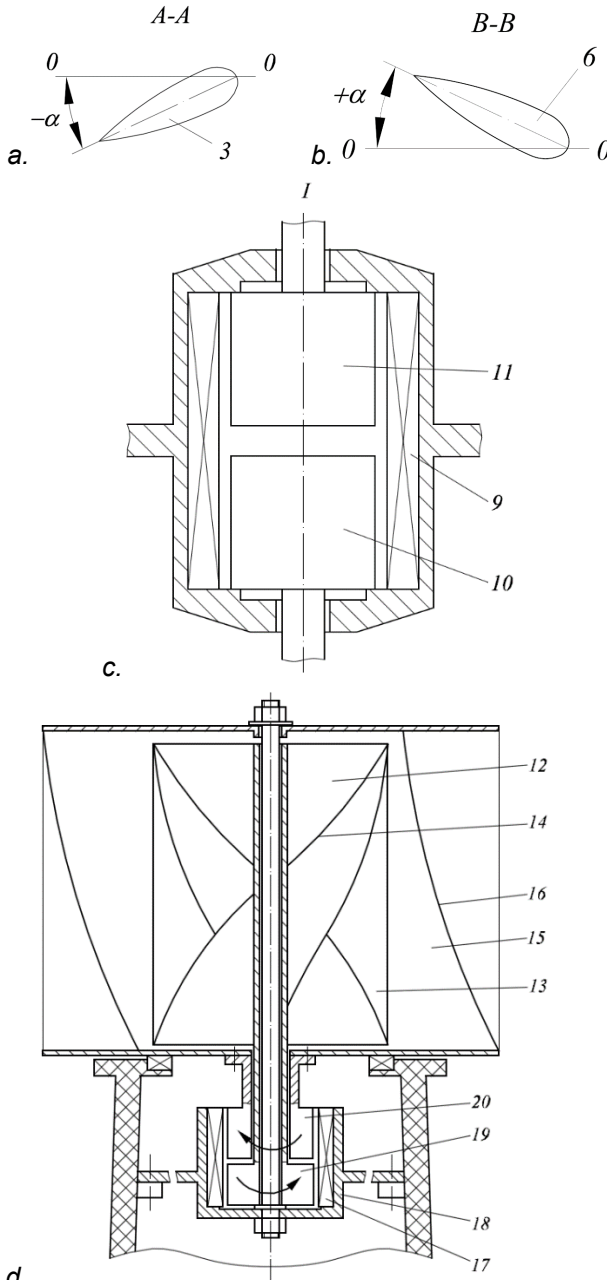


Fig. 2.28. a - unghiul de atac al palelor primului rotor cu ax orizontal; b – unghiul de atac al palelor rotorului al doilea eolian; c – elementul I din fig. 2.27; d – vederea generală a capătului de sus al turnului.

ale căruia sunt instalate în butucul 7 cu unghiul de atac $+\alpha=0...10^\circ$ față de planul orizontal al rotorului eolian 5. Generatorul electric cu magneți permanenți 8 include un stator 9 (fig. 2.28,c) legat rigid cu turnul 1, și un rotor executat din două părți cilindrice 10 și 11 legate cu rotorul eolian 2 și, respectiv, 5. Pe capătul de sus al turnului 1 este instalat suplimentar rotorul eolian cu ax vertical 12 (fig. 2.28,d), care include un rotor de tip Savonius 13 cu pale elicoidale 14, și un rotor tip Darreus 15 cu pale aerodinamice elicoidale 16. Generatorul cu magneți permanenți 17 include un stator 18 legat rigid cu turnul 1 și rotoarele cave 19 și 20, legate cu arborele rotorului

eolian tip Savonius 13 și, respectiv, cu arborele rotorului eolian tip Darreus 15.

Instalația de conversie a energiei eoliene funcționează în modul următor: Curenții de aer acționează asupra palelor aerodinamice 3 ale rotorului eolian 2, antrenându-l în mișcare de rotație într-o direcție, care este transmisă părții cilindrice 10 a rotorului generatorului electric cu magneți permanenți 8. Curenții de aer cedează aproximativ 35% din energie rotorului 2, însă până la înălțimea H_2 curenții de aer ating viteza nominală V_{nom} , care acționează palele aerodinamice 6 ale celui de-al doilea rotor eolian 5.

Mișcarea de rotație a rotorului 5 cu direcție de rotire inversă direcției rotorului 2 datorită instalării palelor 6 în butucul 7 cu unghiul de atac $+\alpha$, este transmisă părții 11 a rotorului generatorului 8, rotindu-l în direcție inversă. Astfel se va mări cantitatea de energie electrică produsă de generatorul 8. Curenții de aer, care trec prin rotorul 5, cedează apr. 35% din energie. La înălțimea H_3 curenții de aer ating viteza nominal, cu care acționează asupra palelor elicoidale 14 cu elice de dreapta ale rotorului Savonius, antrenându-l în mișcare de rotație într-o direcție. Această mișcare de rotație a rotorului Savonius 13 este transmisă rotorului cav 19 al generatorului electric cu magneți permanenți 17. Curenții de aer laterali din afara turnului 1 acționează asupra palelor aerodinamice elicoidale 16 cu elice de stânga, antrenând rotorul Darreus în mișcare de rotație în direcție inversă direcției rotorului Savonius 13.

În rezultat rotorul eolian cu ax vertical 12 va produce energie electrică suplimentară atât prin conversia energiei curenților de aer din interiorul turnului 1 cât și din afara lui la înălțimea H_3 .

Astfel soluția tehnică complexă propusă asigură majorarea eficienței de conversie a energiei curenților de aer din interiorul turnului 1, care trec prin trei trepte de conversie (rotorul 1 și 2 cu axe verticale și rotorul Savonius), cedând o cantitate mai mare de energie, de asemenea, majorarea cantității de energie produsă.

2.2.1.8. Turbină eoliană cu ax vertical cu protecție împotriva suprasolicitării

Un aspect important al turbinei eoliene este capacitatea ei de a evita suprasolicitarea. În acest sens au fost elaborate o serie de scheme de turbine eoliene cu ax vertical cu protecție împotriva suprasolicitării și control al puterii generate.

În continuare se prezintă o soluție tehnică inteligentă de protecție automată a turbinei eoliene de suprasarcini prin utilizarea efectului inerției maselor [24]. Turbina eoliană cu ax vertical include turnul 1 (fig. 2.29-2.31), pe care este instalat rotorul cu palele cu ax vertical 2, care include palele cu profil aerodinamic 3, legate în poziție înclinată prin articulațiile 4 cu barele radiale inferioare 5 și, respectiv, prin articulațiile 6, amplasate în canelurile 7 executate în capătul superior al palelor cu profil aerodinamic 3, cu barele radiale superioare 8, asigurând un unghi de atac optim.

Barele radiale inferioare 5 sunt legate rigid cu axul roților 9. Barele radiale superioare 8 sunt fixate rigid în bucușa 10 care, la rândul ei, este legată cu axul rotitor 9 prin intermediul elementului elastic (spirală Arhimed) 11. La capetele exterioare ale barelor radiale superioare 8 sunt instalate elementele inerțiale 12. Axul roților 9 este legat cu rotorul 13 al generatorului elastic cu magneți permanenți 14, instalat rigid în carcasa 15, legată rigid cu turnul 1.

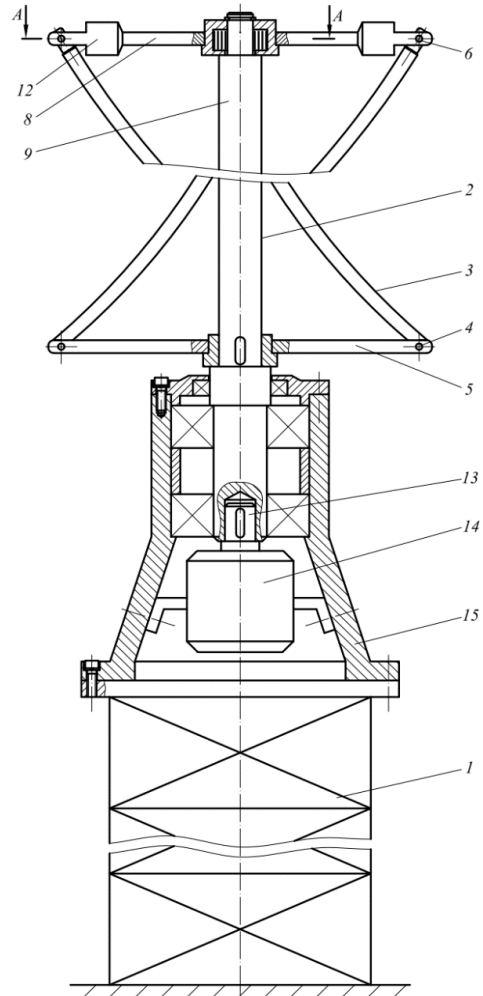


Fig. 2.29. Vedere generală a turbinei eoliene cu ax vertical.

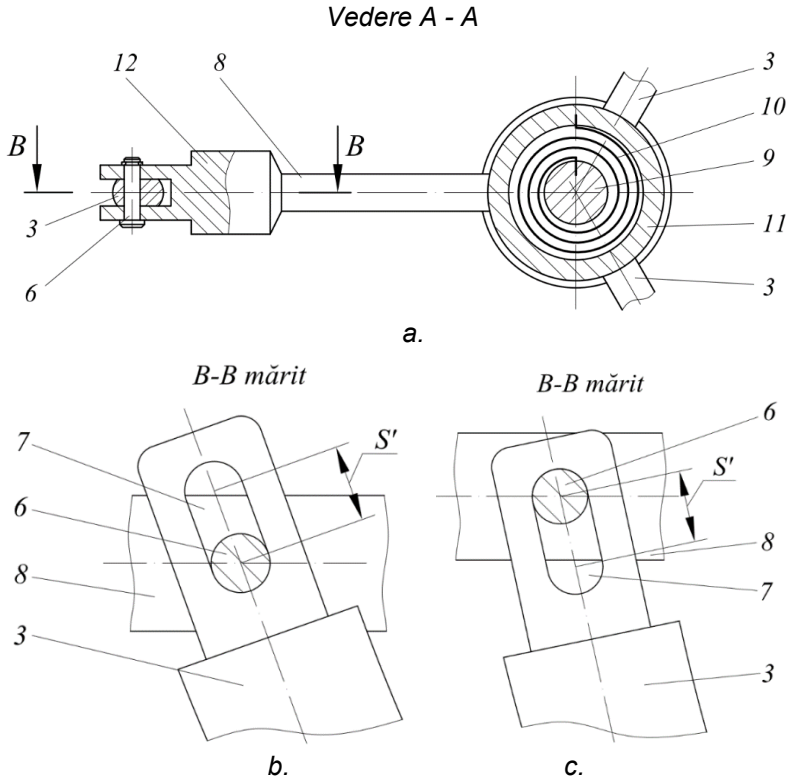


Fig. 2.30. a - secțiunea A-A din fig. 2.29; secțiunea B-B din fig.a în două poziții ale palelor 3 (b,c).

Turbina eoliană cu ax vertical funcționează în modul următor: La acțiunea curenților de aer palele 3 cu profil aerodinamic instalate cu un unghi de atac α_{optim} vor genera o forță de portanță, care va antrena prin barele laterale superioare 8 și inferioare 5 arborele rotitor 9 în mișcare de rotație, care este transmisă rotorului 13 al generatorului cu magneți permanenți 14. La creșterea vitezei vântului și creșterea turației axului rotitor 9 $\omega > \omega_{max}$ elementele inerțiale 12 vor avea o forță de inerție suplimentară, care va depăși forța de arcuire a elementului elastic 11, asigurând rotirea relativă a bușei 10 față de axul rotitor 9 la un unghi $\Delta\varphi$, fapt ce condiționează modificarea unghiului de atac al palei aerodinamice 3 din valoarea α_{optim} în valoarea diferită de valoarea optimă ($\neq \alpha_{optim}$). Aceasta va reduce eficiența de conversie a rotorului eolian și, implicit, la reducerea turației axului rotitor 9 la viteze mari ale vântului. La reducerea vitezei vântului până la viteza de lucru ω_{nom} forța de inerție se va micșora,

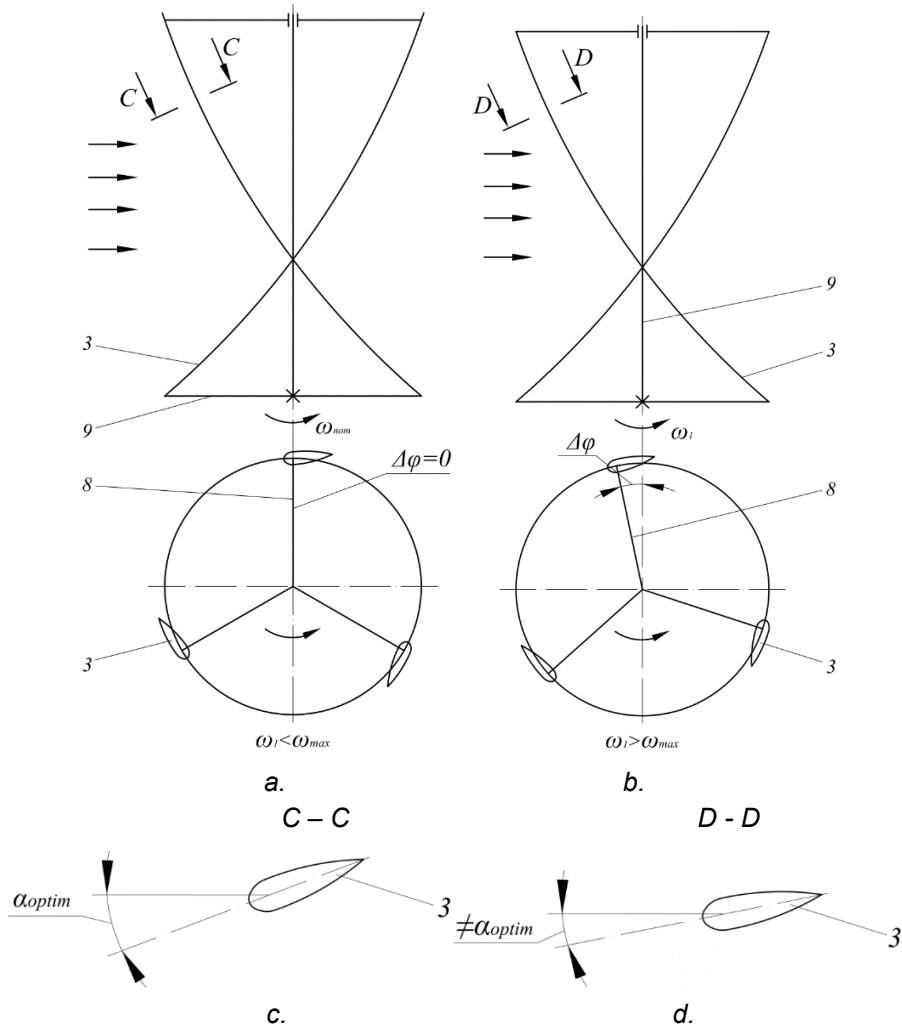


Fig. 2.31. a – rotorul cu ax vertical cu pale aerodinamice pentru cazul $\omega_i < \omega_{max}$; b – rotorul cu ax vertical cu pale aerodinamice pentru cazul $\omega_i > \omega_{max}$; c - secțiunea C-C din fig. a; d – secțiunea D-D din fig. b.

devenind mai mică decât forța de arcuire a elementului elastic 11, care va readuce bușa 10 cu barele laterale superioare la poziția inițială.

Execuția barelor superioare cu elemente inerționale și legarea lor cu axul rotitor prin intermediul unor elemente elastice asigură înclinarea palelor cu profil aerodinamic la viteze mari ale vântului.

Execuția palelor cu profil aerodinamic cu posibilitatea varierii unghiului de înclinare (a unghiului de atac) conduce la reducerea forței portante la viteze mari ale vântului și reducerea turației.

2.2.1.9. Turbine eoliene cu ax vertical cu control al puterii

O altă soluție tehnică inteligentă de protecție a turbinei eoliene cu ax vertical prin controlul puterii generate cu ajutorul frânării aerodinamice și mecanice, folosind efectul maselor inerționale, se prezintă în continuare.

Turbina eoliană cu ax vertical cu controlul puterii (fig. 2.32,*a,b* -2.33, [25]), conform primei realizări, conține turnul-suport 1, pe platforma 2 a căruia este instalat prin lagărul 3 arborele rotitor vertical 4, un capăt al căruia este unit cu generatorul cu magneți permanenți 5, iar celălalt capăt, prin intermediul barelor 7 și barelor tubulare 10, este unit cu palele înclinate 8 cu profil aerodinamic, executate cu posibilitatea varierii unghiului de atac. Partea de jos a palelor 8 este unită rigid prin intermediul barelor 7 cu bușă inferioară 6, fixată rigid pe arborele 4, iar partea de sus a palelor 8 este unită rigid prin intermediul barelor tubulare 10 cu bușă superioară 9, instalată pe arborele 4. În interiorul barelor tubulare 10 sunt amplasate elementele inerțiale 11, unite prin intermediul elementelor elastice 12 cu bușă superioară 9, pe flanșa de sus, din partea de sus, a căreia este fixat discul de fricțiune 13, iar pe partea de jos a flanșei 14 a turnului-suport 1 este fixat discul de fricțiune 15, concentric cu discul de fricțiune 13 al bușei superioare 9.

Turbina eoliană cu ax vertical cu control al puterii (fig. 2.32,*c,d*), conform celei de-a doua variante, conține turnul-suport 1, pe platforma 2 a căruia este instalat prin lagărul 3 arborele rotitor vertical 4, un capăt al căruia este unit cu generatorul cu magneți permanenți 5, iar celălalt capăt, prin intermediul barelor 7 și barelor tubulare 10, este unit cu palele verticale 16 cu profil aerodinamic, executate cu posibilitatea varierii unghiului de atac. Partea de jos a palelor 16 este unită rigid prin intermediul barelor 7 cu bușă inferioară 6, fixată rigid pe arborele 4, iar partea de sus a palelor 16 este unită rigid prin intermediul barelor tubulare 10 cu bușă superioară 9, instalată pe arborele 4. În interiorul barelor tubulare 10 sunt amplasate elementele inerțiale 11, unite prin intermediul elementelor elastice 12 cu bușă superioară 9, pe flanșa de sus, din partea de sus, a căreia este fixat discul de fricțiune 17, iar pe partea de jos a flanșei 14 a turnului-suport 1 este fixat discul de fricțiune 18, concentric cu discul de fricțiune 17 al bușei superioare 9.

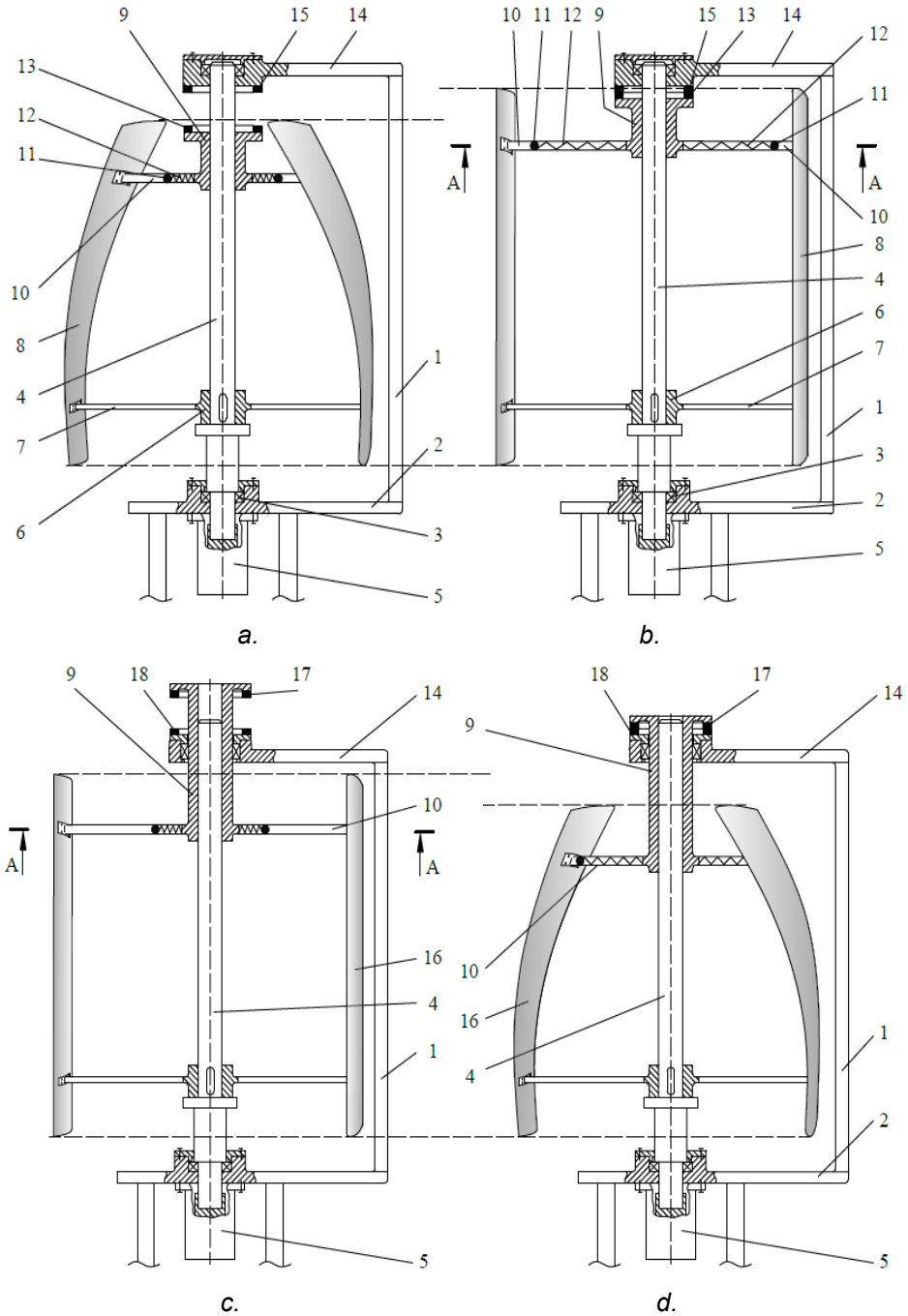


Fig. 2.32. Turbină eoliană cu ax vertical cu control al puterii, varianta 1 (faza inițială (a) și finală (b)); Turbină eoliană cu ax vertical cu control al puterii, varianta 2 (faza inițială (c) și finală (d)).

Turbina eoliană cu ax vertical cu control al puterii, conform primei variante, funcționează în modul următor. La viteza nominală a vântului (până la $v=10$ m/s), la interacțiunea palelor înclinate 8 cu profil aerodinamic determinat (conform rezultatelor cercetărilor la un anumit unghi elicoidal de instalare a palelor 8 cu profil aerodinamic determinat eficiența de conversie a energiei eoliene în energie electrică este maximă) apar forțe de ridicare, sub acțiunea sumară a căroră (de la toate palele 8) arborele rotitor 4 va fi antrenat în mișcare de rotație, care se va transmite generatorului 5, care va produce energie electrică. La depășirea vitezei vântului ($v=10...20$ m/s) turația arborelui 4 va crește, atingând $n = 200-400$ min⁻¹. În rezultat, elementele inerțiale 11 vor învinge forța de elasticitate a elementelor elastice 12, și sub acțiunea forțelor centrifuge, se vor deplasa în interiorul barelor tubulare 10 spre exteriorul arborelui 4. În acest caz momentul de inerție al arborelui 4 se mărește, transformându-se într-un volant relativ, care va conduce la un anumit grad de uniformizare a rotirii arborelui 4. Totodată, acest moment de inerție, grație unui anumit grad de flexibilitate a palei 8, va conduce la rotirea relativă a bucșei superioare 9 în raport cu arborele 4, ce va conduce la îndreptarea palelor 8 și, drept rezultat, modificarea unghiului de atac al palelor 8 cu profilul aerodinamic și deplasarea flanșei de sus a bucșei superioare 9 în sus, apropiindu-se de discul de fricțiune 15 fixat pe flanșa 14 a turnului-suport 1. Datorită varierii unghiului de atac al palelor 8 cu profil aerodinamic, eficiența de conversie se va reduce, reducându-se și cantitatea de energie electrică produsă de generatorul 5, ultimul fiind protejat de suprasarcini.

La creșterea în continuare a vitezei vântului ($v = 20...40$ m/s) elementele inerțiale vor ocupa poziția extremă în exterior, momentul de inerție al rotorului turbinei eoliene va fi maxim și, deci, momentul dinamic de volant, tot va atinge cota maximă, fapt ce va conduce la rotirea relativă în continuare a bucșei superioare 9 față de arborele 4, deformarea palelor 8 în limitele gradului de flexibilitate, îndreptarea palelor 8 înclinate și, drept rezultat, deplasarea bucșei superioare 9 în sus, până la contactul discului de fricțiune 13 cu discul de fricțiune 15, astfel realizându-se frânarea arborelui 4 și reducerea turației. Aceasta conduce la protecția elementelor mecanice dinamice ale turbinei eoliene de distrugere mecanică, un moment important în contextul că turbinele eoliene cu ax

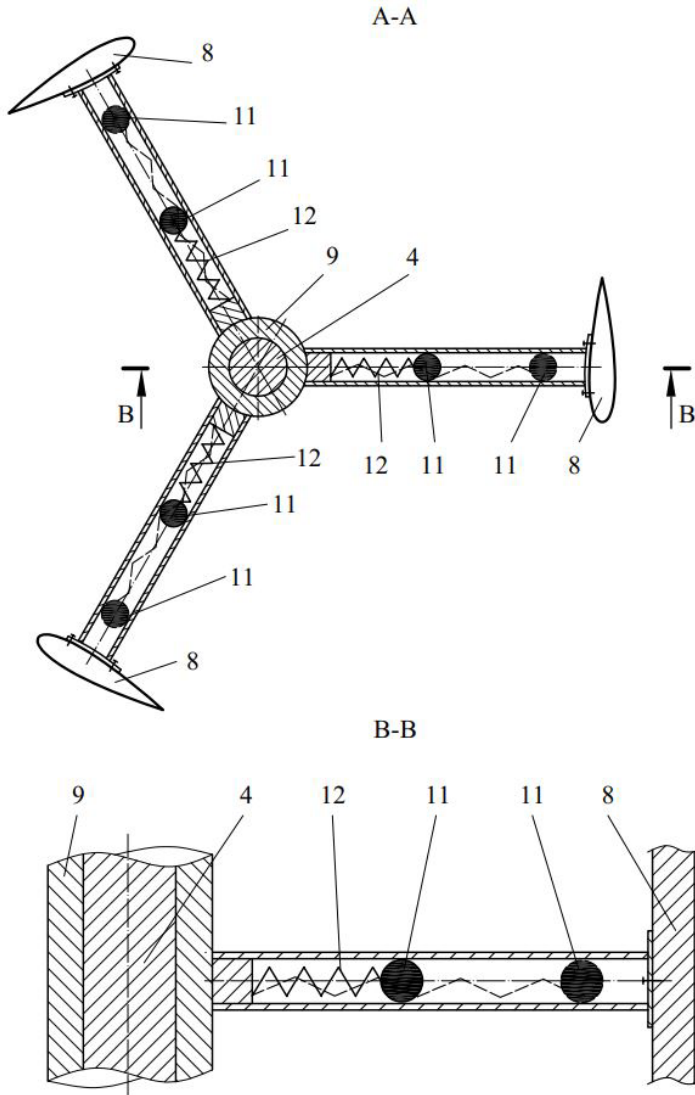


Fig. 2.33. Turbină eoliană cu ax vertical cu control al puterii. Secțiuni.

vertical sunt urbane sau suburbane. După ce viteza vântului scade, palele 8 revin la poziția inițială înclinată, realizând deconectarea discurilor de fricțiune 13 și 15, și revenirea la unghiul de atac optim al palelor 8 cu profilul aerodinamic. În cazul creșterii din nou a vitezei vântului procedura se repetă.

Principiul de funcționare al turbinei eoliene cu ax vertical cu control al puterii, conform celei de-a doua variante, este similar cu cel din prima

variantă. În acest caz, deoarece există profiluri aerodinamice destinate palelor rotoarelor turbinelor cu ax vertical pentru pale verticale (drepte), palele verticale 16 asigură eficiență optimă de conversie a energiei eoliene în energie electrică (mecanică) la viteza nominală a vântului. În cazul când viteza vântului crește ($v = 10-20 \text{ m/s}$) palele 16, în limitele gradului de flexibilitate, pe care-l posedă, se vor înclina, bucușa superioară 9 se va roti în raport cu arborele 4, iar flanșa de sus a bucușei superioare 9 cu discul de fricțiune 17 se va deplasa în jos, reducând eficiența de conversie. La creșterea în continuare a vitezei vântului ($v = 20...40 \text{ m/s}$), procesul cu elementele inerțiale 11 se repetă asemănător primei realizări, iar bucușa superioară 9 cu discul de fricțiune 17 se va deplasa în jos până la contactul discurilor de fricțiune 17 și 18.

O altă soluție tehnică cu control al puterii generate prin frânarea aerodinamică și mecanică a rotorului cu mase inerționale este prezentată în invenția [26]. Turbina eoliană cu ax vertical conform fig. 2.34-2.35 include turnul suport 1, în care pe rulmenții 2 este instalat axul rotitor principal 3, pe care cu ajutorul penei 4 este fixată bucușa 5, pe flanșa căreia sunt fixate rigid brațele 6, de care sunt legate palele cu profil aerodinamic 7. În partea de jos a axului rotitor principal 3 este instalată o bucușa similară 8, care se poate roti liber în jurul axului rotitor principal 3, pe flanșa căreia sunt fixate rigid brațele 9, de care sunt legate capetele de jos ale palelor cu profil aerodinamic 7. Pe turnul suport 1 este instalată, cu posibilitatea deplasării axiale, bucușa 10 cu flanșa cu saboți 11, iar în turnul suport 1 este prevăzută flanșa 12. Bucușele 5 și 10 sunt legate prin intermediul barelor articulate 13 și 14 cu elementele inerțiale 15. Pe partea interioară a barelor articulate 13 și 14 sunt fixate elementele elastice 16. Capătul inferior al axului rotitor principal 3 este legat cu arborele generatorului electric cu magneti permanenți 17. În turbina eoliană cu ax vertical, conform fig. 3-5, brațele cu două ramuri 18, de care sunt legate palele cu profil aerodinamic 7, sunt legate cu bucușa 19 prin legătura mobilă în direcție radială 20. De asemenea, brațele 18 sunt legate prin intermediul brațelor articulate 21 și 22 cu bucușa mobilă în direcție axială 23, pe flanșa de jos a căreia sunt fixați saboții 24, care pot contacta cu flanșa 25 a turnului suport 1. Totodată brațele 18 sunt legate cu flanșa de sus a axului rotitor principal 3 prin intermediul elementelor elastice 26.

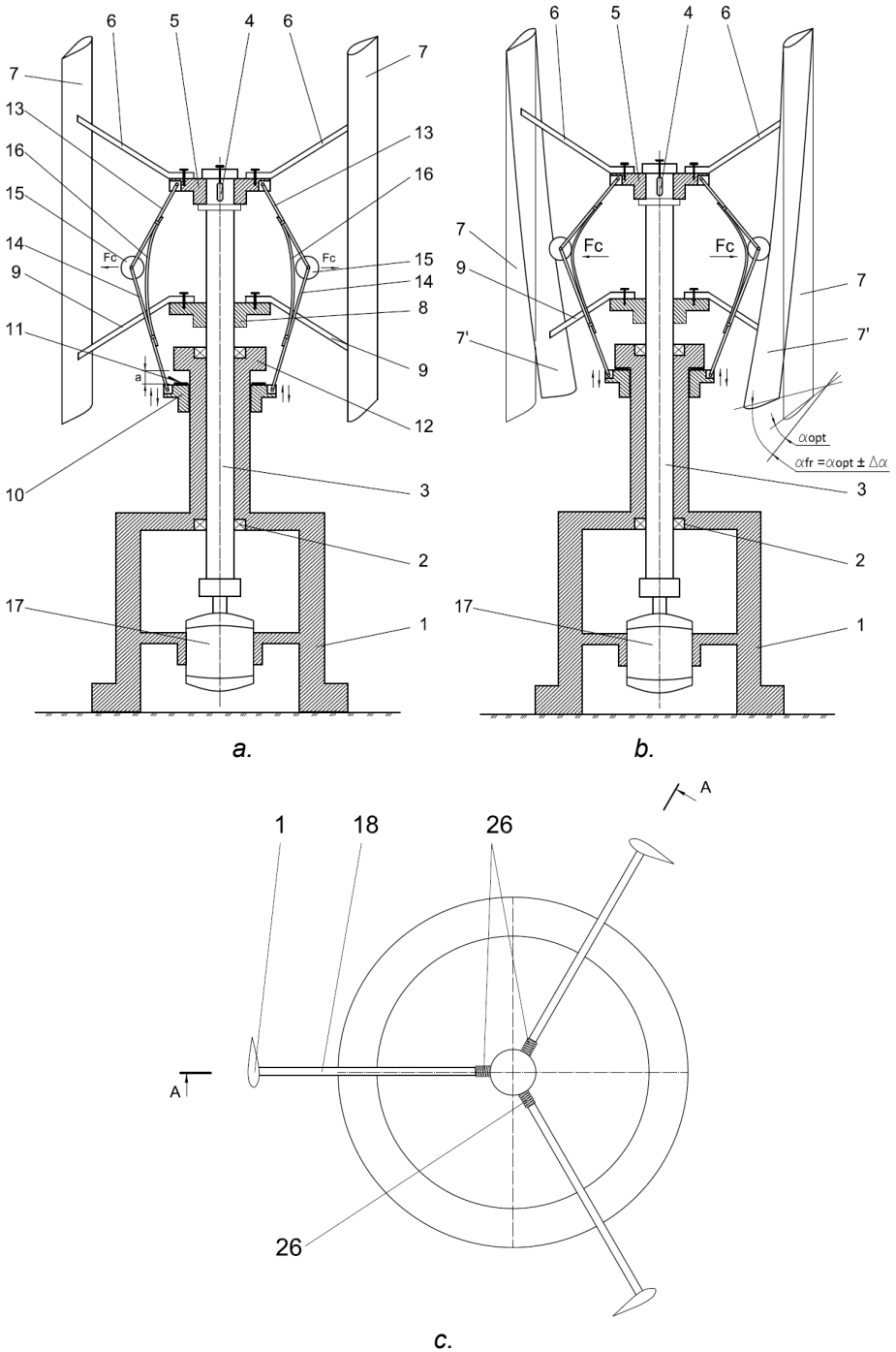
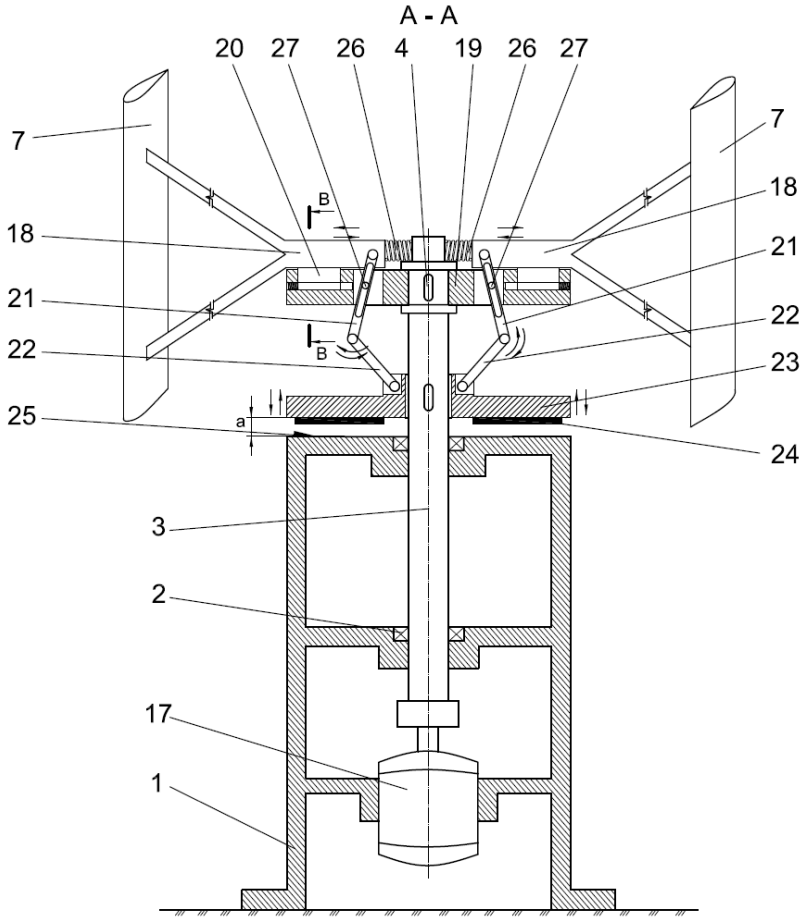


Fig. 2.34. Turbină eoliană cu ax vertical cu unghi de atac inițial (a) și modificat (b); c - vederea de sus.

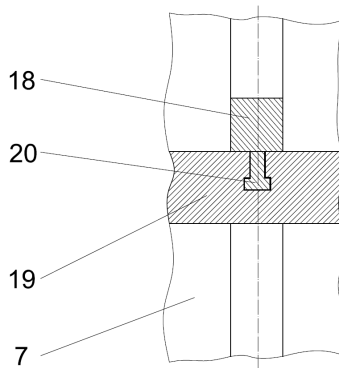
Turbina eoliană cu ax vertical, conform figurilor 2.34,a,b funcționează în modul următor. La depășirea vitezei unghiulare a rotorului eolian a unei valori limită, elementele inerțiale 15 sub acțiunea forțelor centrifugale F_c se deplasează în direcție radială, învingând forțele de elasticitate a elementelor elastice 16, deplasează în direcție axială bucușă 10 până la contactul saboților 11 cu flanșa 12 a turnului suport 1. În rezultat are loc frânarea mecanică și încetinirea vitezei unghiulare a rotorului eolian. În acest caz scade valoarea forței centrifuge a elementelor inerțiale 15 și revenirea în poziție inițială a bucușei 10 și a barelor 13 și 14 sub acțiunea forței de elasticitate a elementelor elastice 16. La creșterea repetată a vitezei vântului ciclul se repetă. Totodată, la creșterea vitezei unghiulare a rotorului eolian bucușă 8, cu care sunt legate capetele de jos ale palelor cu profil aerodinamic 7, se va roti puțin în jurul axei axului rotitor principal 3 în limitele elasticității lor, conducând la o relativă deformare a capătului de jos al palelor cu profil aerodinamic 7, care vine în poziția 7', modificând unghiul de atac al palelor de la α_{opt} la $\alpha_{fr} = \alpha_{opt} + \Delta\alpha$. În rezultat are loc frânarea aerodinamică a rotorului eolian. La reducerea vitezei vântului sub acțiunea forțelor de rigiditate palele revin la poziția inițială.

Turbina eoliană cu ax vertical, conform figurilor 2.35 funcționează în modul următor. La depășirea vitezei unghiulare a rotorului eolian a unei valori limită, brațele 18 cu palele cu profil aerodinamic 7, datorită forțelor centrifugale se vor deplasa radial prin legătura mobilă 20 spre exterior. În rezultatul acestor deplasări bara articulată 21, legată la un capăt cu brațul mobil 18, se va roti în jurul articulației 27, care prin intermediul barei articulate 22, legată cu un capăt cu al doilea capăt al brațului articulată 21, iar cu celălalt capăt – cu bucușă mobilă 23, deplasând-o în direcție axială la distanța „a” până la contactul saboților 24 cu flanșa 25 a turnului suport 1, asigurând frânarea mecanică a rotorului eolian. După reducerea vitezei vântului și, drept urmare, reducerea valorii forțelor centrifugale elementele elastice 26 vor readuce brațele 18 în poziție inițială. La creșterea repetată a vitezei vântului întreg procesul de frânare se repetă. Soluțiile tehnice propuse asigură procesul de frânare mecanică și aerodinamică prin soluții constructive relativ simple și securizarea turnului de suprasarcini generate de vitezele mari ale vântului.



a.

B - B



b.

Fig. 2.35. a - secțiunea A - A din fig. 2.34,c; b - secțiunea B - B din fig. a.

2.2.2. Sisteme inteligente de conversie a energiei solare

Eficiența de conversie a unui sistem fotovoltaic depinde de:

- tipul și eficiența de conversie a celulelor fotovoltaice;
- gradul de orientare a panourilor fotovoltaice la soare (eficiența maximă este atinsă atunci când razele solare cad perpendicular pe panou);
- gradul de impurități depus pe suprafața de lucru a panourilor fotovoltaice (eficiența maximă este atinsă atunci când panourile fotovoltaice sunt curate).

Eficiența de conversie a celor mai utilizate panouri fotovoltaice cu celule din siliciu cristalin este de apr. 14%, dar care ajung până la 44% la celulele fotovoltaice de generația a 3-a. Însă acesta nu este domeniul de cercetare al autorilor. Activitățile inventive ale autorilor s-au axat pe majorarea eficienței de conversie prin optimizarea modului de orientare la soare și curățare de impurități a panourilor fotovoltaice.

Este cunoscut faptul că eficiența maximă de conversie a energiei solare este atinsă atunci când razele solare cad perpendicular pe panoul fotovoltaic (eficiența de conversie a panourilor fotovoltaice instalate fix scade cu până la 40%). Deci, condiția optimă ar fi ca panoul fotovoltaic să fie permanent orientat la soare, cu alte cuvinte să copie traiectoria mișcării soarelui pe bolta cerească. Dar aceasta, de regulă, conduce la creșterea costurilor sistemului și a complexității acestuia dotat cu mecanisme de orientare atât în plan meridional cât și azimutal, de asemenea, cu considerarea factorului sezonier. Scopul inventatorilor și cercetătorilor este de a crea sisteme fotovoltaice orientabile la soare cu costuri minime. Unul din principiile de bază este utilizarea efectului natural, prin care floarea soarelui urmărește traiectoria Soarelui pe parcursul zilei, orientându-se în plan meridional și azimutal, chiar cu considerarea factorului sezonier.

De asemenea, un factor important, care influențează negativ asupra eficienței de conversie, este gradul de murdărire a suprafeței de lucru a panoului fotovoltaic. Se știe că impuritățile depuse pe panourile solare reduc eficiența de conversie a energiei solare cu până la 60%. De menționat că impuritățile pot fi diferite: de la praf până la depuneri de carbon de la gazele de eșapament, care necesită diferite soluții pentru a fi eliminate.

2.2.2.1. Procedeu și sistem inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice

Curățarea panourilor fotovoltaice se propune în prezenta invenție prin utilizarea efectului fizic – electrizarea particulelor și eliminarea lor de pe suprafața panourilor fotovoltaice cu ajutorul unui sistem inteligent fără utilizarea apei, detergenților [27].

Există diferite sisteme de curățare a panourilor fotovoltaice prin utilizarea jetului de apă cu diferși agenți chimici de curățare. Aceasta însă conduce în timp la oxidarea contactelor electrice, deteriorarea cablajului instalațiilor solare, a structurilor metalice etc., la consum excesiv de energie cerută de presiunea înaltă a apei. De asemenea, este însoțit de consumul mare de apă distilată, deficitară în zonele aride. Un interes deosebit prezintă sistemele de curățare uscată (fără apă) fără contact a panourilor fotovoltaice cu utilizarea câmpului electrostatic. În acest sens este cunoscut sistemul de curățare a panourilor solare [28], care include un dispozitiv de deplasare cu cel puțin o unitate de curățare a heliostatului fără apă și, suplimentar, o unitate de reglare, discuri de periere, mecanisme de transmisie și mecanisme de susținere, în care unitatea de reglare este utilizată pentru reglarea directă a celui mai bun unghi de curățare și a distanței dintre unitatea de curățare a heliostatului fără apă și suprafața heliostatului. Mecanismele de susținere sunt conectate cu dispozitivul de deplasare și sunt utilizate pentru alimentarea unui suport pentru unitatea de curățare a heliostatului fără apă. Mecanismele de transmisie sunt montate pe suporturi și sunt utilizate pentru alimentarea cu energie electrică a discurilor de periere, iar discurile de periere sunt aranjate fix pe mecanismul de transmisie sau sunt aranjate detașabil și fix pe mecanismul de transmisie astfel încât discurile de periere sunt acționate pentru a se deplasa în funcție de puterea furnizată de mecanismele de transmisie, iar heliostatul este periat cu dispozitive de periere. De asemenea, este cunoscut sistemul automat de curățare a panourilor solare în diferite variante [29], care cuprinde cel puțin unul dintre sisteme, metode și software pentru a facilita curățarea automată a suprafeței panourilor solare, cel puțin un robot automat de curățare a suprafeței panourilor solare, care nu utilizează apă sau energie externă. Robotul pentru curățarea suprafeței solare este ușor de modificat într-o instalație de generare a energiei solare.

Dispozitivul de curățare automată a suprafeței solare utilizează câmpuri electrice de înaltă tensiune pentru a curăța particulele și resturile, pe măsură ce robotul traversează suprafața, care urmează să fie curățată. Celulele solare fotovoltaice furnizează energia pentru robot. Robotul se fixează pe suprafața, care urmează să fie curățată, la margini folosind role motoare. Electronica din interiorul aparatului generează curent alternativ de înaltă tensiune, care se aplică conductorilor apropiați de suprafața ce urmează a fi curățată.

În calitate de prototip a fost ales sistemul automat de curățare a rândurilor de panouri solare și metoda de realizare [30], în care fiecare rând solar are o înclinație a panourilor, un ansamblu de curățare curăță suprafețele panoului solar, un cadru de sprijin, care sprijină ansamblul de curățare și permite mișcarea în sus și în jos în direcția lățimii și lungimii liniei solare. Funcționarea și deplasarea ansamblului de curățare sunt controlate astfel încât să curățe o suprafață a panourilor solare în timpul deplasării în jos. Ansamblul de curățare nu este, de preferință, funcțional în timpul deplasării în sus. În timpul deplasării în jos, ansamblul de curățare îndepărtează murdăria, resturile și praful de pe suprafața panourilor solare și generează un flux de aer pentru a elimina murdăria, resturile și praful. Sistemul include în plus un dispozitiv de ghidare pentru deplasarea ansamblului de curățare pentru a alinia rândurile succesive de panouri solare. Neajunsul acestor dispozitive este complexitatea constructivă și eficiența de curățare relativ redusă, care necesită implicarea factorului uman.

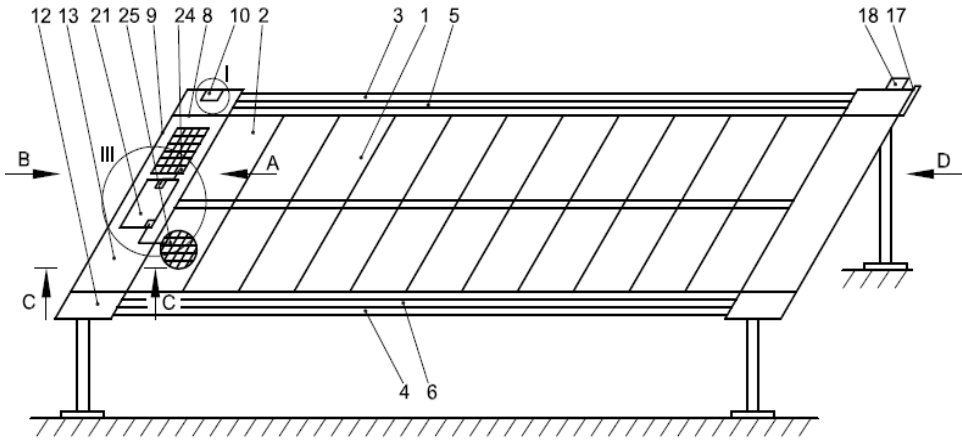
Problema, pe care o rezolva soluția tehnică propusă, este simplificarea construcției și majorarea eficienței de curățare a panourilor fotovoltaice. Acest lucru se realizează prin faptul că în sistemul inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice, instalate în cel puțin un rând solar, fiecare rând solar având lățime și lungime și fiind înclinat. Rândul solar conține un nod mobil pe una din direcții, cel puțin un nod de curățare instalat pe partea mobilă, un controler de cuplare a nodului de curățare, un mecanism de acționare a nodului mobil. Pe marginea superioară și inferioară a rândului solar sunt instalate câte o bară cu caneluri longitudinale, iar în partea superioară a modulului de curățare, amplasat deasupra canelului, sunt instalați cu un anumit joc piezoconvertori, care

includ generatoare de oscilații axiale pe două direcții reciproc perpendiculare în plan. Între părțile modulului de curățare și partea fixă a rândului solar în canelurile longitudinale sunt instalate role de ghidare. Pe partea din față a platformei, între platformă și panoul fotovoltaic al rândului solar, este instalat sistemul de perii fixat pe partea inferioară a platformei, după care sunt fixate nodul anionic de ionizare a particulelor de impurități și nodul cationic de captare a particulelor ionizate de impurități legate cu nodul de comutare a sensului curentului electric. La capătul barei cu canelură longitudinală este instalat un limitator și un nod de comutare a sensului de curent electric la nodul cationic. Totodată părțile superioară și inferioară ale modulului de curățare sunt legate între ele prin intermediul unei platforme, pe care este instalat un panou fotovoltaic cu autocurățare, blocul de comandă cu nodul de analiză a semnalelor sensorilor de control a producerii energiei electrice, legați cu o celulă fotovoltaică a panoului fotovoltaic cu autocurățare și, respectiv, cu o celulă fotovoltaică a panoului fotovoltaic din rândul solar.

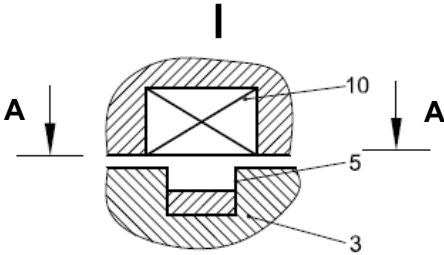
În sistemul inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice în altă variantă nodul cationic de captare a particulelor ionizate de impurități este executat în formă de transmisie cu curea lată, în spațiul dintre cele două ramuri ale transmisiei pe partea de jos sunt instalați electrozi cationici, iar în interiorul roții de curea motoare sunt instalați electrozi anionici, totodată roata de curea motoare este legată cinematic cu rola de ghidare prin intermediul unei transmisii elicoidale.

În sistemul inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice în altă variantă în partea din spate între platformă și panoul fotovoltaic al rândului solar este instalat suplimentar încă un sistem de perii fixat pe partea inferioară a platformei.

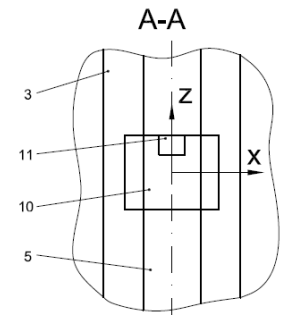
Sistemul inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice (fig. 2.36-2.37) include cel puțin un rând solar 1 cu panourile fotovoltaice 2, instalate fix și înclinate. Pe marginea de sus și de jos a rândului solar 1 sunt fixate barele 3 și, respectiv, 4 cu canelurile longitudinale 5 și, respectiv, 6, în care sunt instalate rolele de ghidare 7 legate de partea mobilă 8 a modulului de curățare 9. În partea superioară mobilă 8 a modulului de curățare 9, amplasată deasupra canelurii longitudinale 5 a barei 3, sunt instalați piezoconvertizorii 10, care includ generatoarele de oscilații axiale 11 pe



a.

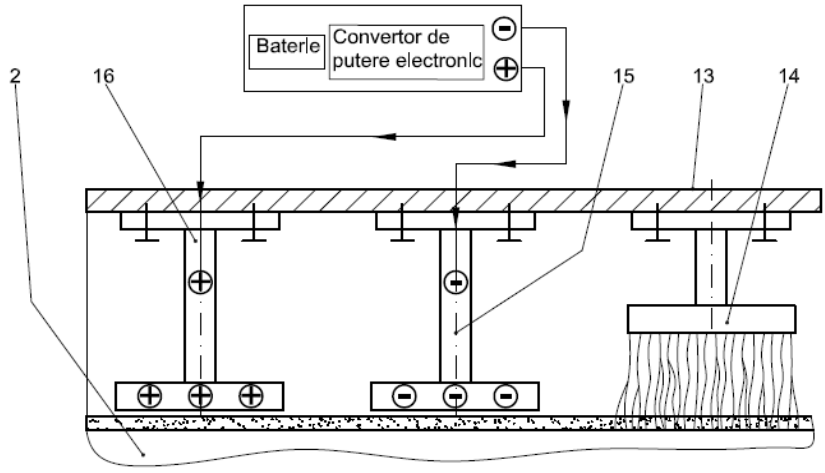


b.



c.

C - C
(varianta 1)



d.

Fig. 2.36. Sistem inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice.

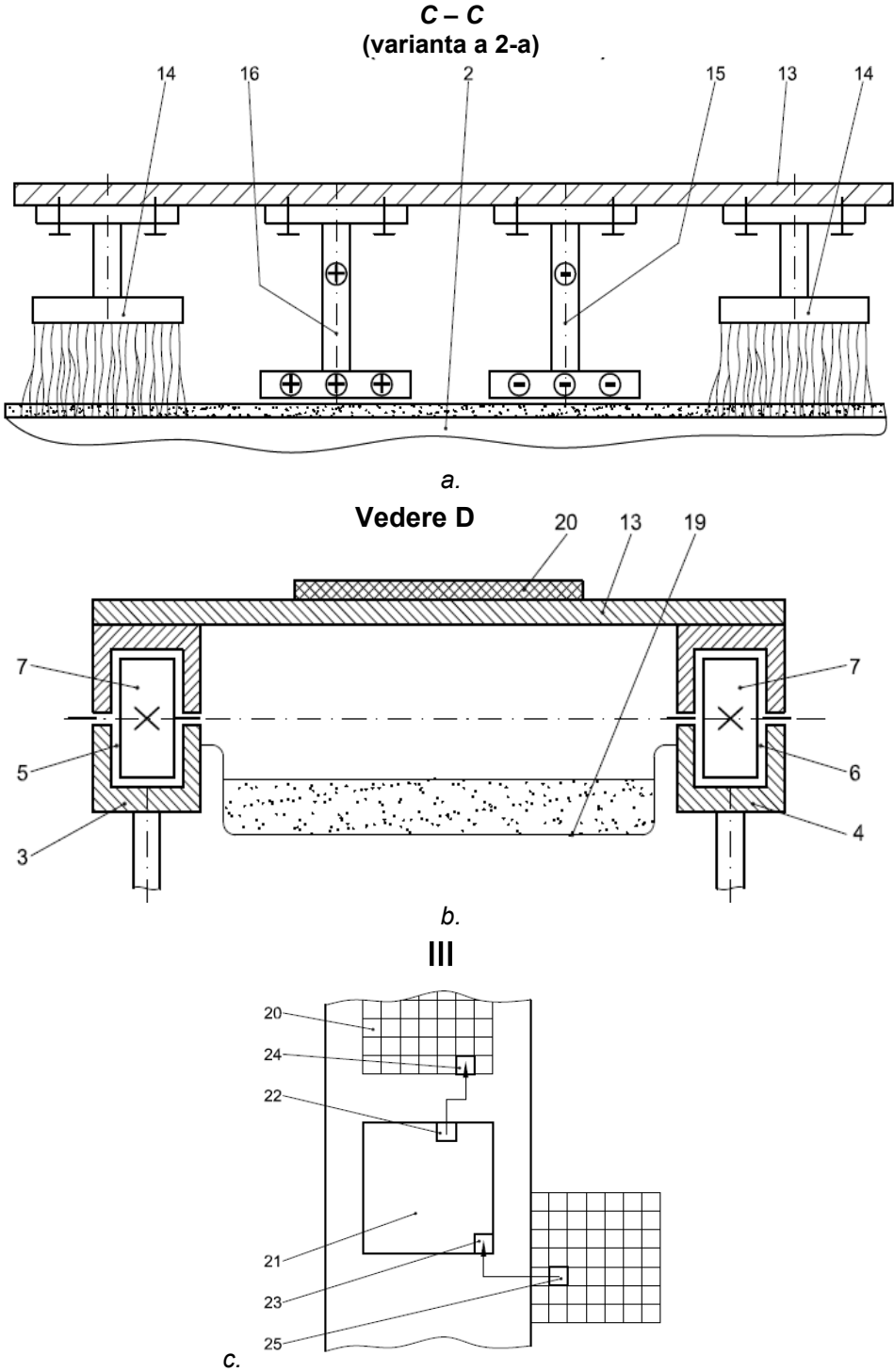


Fig. 2.37. Sistem inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice (variante).

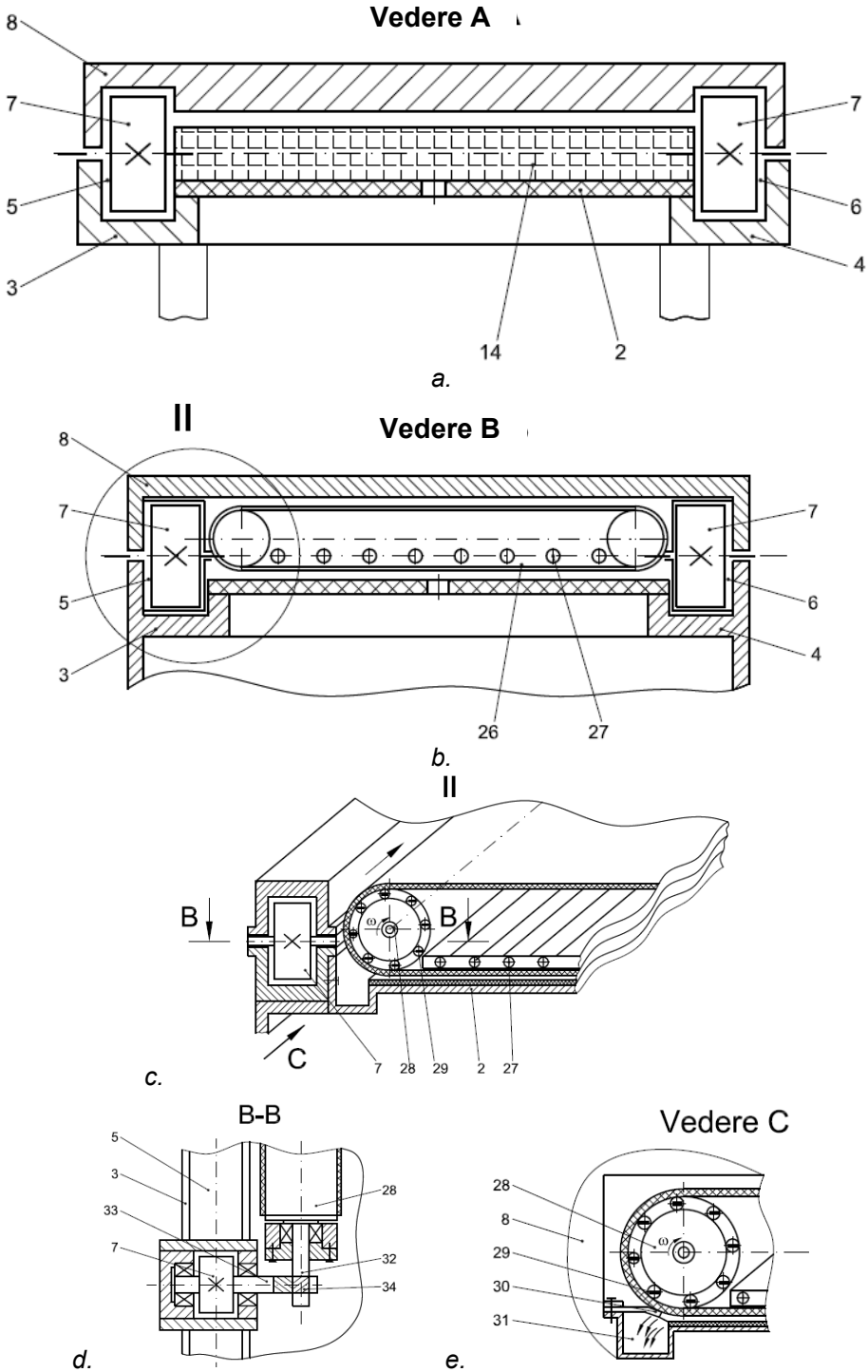


Fig. 2.38. Sistem inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice (variante).

direcțiile în planul X și, respectiv, Y. Părțile mobile superioară 8 și inferioară 12 sunt legate între ele prin intermediul platformei 13, pe care, pe partea din față a platformei 13, între platforma 13 și panourile fotovoltaice 2 este instalat nodul de perii 14, după care la o anumită distanță este instalat nodul anionic 15 de ionizare a particulelor de impurități, apoi nodul cationic 16 de captare a particulelor ionizate de impurități. La capătul barei 3 cu canal longitudinal 5 este instalat opritorul 17, nodul 18 de comutare a sensului curentului electric la nodul cationic 16 și sacul 19 de acumulare a impurităților. Pe suprafața exterioară a platformei 13 este instalat panoul fotovoltaic 20 cu autocurățare, blocul de comandă 21 cu nodul de analiză a semnalelor senzorilor 22 și 23 conectați cu celula fotovoltaică 24 din panoul fotovoltaic 20 și, respectiv, cu celula fotovoltaică 25 din panoul fotovoltaic 2.

În sistemul inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice în altă variantă (fig. 2.38,*a-e*) nodul cationic de captare a impurităților este executat în formă de transmisie cu curea lată 26, iar între cele două ramuri ale transmisiei cu curea lată 26 în partea de jos sunt amplasați electrozii cationici 27. În interiorul roții de curea motoare 28 sunt amplasați electrozii anionici 29, pe partea mobilă superioară 8 sub roata de curea motoare 28 este fixat curățătorul elastic 30, iar sub el este amplasat acumulatorul de impurități 31. Arborele 32 al roții de curea motoare 28 este legat cinematic cu axul 33 al rolei de ghidare 7 prin intermediul transmisiei elicoidale 34.

Sistemul inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice (fig. 2.36-2.37) funcționează în modul următor: La atingerea unui grad anumit de depunere de impurități pe suprafața panourilor fotovoltaice din analiza comparativă a datelor furnizate de senzorii 22 și 23 privind producerea energiei electrice de către celula fotovoltaică 24 a panoului fotovoltaic 20 cu autocurățare și, respectiv, celula fotovoltaică 25 a panoului fotovoltaic 2 prăfuit, blocul de comandă 21 pornește alimentarea cu energie electrică a piezoconvertizorului 10. În rezultat generatoarele de oscilații ale convertizorului 10 vor genera oscilații axiale pe direcțiile X și Y cu o anumită frecvență. În urma interacțiunii acestor unde (oscilații) cu canalul longitudinal 5 va avea loc deplasarea părții superioare mobile 8, și împreună cu ea și partea inferioară 12, ambele fiind legate cu platforma

13. La mișcarea platformei 13 sistemul de perii 14 va distruge stratul de impurități (preponderent nisip) de pe panourile fotovoltaice 2 ale rândului solar 1. În rezultat nodul anionic 15 va ioniza mai lejer particulele de impurități care, ulterior, vor fi captate de nodul cationic 16. În momentul când partea superioară mobilă 8 împreună cu platforma 13 ajung la capătul rândului solar 1 este activat opritorul 17, iar modulul 18 de comutare a sensului curentului electric la nodul cationic 16 schimbă sensul (+) cu (-). În rezultat particulele ionizate de impurități sunt respinse în sacul 19 de acumulare a impurităților.

În cazul când stratul de impurități conține și elemente de carbon (de la gazele de eșapament ale automobilelor, furnalele centralelor termoelectrice ș.a) atunci procesul de curățare se repetă. Comanda vine de la nodul de comandă 21 în baza informației comparative a datelor senzorilor 22 și 23. Blocul de comandă 21 schimbă direcțiile oscilațiilor axiale X și Y generate de piezoconvertizorii 10, în direcții opuse (-X) și (-Y) și modulul de curățare 9 se va deplasa în direcție inversă. Atunci nodul cationic 16 va încărca pozitiv particulele de carbon, iar nodul anionic 15 va capta aceste particule.

În cazul când procesul de curățare a fost finalizat din prima cursă a modulului de curățare 9 el rămâne în poziția „*terminus*” până la o nouă curățare, care va fi comandată de nodul de comandă 21 în baza semnalului furnizat de senzorii 22 și 23. La mișcarea în direcție inversă se repetă procedeul de mai sus. Sistemul de perii 14 va distruge stratul de impurități. La comutarea sensului curentului electric din (+) în (-) la ultima descărcare a impurităților în sacul 19 de acumulare nodul cationic 16 a devenit anionic, de ionizare a particulelor de impurități, iar nodul anionic 15 a devenit cationic de captare a particulelor ionizate de impurități.

În cazul când lungimea rândurilor solare este mare și pe nodul cationic 16 se acumulează cantități mari de impurități, care trebuie eliminate, se propune sistemul inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice cu nod de captare a impurităților conform (fig. 2.38,*a-e*), care funcționează în modul următor: Nodul de perii 14 distruge stratul de impurități, nodul anionic va ioniza particulele de impurități, iar nodul cationic, executat în formă de transmisie cu curea lată 26 și electrozi cationici amplasați în apropierea ramurii de jos a transmisiei cu curea lată

26, va capta particulele ionizate de impurități. Datorită faptului că roata de curea motoare este antrenată în mișcare de rotație de la rola de ghidare 7 prin transmisia elicoidală 34, care deplasează modulul mobil de curățare 8, impuritățile lipite de curea se vor deplasa spre roata de curea motoare 28. Grație faptului că în roata 28 sunt instalați electrozii anionici 29 particulele ionizate se vor respinge de la curea la intrarea în unghiul de cuprindere a curelei cu roata de curea, fiind colectate în acumulatorul de impurități 31. Particulele, care mai rămân pe curea, sunt desprinse de curățătorul elastic 30 și orientate în acumulatorul de impurități 31.

În cazul curățării panourilor fotovoltaice de zăpadă funcționează doar periile, care distrug stratul de zăpadă la stare incipientă (până la topire și formare a pojghiței de gheață), care va aluneca de pe panoul înclinat 2.

Invenția asigură o serie de avantaje: Execuția sistemului inteligent de curățare a PV cu un senzor, care compară energia electrică produsă de o celulă fotovoltaică etalon cu energia electrică produsă de o celulă fotovoltaică a PV din rândul solar, asigură pornirea procesului de curățare a panourilor în mod automat când producția energiei electrice a scăzut din cauza murdăririi panourilor până la un grad stabilit; Acționarea părții mobile a sistemului de curățare cu ajutorul unui actuator piezoelectric special asigură simplificarea construcției; Execuția nodului de captare a impurităților în formă de perie, un ionizator anionic și un colector cationic al impurităților, asigură majorarea eficienței de curățare; Execuția colectorului cationic de impurități în formă de transmisie cu curea lată, între ramurile căreia sunt amplasați electrozi cationici, iar în interiorul roții de curea motoare sunt instalați electrozi anionici, asigură îmbunătățirea procesului de curățare a panourilor fotovoltaice; Sistemul inteligent de curățare uscată propus este potrivit pentru zonele aride, unde apa distilată este dificil de obținut sau este costisitoare, sau în zonele desertice, unde pierderea de energie din cauza prafului sau a furtunilor de nisip poate ajunge până la 60%.

2.2.2.2. Instalație de orientare a panourilor fotovoltaice

Instalația fotovoltaică [31] se referă la instalațiile de conversie a energiei solare fotovoltaice cu autoorientare în plan meridional și azimutal. Instalația fotovoltaică (fig. 2.39) include turnul fix 1 cu deschizăturile verticale 2 (fig. 2.40,*a*), în care sunt instalate rigid elemente de concentrare a razelor solare 3. În interiorul turnului 1 este instalat tubul gofrat 4 umplut cu gaz cu coeficient de dilatare mare la încălzire. Capătul de jos al tubului gofrat 4 este fixat rigid de partea imobilă 5, iar capătul de sus este legat rigid cu axul 6, instalat pe lagărul de alunecare 7 în flanșa turnului fix 1. Pe suprafața cilindrică liberă a axului 6 este executat canalul înclinat 8 cu unghiul de înclinare β , în care sunt amplasate bilele 9 (fig. 2.40,*b*). Pe suprafața cilindrică a axului 6 este instalată bucușă 10 sprijinită pe lagărele de rostogolire axiale 11 și 12. Pe suprafața cilindrică interioară a bucușei 10 sunt executate locașuri sferice, în care sunt amplasate bilele 9, iar pe suprafața cilindrică exterioară sunt executați dinți, care formează cu suprafața interioară corespunzătoare a cilindrului rotor 13 cuplajul unisens 14 (fig. 2.40,*c*). Cilindrul rotitor 13 este instalat pe lagărele 15 în interiorul turnului fix 1. Pe suprafața cilindrică exterioară a cilindrului rotor 13 este executată gaura cilindrică 16, în care este instalat elementul elastic 17 și bila 18, partea exterioară a căreia este amplasată periodic în locașurile sferice 19, executate pe suprafața cilindrică interioară a turnului fix 1 (de exemplu 10 locașuri sferice amplasate la unghiul de 15° (fig. 2.40,*d*)). În spațiul dintre poziția 1 și 2 pe suprafața cilindrică a turnului 1 este executat elementul înclinat 20. De asemenea, pe suprafața cilindrică a turnului 1 după poziția nr. 10 este executat elementul înclinat 21 (fig. 2.40,*d*). Cilindrul rotativ 13 este legat prin intermediul spiralei Arhimede 22 (varianta 1 – (fig. 2.41,*c*)) sau a elementului elastic 23 (varianta a 2-a, (fig. 2.41,*d*)) cu suprafața cilindrică interioară a turnului fix 1. În partea de sus cilindrul rotitor 13 este legat rigid cu axul de sprijin 24, pe care este instalat articulat panoul fotovoltaic 25. Capătul de jos al panoului fotovoltaic 25 în partea de mijloc este legat articulat prin bara 26 cu capacul 27 legat rigid cu turnul fix 1.

În soluția tehnică conform (fig. 2.41,*e*) axul de sprijin 24 este legat prin pana 28 cu bucușă 29, instalată pe lagărul de rostogolire 30 pe bucușă

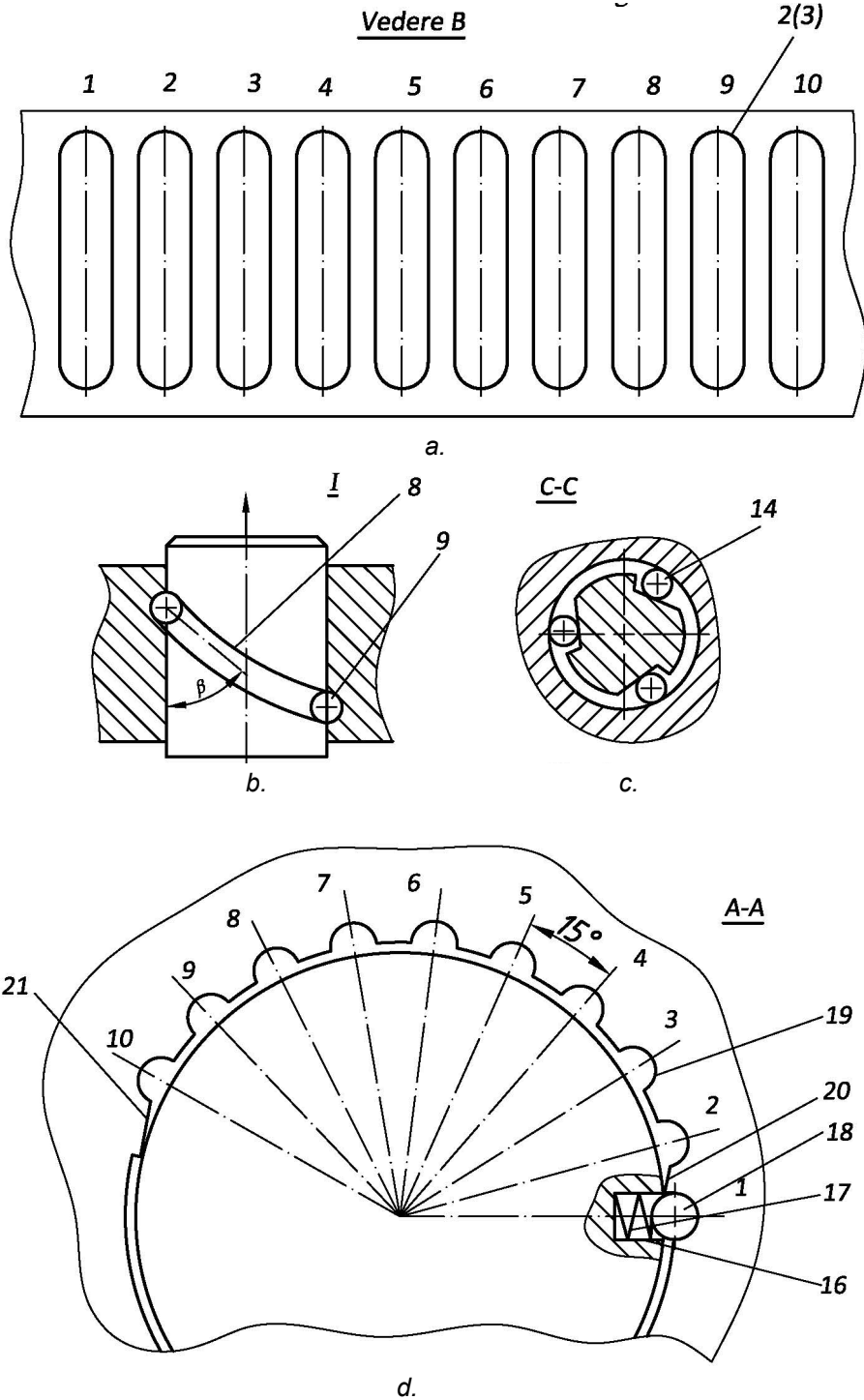


Fig. 2.40. Panoul fotovoltaic „Floarea soarelui”: variante.

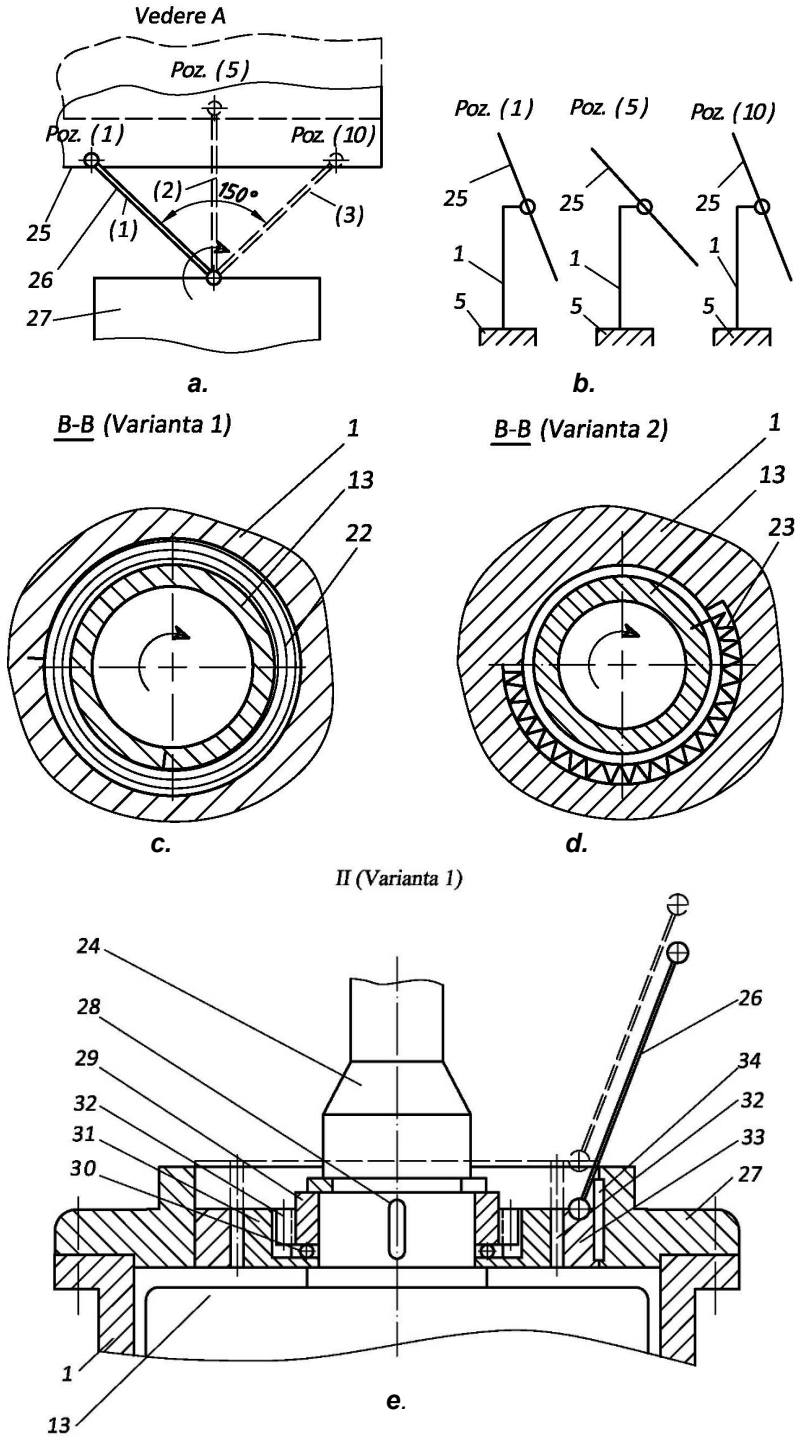


Fig. 2.41. Panoul fotovoltaic „Floarea soarelui”: variante.

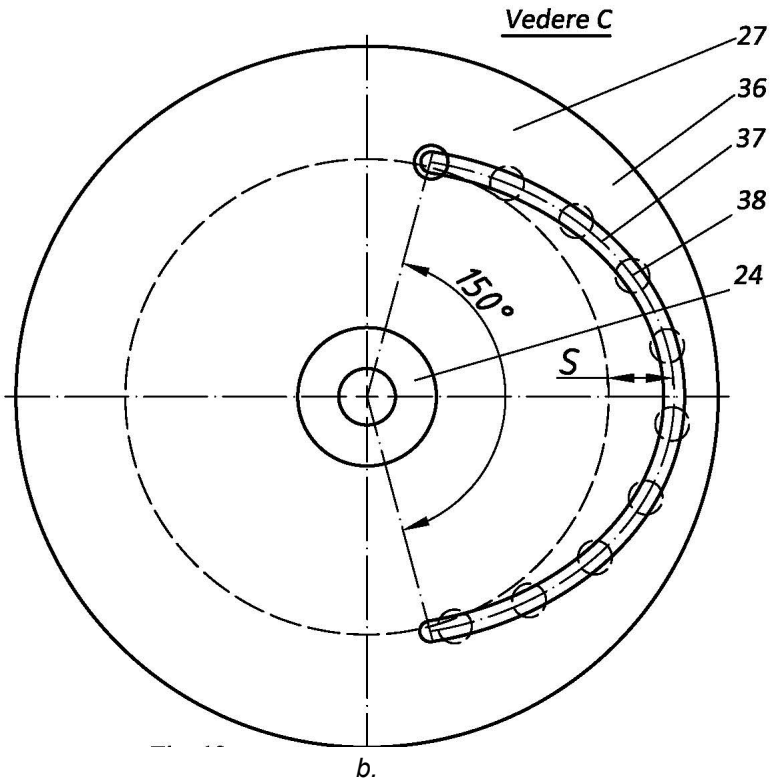
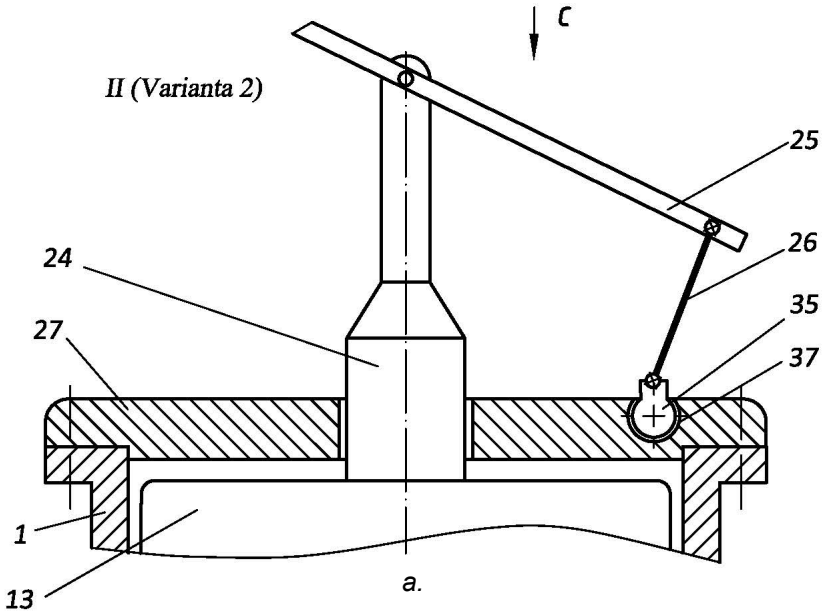


Fig. 2.42. Panoul fotovoltaic „Floarea soarelui”: variante.

rotitoare unisens 3, pe suprafața cilindrică rotitoare a căreia și pe suprafața cilindrică exterioară corespunzătoare a bușei 29, sunt executați dinți, care formează cuplajul unisens 32. Pe suprafața cilindrică exterioară a bușei 3 este executat filetul metric cu pas mic 32, care angrenează cu filetul metric al bușei-piulițe 33, legată articulat prin bara 26 cu panoul fotovoltaic 25. Totodată, bușa-piuliță 33 este legată prin pana 34 cu capacul fix 27.

În soluția tehnică conform fig. 2.42,a,b panoul fotovoltaic 25 este legat articulat prin bara 26 și articulația sferică 35 cu capacul 27 legat rigid cu turnul fix 1. Pe flanșa 36 a capacului 27 este executat canalul-camă, executat sferic în secțiune normală 37, în care este amplasat tachelul cu element sferic 38 al articulației sferice 35. În fig. 2.43 este prezentat un exemplu de copac fotovoltaic cu mai multe panouri fotovoltaice orientabile la soare.

Instalația fotovoltaică „*Floarea soarelui*” conform fig. 2.39 – 2.41,a-d funcționează în modul următor. Razele solare cad asupra elementelor de concentrare a razelor solare 3, sunt concentrate și orientate asupra tubului gofrat 4 umplut cu gaz cu coeficient de dilatare mare. La dilatarea gazelor tubul gofrat 4 se va dilata în înălțime, deplasând în direcție axială axul 6. Mișcarea axială a axului 6 se transformă în mișcare de rotație a bușei 10 prin intermediul canalului înclinat 8 și al bilelor 9 (fig. 2.40,b), care este transmisă prin intermediul cuplajului unisens 14 (fig. 2.41,c) cilindrului rotitor 13 și mai departe axului de sprijin 24 și panoului fotovoltaic 25, asigurând rotirea panoului fotovoltaic în plan meridional, urmărind traiectoria soarelui. Deplasarea „*h*” generată de dilatarea tubului gofrat 4 asigură rotirea panoului fotovoltaic la un unghi anumit (de ex. 15°).

Pe suprafața cilindrică interioară a turnului fix 1 sunt executate locașuri sferice (de ex. 10 locașuri sferice, amplasate la un unghi de sector de 15°, asigurând un unghi de rotire a panoului fotovoltaic pe parcursul zilei de 150°), în care prin intermediul bilelor 18, elementelor elastice 17 și locașului sferic 19 se fixează cilindrul rotitor 13 și, deci, și axul de sprijin 24 cu panoul fotovoltaic 25 în poziția dată în fig. 2.40. După ce soarele se va „*mișca*” pe orbită razele solare nu vor mai acționa asupra elementelor de concentrare 3, gazul din tubul gofrat 4 se va răci, comprimându-se, și tubul gofrat 4 va reveni în poziția inițială. Grație cuplajului unisens 14 panoul fotovoltaic 25 va rămâne în poziția fixată. După „*mișcarea*”

soarelui pe orbită la aprox. 15° razele solare vor acționa printr-o nouă deschizătură 2 (fig. 2.40,*a*) asupra elementului de concentrare a razelor solare (3) și procesul se va repeta până ce panoul fotovoltaic 25 se va roti la un unghi de aprox. 150° , un unghi rațional sub aspectul eficienței de conversie. Pentru readucerea panoului fotovoltaic 25 în poziția inițială după ultima poziție (poz. 10, fig. 2.40,*d*) bila 18 se deplasează pe elementul înclinat 21, care deplasează bila 18 în gaura cilindrică 16, învingând forța de elasticitate a elementului elastic 17, fixând bila în poziție afundată. Cilindrul rotitor 13, fiind eliberat de legătura cu turnul fix 1, se va roti liber în direcție inversă sub acțiunea forței elastice a spiralei Arhimede 22 (fig. 2.41,*c*) sau a elementului elastic 23 (fig. 2.41,*b*, în altă variantă constructivă). Astfel se asigură rotirea panoului fotovoltaic 25 pe parcursul zilei în plan meridional la un unghi de 150° , unghi rațional sub aspectul eficienței de conversie. Pentru orientarea panoului fotovoltaic 25 în plan azimutal, datorită faptului că panoul fotovoltaic 25 este legat articulat prin intermediul barei 26 cu capacul 2 legat rigid cu turnul fix 1, la rotirea panoului fotovoltaic 25 el se va înclina în plan azimutal la un unghi anumit forțat de bara 26, care are lungime constantă. Astfel pe parcursul zilei (unui ciclu diurn), panoul fotovoltaic 25 va ocupa succesiv poz. 1, 2, 3 (fig. 2.41,*a,b*).

Pentru considerarea factorului sezonier (înclinarea panoului fotovoltaic 25 în plan azimutal este diferită în cele 4 anotimpuri) varierea continuă a unghiului azimutal de înclinare a panoului fotovoltaic 25 se realizează datorită legăturii articulate a panoului fotovoltaic 25 prin bara 26 cu bucușă piuliță 33 legată cu capacul 27 cu posibilitatea micro-deplasării în direcție axială, asigurată de filetul metric 32 cu pas mic. Bucușei piuliță 33 i se transmite mișcare de rotație discontinuă în aceeași direcție prin intermediul cuplajului unisens 32 de la bucușă 29 legată prin intermediul penei 28 cu axul 24 (fig. 2.41,*e*).

Pentru orientarea panoului fotovoltaic 25 în plan azimutal în altă variantă (fig. 2.42,*a,b*) panoul fotovoltaic 25 este legat articulat prin intermediul barei 26 și articulației sferice 35 cu canalul-camă 37, care are formă sferică în secțiune normală, executat pe flanșa capacului 27. La rotirea axului de sprijin 24 cu panoul fotovoltaic 25 în jurul axei axului de sprijin 24 tachelul cu element sferic 38 al articulației sferice 35 se va

deplasa de-a lungul canalului 37. Deoarece lungimea barei 26 este constantă, iar canalul-camă 37 asigură cursa „S” a tachetului cu element sferic 38, atunci la rotirea axului de sprijin 24 cu panoul fotovoltaic 25, ultimul se va înclina în plan azimutal la un unghi variabil pe parcursul zilei corespunzător unghiului azimutal diurn al Soarelui. Varianta „copac fotovoltaic” (fig. 2.43)

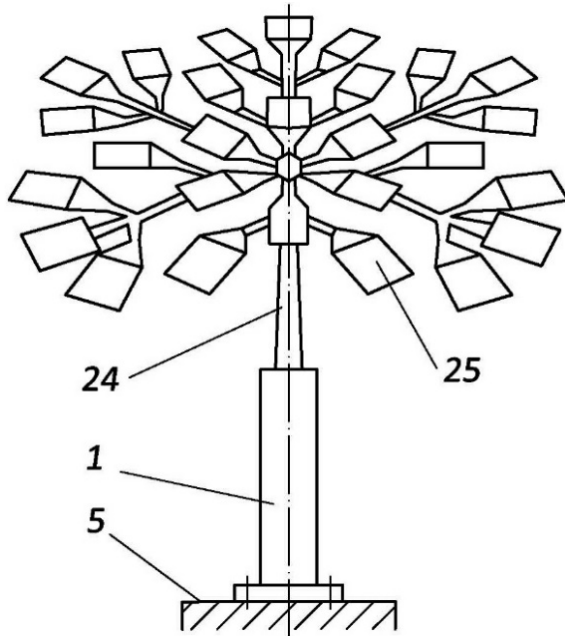


Fig. 2.43. Varianta „copac fotovoltaic”.

prezintă o serie de panouri fotovoltaice 25, instalate pe o structură metalică fixată pe arborele de sprijin rotitor 24, instalat în turnul fix 1 cu posibilitatea rotirii în plan meridional.

Soluțiile tehnice propuse în invenție permit realizarea automată a orientării panoului fotovoltaic 25 față de Soare în plan meridional și azimutal după modelul natural al florii soarelui;

- prin utilizarea unor soluții constructiv inovative relativ simple;
- considerarea factorului sezonier printr-o soluție constructivă pur mecanică relativ simplă, care asigură eficiența sporită de conversie și cost redus.

Rezultatul tehnic al invenției constă în majorarea eficienței de conversie prin orientarea automată a panoului fotovoltaic în plan meridional și azimutal, inclusiv cu considerarea factorului sezonier, după modelul natural al florii soarelui, simplificarea construcției și reducerea costului.

2.2.2.3. Instalație fotovoltaică tip „Floarea soarelui”

O altă soluție tehnică bazată pe utilizarea fenomenului natural, prin care floarea soarelui urmărește traiectoria Soarelui pe parcursul zilei, orientându-se în plan meridional și azimutal, chiar cu considerarea factorului sezonier este instalația fotovoltaică tip floarea soarelui [32]. Soluția tehnică propusă se bazează, parțial, pe soluția [33] - un panou solar pliant, care include o carcasă, formată din secțiuni, pe care sunt montate celule fotovoltaice. Secțiunile carcasei sunt executate în formă de sectoare de disc, unite între ele prin intermediul unei osii plasate în centrul razei de curbura a sectoarelor de disc cu posibilitatea suprapunerii acestora și a unor ghidaje plasate la periferia circulară a fiecărui sector de disc. Flanșele secțiunilor carcasei sunt legate între ele prin intermediul unor elemente executate din material cu memoria formei, care în stare activă formează cercul carcasei. Soluția tehnică cunoscută are construcție relativ simplă, însă posibilități funcționale relativ reduse.

Instalația fotovoltaică (fig. 2.44 - 2.45) constă din panoul fotovoltaic 1 legat articulat cu suportul 2 amplasat în interiorul carcasei rotitoare 3. Suportul 2 include partea superioară 4, pe care este instalat panoul fotovoltaic 1, și partea inferioară fixă 5, legate articulat prin intermediul articulației cu 3 grade de mobilitate 6. Panoul fotovoltaic 1 include un număr de panouri fotovoltaice lamelare de formă triunghiulară 7. În capătul fiecărui panou fotovoltaic lamelar 7, care se instalează pe suportul 2, este executată o gaură cilindrică, în care este amplasată o bilă 8, arcuită în direcție axială cu elementul elastic 9, iar pe suprafața cilindrică a părții superioare 4 a suportului 2 în poziții corespunzătoare pozițiilor panourilor fotovoltaice lamelare 7 în stare operațională, sunt executate lăcașuri sferice 10. În cavitatea părții superioare 4 a suportului 2 este amplasat pistonul 11 legat prin intermediul unei transmisii „surub-piuliță” 12 cu arborele unei roți cu palete 13 (fig. 2.46,a,b). Pe arborele 12 între suprafața de sprijin 14 a părții superioare a suportului 2 și elementul 15 fixat pe arborele 12 este amplasat elementul elastic 16. Primul panou fotovoltaic lamelar 7 este fixat rigid de partea superioară 4 a suportului 2 și de elementul 17. În interiorul primului panou fotovoltaic 7 în zona deschisă în apropiere de partea superioară mobilă 4 cu acces la razele solare este amplasat primul tub gofrat 18 umplut cu gaz cu proprietăți de dilatare pronunțate la

încălzire, un capăt al ștocului 20 al căruia este legat de elementul 17, iar al doilea capăt liber contactează cu flanșa celui de-al doilea panou fotovoltaic lamelar 7. În zona deschisă apropiată de partea superioară mobilă 4 este amplasat al doilea tub gofrat 18 umplut cu gaz cu proprietăți de dilatare pronunțate la încălzire, ștocul 20 al căruia contactează cu flanșa următorului panou fotovoltaic lamelar 7 ș.a.m.d. Totodată, flanșa celui de-al doilea panou fotovoltaic lamelar este legată de elementul 17 prin intermediul elementelor elastice de întindere 19. Astfel al treilea panou fotovoltaic lamelar 7 este legat de flanșa primului panou fotovoltaic lamelar 7 cu elementul elastic de întindere 19. În mod similar se procedează cu toate panourile fotovoltaice lamelare 7. Tubul gofrat 18 (fig. 2.47,*a*) este instalat pe un ștoc 20, un capăt al căruia este instalat articulată în carcasa panoului fotovoltaic lamelar 7, iar al doilea capăt este instalat pe sprijinul 21, amplasat pe elementul elastic 22 cu posibilitatea deplasării în direcție axială, contactând cu flanșa următorului panou fotovoltaic lamelar 7. Deasupra panourilor fotovoltaice lamelare 7 cu tuburile gofrate 18 este instalat un disc 23 legat rigid cu partea superioară mobilă 4, pe flanșa căruia sunt executate orificii, în care sunt instalate lentile concave 24 la distanțe unghiulare egale cu unghiul la vârf α al panourilor fotovoltaice lamelare 7 amplasate deasupra tuburilor gofrate 18 în poziție desfășurată a panourilor fotovoltaice 7.

Pe partea inferioară fixă 5 a suportului 2 este instalată fix o roată dințată 25 (fig. 2.47,*c,d,e*). Între dintele 26 al roții dințate 25 și sprijinul 27, fixat pe partea inferioară a carcasei rotitoare 3, este amplasat un tub gofrat 28 umplut cu gaz cu proprietăți de dilatare mari la încălzire. În zona de amplasare a tubului gofrat 28 în carcasa rotitoare 3 în partea aflată sub acțiunea razelor solare, este executat un orificiu, în care este instalată lentila concavă 29 de concentrare a razelor solare.

În altă variantă (fig. 2.48,*a*) pe partea inferioară fixă 5 a suportului 2 este fixată bucușa 40, în care sunt instalate articulată bare arcuite 30, între care și sprijinul 27, fixat pe suprafața cilindrică interioară a carcasei rotitoare 3, este amplasat un tub gofrat 28 umplut cu gaz cu proprietăți de dilatare pronunțate la încălzire.

Partea superioară 31 a carcasei rotitoare 3 este executată înclinat și profilată (fig. 2.48,*b*). Între partea superioară 31 și discul 32 al panoului

fotovoltaic 1 sunt amplasate corpuri de rulare 33. Pe partea inferioară 5 a suportului 2 este instalată o roată dințată cu clichet 34, al cărei clichet 35 este fixat în carcasa rotitoare 3, legătura fiind dirijată cu senzorul de lumină 36. Totodată, partea inferioară 5 a suportului 2 este legată suplimentar cu carcasa rotitoare 3 printr-un element elastic de întindere 37. Una din flanșele panoului fotovoltaic lamelar 7 este înzestrată cu o perie 38 și cu corpuri de rulare 35 (fig. 2.45,e).

Instalația fotovoltaică tip floarea soarelui funcționează în modul următor. Desfășurarea panoului fotovoltaic din starea „închis” în starea operațională se efectuează în felul următor: Primul panou fotovoltaic lamelar 7 este legat rigid cu partea superioară 4 a suportului 2 prin intermediul elementului fix 17. Sub acțiunea razelor solare concentrate în lentila concavă 29 gazul din primul tub gofrat 18 se va dilata, ștocul 20 acționând asupra flanșei celui de-al doilea panou fotovoltaic lamelar 7, rotindu-l la unghiul $\alpha = 360^0/n$, unde n este numărul panourilor fotovoltaice lamelare. Panoul fotovoltaic lamelar 7 este fixat în poziția atinsă cu ajutorul bilelor 8, care sub acțiunea elementelor elastice 9 intră în lăcașurile sferice 10. Odată fixat în poziție de operare al doilea panou fotovoltaic lamelar 7, tubul gofrat 18, amplasat în carcasa celui de-al doilea panou fotovoltaic 7, se plasează în dreptul celei de a doua lentile 19. Sub acțiunea razelor solare concetrate în lentila concavă 29 gazul din al doilea tub gofrat 18 se va dilata, ștocul 20 acționând asupra flanșei celui de-al treilea panou fotovoltaic lamelar 7, rotindu-l la unghiul $\alpha = 360^0/n$. În continuare procesul se repetă până ce toate panourile fotovoltaice lamelare 7 sunt aduse în stare operațională (sunt desfășurate complet - vezi fig. 2.45,d).

În cazul când viteza vântului va depăși o valoare limită (de exemplu 15 m/s) pentru protecția instalației fotovoltaice de la distrugeri roata cu palete 13 va fi antrenată în mișcare de rotație, care prin intermediul transmisiei „șurub-piuliță” 12 se va transforma în mișcare de translație a pistonului 11, care, învingând forțele elastice ale elementului elastic 9, va

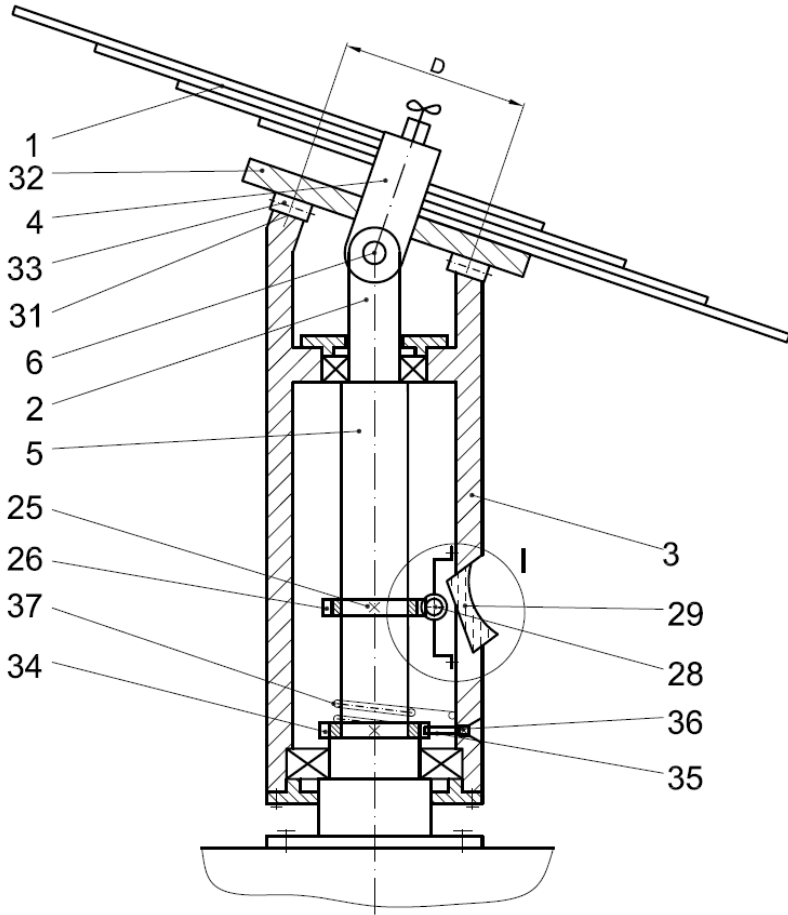
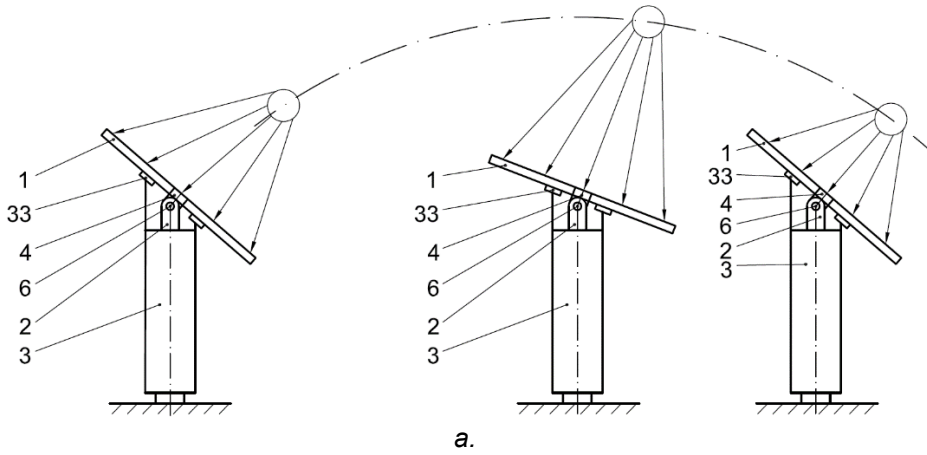


Fig. 2.44. a - vederea generală a instalației fotovoltaice în trei poziții față de soare; b - sistemul de orientare automată la soare.

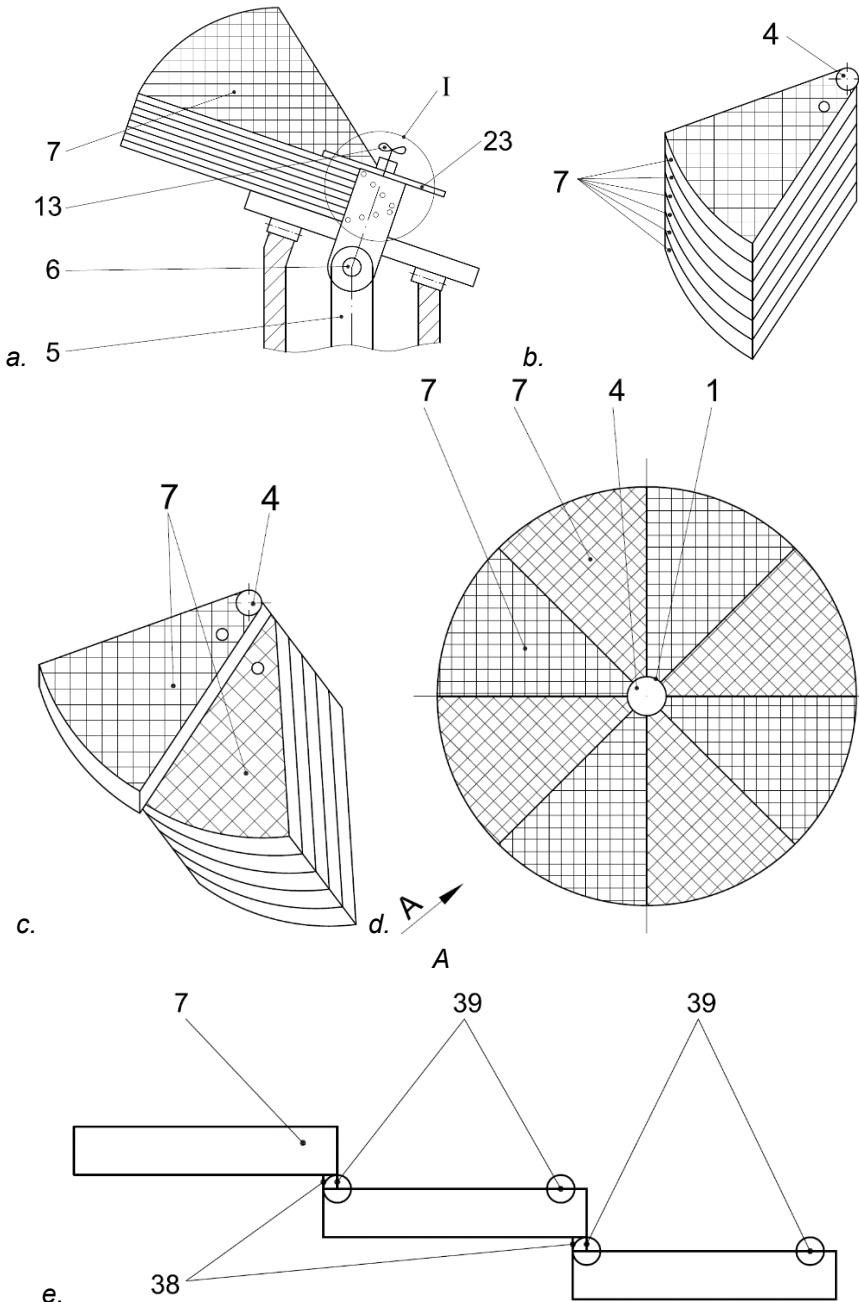
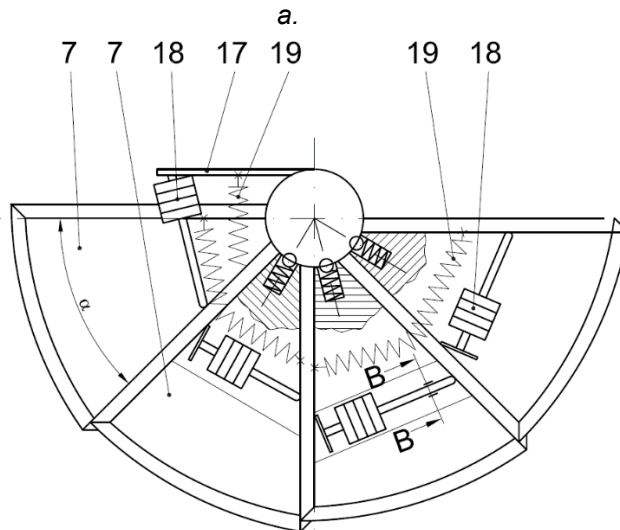
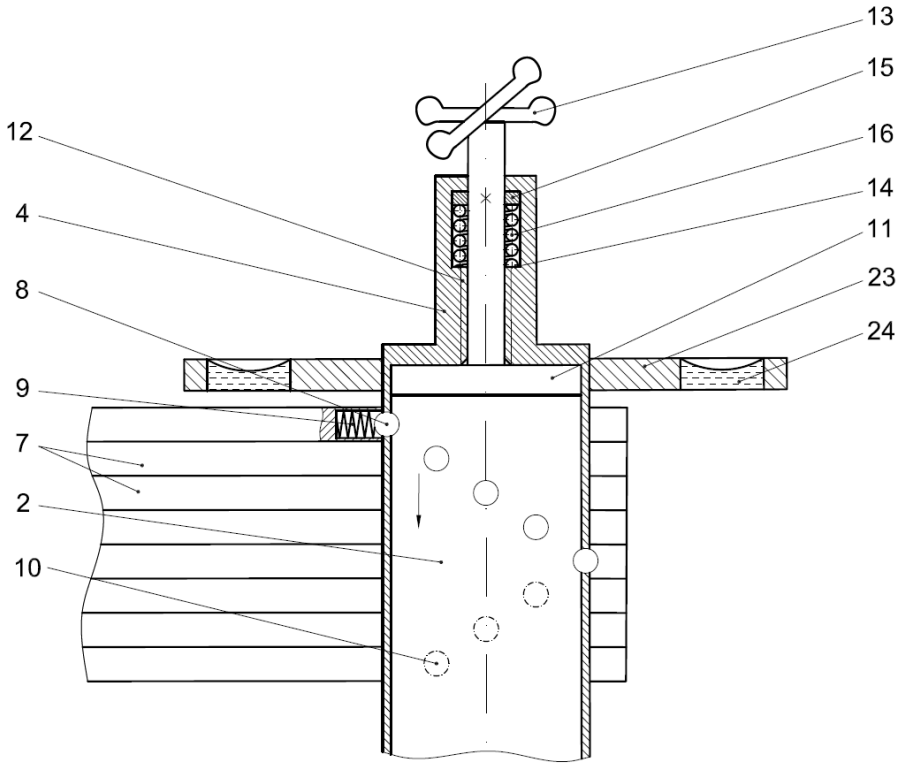


Fig. 2.45. a - instalația fotovoltaică în stare închisă (pliată); b - panourile fotovoltaice lamelare în stare închisă (pliată); c - panourile fotovoltaice lamelare la faza de desfășurare; d - instalația fotovoltaică în stare de operare; e - vederea A din fig. d – panouri fotovoltaice lamelare cu elemente de limitare.



b.

Fig. 2.46. a – elementul I din fig. 2.45,a; b - mecanismul de rotire a panourilor fotovoltaice lamelare în procesul de desfășurare în stare operațională.

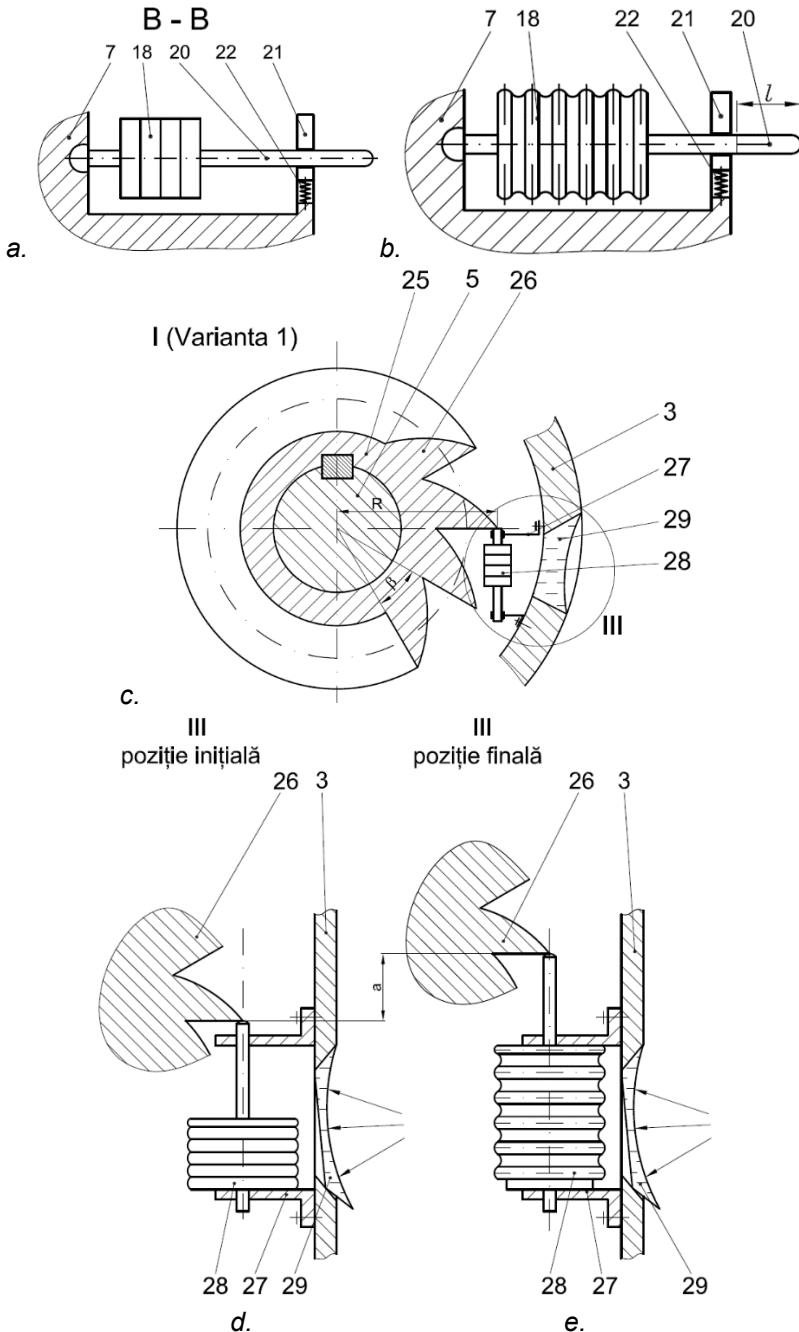


Fig. 2.47. Secțiunea B – B din fig. 2.46,b (în stare închisă (a) și operațională (b)); c - mecanismul de rotire a carcusei rotoare pentru orientarea panoului fotovoltaic la soare (varianta 1); poziția inițială (d) și finală (e) în cadrul unui ciclu al mecanismului de orientare la soare.

I (Varianta 2)

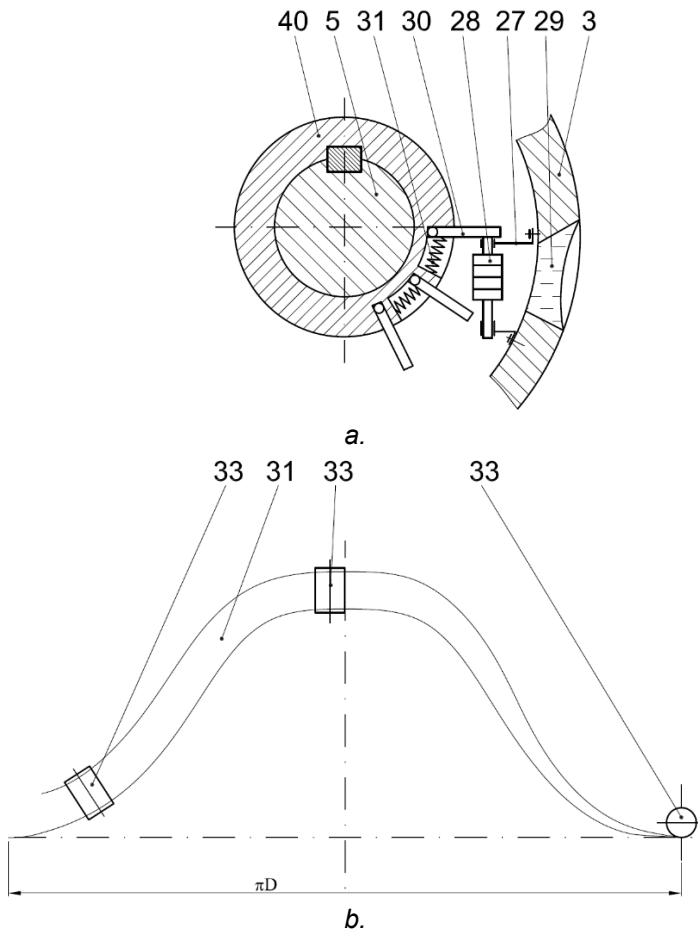


Fig. 2.48. a - mecanismul de rotire a carcasei rotitoare pentru orientarea panourilor fotovoltaice la soare (varianta 2); b - desfășurata suprafeței de sprijin a carcasei rotitoare pentru orientarea panourilor fotovoltaice la soare.

împinge bilele 8 în gaura cilindrică. Panoul fotovoltaic laminar 7 eliberat de legătura cu partea superioară 4 a suportului 2 va fi readus în poziția inițială (închisă) cu ajutorul elementului elastic 19. La mișcarea de translație în continuare a pistonului 11 vor fi anihilate legăturile celorlalte panouri fotovoltaice lamelare 7 cu partea superioară 4 a suportului 2, asigurând pliarea panourilor fotovoltaice lamelare 7 în stare „închisă”. La pliarea panourilor fotovoltaice lamelare 7 sprijinele 21 comprimă elementele elastice 22, asigurând rotirea și curățarea lor cu periile 38. După reducerea vitezei vântului desfășurarea panoului fotovoltaic 1 se

efectuează în modul descris mai sus. În cazul pregătirii instalației fotovoltaice pentru păstrare sau transportare arborele roții cu palete 13 este antrenat manual.

Orientarea panoului fotovoltaic 1 la soare se efectuează în modul următor. La încălzirea gazului din tubul gofrat 28 cu razele solare concentrate de lentila concavă 29 capătul liber al tubului gofrat 28 va acționa asupra dintelui nemișcat 26 al roții cu clichet 25, asigurând rotirea carcasi rotitoare 3 la unghiul $\beta = \arcsin a/2R$, unde a este distanța la care este deplasat capătul liber al ștocului 20 al tubului gofrat 28, iar R – raza de contact a capătului ștocului tubului gofrat 28 cu dintele 26 al roții dințate cu clichet 25. Carcasa rotitoare 3 este fixată în poziția nouă prin intermediul roții cu clichet 34 și clichetului 35. Rotirea carcasi rotitoare 3 asigură înclinarea panoului fotovoltaic 1 la un unghi optim sub aspectul conversiei energiei solare. În momentul când soarele se va roti la unghiul β , razele solare vor acționa asupra lentilei concave 29, care le va concentra, încălzind gazul din tubul gofrat 28. În continuare procesul se repetă, asigurând rotirea carcasi rotitoare 3 la un nou unghi β și înclinarea panoului fotovoltaic 1 la un nou unghi optim. Rotirea carcasi rotitoare 3 se va efectua până la asfințitul soarelui. În lipsa luminii solare senzorul de lumină 36 eliberează legătura clichetului 35 cu carcasa rotitoare 3, care sub acțiunea elementului elastic 37 revine în poziția inițială.

În soluția tehnică conform variantei 2 (fig. 2.48,a) la încălzirea gazului din tubul gofrat 28 cu razele solare concentrate de lentila concavă 29 capătul liber al ștocului tubului gofrat 28 va acționa asupra barelor articulate 30, asigurând rotirea carcasi rotitoare 3 la unghiul $\beta = \arcsin 2a/R$, unde a este distanța, la care este deplasat capătul liber al tubului gofrat 28, iar R – raza de contact a capătului tubului gofrat 28 cu elementul 30 arcuit al bușei 40.

Soluțiile tehnice propuse în invenție asigură orientarea optimă la soare a panoului fotovoltaic asemenea florii soarelui cu ajutorul unor „*muşchi artificiali*”, desfășurarea sau plierea panourilor fotovoltaice lamelare în stare operațională, protecția panoului fotovoltaic de distrugerii la viteze mari ale vântului, sau pentru transportare sau păstrare.

Sisteme inteligente de orientare la soare a panourilor fotovoltaice similare, elaborate de autori, sunt prezentate în [34-38].

CAPITOLUL III. ASPECTE PRIVIND OPTIMIZAREA FUNȚIONĂRII SISTEMELOR DE CONVERSIE A ENERGIEI REGENERABILE

3.1. Generalități

Secolul XXI, numit și secolul Cunoașterii, se caracterizează printr-o penetrare tot mai mare a tehnologiilor informaționale practic în toate domeniile. Datorită faptului că Omenirea este tot mai mult afectată de criza energetică și tot mai mult este orientată spre utilizarea energiilor de alternativă – energiile regenerabile, care sunt cele mai importante surse de energie (atât sub aspect economic, cât și, în special, în plan ecologic) optimizarea sistemelor de conversie a energiilor regenerabile devine o problemă primordială.

Optimizarea funcționării sistemelor de conversie a energiilor regenerabile poate fi atinsă pe două căi:

- optimizarea funcțional - constructivă a componentelor mecanice ale sistemului;
- optimizarea funcționării sistemelor prin crearea sistemelor inteligente de monitorizare continuă.

Optimizarea funcțional – constructivă a sistemelor de conversie a energiilor regenerabile este un domeniu de interes deosebit al inventatorilor și cercetătorilor în ultimii peste 100 de ani. După cum se vede din capitolul 2 există o multitudine de soluții conceptuale de optimizare constructiv-funcțională, elaborate de autori. Aceste soluții asigură majorarea eficienței de conversie, siguranței în exploatare și duratei de funcționare.

Dezvoltarea furtunoasă a tehnologiilor informaționale deschide noi orizonturi în crearea sistemelor inteligente de monitorizare a funcționării sistemelor de conversie a energiilor regenerabile, în special, a turbinelor eoliene individuale sau amplasate în parcuri eoliene. Un sistem inteligent de monitorizare a unei turbine eoliene poate monitoriza în regim on-line:

- rezistența palelor (aparitia microfisurilor în pale, elaborarea și realizarea contramăsurilor);
- gradul de depunere a gheții pe profilul aerodinamic al palelor, elaborarea și realizarea contramăsurilor;
- gradul de încălzire în nacelă, elaborarea și realizarea contramăsurilor.

3.2 Aspecte generale privind predictibilitatea funcționării turbinelor eoliene

3.2.1. Introducere

În zilele noastre, odată cu dezvoltarea infrastructurii tehnologiei informației, majoritatea sistemelor se îndreaptă către modele inteligente, dintre care domeniul producției de energie eoliană nu face excepție. În acest context, unul dintre modelele importante se referă la sistemele de mentenanță predictivă, cum ar fi mentenanța centrată pe fiabilitate.

Actualmente, turbinele eoliene reprezintă una dintre sursele de producție de energie cu cea mai rapidă creștere din lume, reducerea costurilor de operare și întreținere a acestora fiind extrem de importantă. Turbinele eoliene se pot opri din cauza diverselor mecanisme de defecțiune și, prin urmare, trebuie asigurată mentenanța corespunzătoare. Răspunsurile palei turbinei eoliene la sarcini extreme ar putea cauza daune semnificative turbinei în sine și personalului de întreținere sau oricăror persoane din apropierea acesteia. Activitățile de mentenanță sunt costisitoare din cauza logisticii și întârzierilor, în special în sectorul offshore [39-42].

Din statisticile cunoscute [41] se poate concluziona următoarele:

- Cel puțin 62,9% din toate cauzele defecțiunilor sunt defecțiuni legate de inginerie internă, în timp ce restul se datorează efectelor externe, în principal legate de vreme.
- Aproximativ 82,5% din întreaga activitate de mentenanță este legată de echipamente și, prin urmare, înseamnă că un echipaj de întreținere trebuie să se deplaseze la instalație pentru a remedia problema. Acest lucru este deosebit de problematic atunci când turbina eoliană este offshore.
- În medie, o defecțiune va apărea o dată pe an pentru turbinele eoliene de până la 500 kW, de două ori pe an pentru turbinele între 500 și 999 kW și de 3,5 ori pe an pentru turbinele eoliene cu o putere mai mare de 1 MW.

Palele turbinei eoliene moderne cu axă orizontală convertesc energia cinetică din fluxul vântului în putere mecanică în condiții complexe de încărcare, inclusiv sarcini aerodinamice, sarcină gravitațională și sarcini

structurale mecanice din interacțiunile dinamice dintre palele rotorului și alte componente. Fiabilitatea palelor rotorului este de o importanță vitală pentru industria energiei eoliene ca urmare a condițiilor severe de funcționare, a cerințelor privind durata de viață pe termen lung (15–20 de ani) și a costurilor ridicate (costul de producție al palelor rotorului reprezintă aproximativ 15–20% din costul total de producție a turbinei eoliene) [42].

Se constată astfel, că palele turbinelor eoliene sunt supuse unor sarcini complexe de mediu și mecanice în timpul perioadei de funcționare, inclusiv deformare ciclică, precipitații, particule care provoacă eroziune, înghețare, umiditate ridicată și variații de temperatură, dar și evenimente extraordinare, cum ar fi deteriorări la transportare, lovituri de păsări și descărcările electrice [43, 44]. Pentru a reduce și optimiza costurile de întreținere, este necesară o înțelegere detaliată a mecanismelor de degradare și defecțiuni ale turbinelor eoliene. Acest lucru este important pentru o predicție fiabilă a evenimentelor de defecțiune, planificarea activităților de întreținere și atenuarea proceselor de degradare. Pentru palele turbinelor eoliene, prelungirea duratei de viață este una dintre cele mai bune strategii de utilizare a acestora după 25 de ani de funcționare.

Cu toate acestea, accidentele de defecțiuni structurale ale palelor turbinelor eoliene nu sunt neobișnuite. Se raportează că [44], cu aproximativ 700000 de pale în funcțiune la nivel global, există, în medie 3800 de incidente care țin de defecțiunea palelor în fiecare an.

3.2.2. Mecanisme de defectare a palelor turbinei eoliene

Deteriorarea palelor turbinei eoliene poate fi clasificată ca deteriorare a suprafeței (microfisuri pe suprafață și acoperiri), deteriorarea rășinii și/sau a interfeței (delaminare, defecte ale rășinii) și deteriorarea elementelor structurale (ruperea fibrelor sau îndoirea lor) [43, 44]. Defectele de suprafață pot fi cauzate de eroziune (provocată de ploii, nisip și grindină) sau impacturi cu obiecte mici. Suprafața deteriorată și rugoasă reduce performanța aerodinamică a palei. Nu împiedică funcționarea turbinei eoliene, dar defectele de suprafață cresc și se dezvoltă și pot duce la deteriorarea structurală a palei.

În general, mecanismele de defectare ale palelor turbinelor eoliene sunt analizate, folosind următoarele metode principale:

- ✓ analiza post-distrugere a palelor defectate;
- ✓ testarea la scară completă a palelor în laboratoare cu observare video și monitorizare a stării structurale;
- ✓ analiza bazelor de date și culegeri de rapoarte de incidente;
- ✓ monitorizarea directă a deformării și degradării palei în timpul funcționării (de exemplu, utilizând teste nedistructive și metode de monitorizare a stării structurale);
- ✓ testarea proiectării subcomponentelor (de exemplu, grinda), reproducând părți sau elemente ale palelor (de exemplu, îmbinări sau *sandvișuri*);
- ✓ modelarea computațională a deformării și deteriorării palei.

Monitorizarea directă a deformării și deteriorării palelor turbinelor eoliene poate fi efectuată folosind metode de testare nedistructivă și metode de monitorizare a sănătății structurale [45]. În timp ce monitorizarea sănătății structurale este, de regulă, dezvoltată pentru controlul palei, poate fi folosită și pentru a înțelege mecanismele de defecțiune. Astfel de experimente sunt întreprinse pentru investigarea eroziunii la suprafața palelor. O analiză mai detaliată este oferită în lucrarea [45].

În timp ce modelarea computațională a degradării palelor turbinelor eoliene este una dintre cele mai eficiente abordări ale analizei mecanismelor de defecțiune, modelele includ, de regulă, unele mecanisme de deteriorare predefinite și presupuse. De exemplu, este făcută o analiză statică pentru a stabili zona critică a palei și apoi se simulează propagarea fisurilor de oboseală în acea zonă.

Modelele de calcul sunt destul de eficiente și au o gamă largă de aplicații. Cu toate acestea, aplicarea lor necesită o cunoaștere prealabilă a mecanismelor de deteriorare așteptate.

Zonele critice ale palei turbinei eoliene

Mai multe segmente ale palelor turbinei eoliene sunt în mod special, sensibile la degradare. Printre acestea, segmentele supuse celor mai intense încărcări (vârful și bordul de atac), sectoarele de tranziție (de exemplu, zona de tranziție de la cilindru la suprafața aerodinamică și tranziția

stratificatului de compozit la o grosime mai mică), porțiuni de interfață (cu straturi de adeziv, de exemplu, bordul de fugă). Potrivit cercetărilor [46] cele mai afectate zone ale palei sunt: lângă bază (30–35% din lungimea coardei de la bază) și lângă vârf (70% în lungimea coardei de la baza palei), baza palei, bordul de fugă pe partea de presiune înaltă și bordul de atac.

Mecanismele de deteriorare principalele în zonele critice:

Vârful palei. Deoarece viteza de la vârf este cea mai mare, eroziunea și deteriorarea rezultată a bordurilor de atac și de fugă este mult mai intensă în apropierea vârfului. Mai mult decât atât, fulgerele pot lovi palele în apropierea vârfului și poate duce la separarea învelișului în apropierea vârfului sau de lonjeron [47].

Bordul de atac. De regulă, acesta este supus picăturilor de ploaie, grindinei, nisipului și impacturilor succesive. Dacă eroziunea de suprafață nu este reparată rapid, poate duce la fisurarea laminatelor sau va permite pătrunderea apei în zona de lipire [48].

Bordul de fugă. Bordul de fugă al palelor turbinei eoliene se poate defecta prin dezlipirea îmbinării adezive (de exemplu, din cauza tensiunilor de exfoliere) și/sau prin flambarea panourilor *sandwich*. Flambajul poate duce la defectarea finală a îmbinării adezive pe bordul de fugă la sarcini mult mai mici decât cele maxime.

Zone cu tranziții de grosime, porțiunea butucului: Alte sectoare potențial deteriorabile sunt în zona de tranziție de la secțiunea circulară la profilul aerodinamic, din cauza trecerii bruște de la laminatul gros la geometria fină și a panourilor laminate mari în zona secțiunii cu coarda maximă care pot fi sensibile la flambaj [48].

Îmbinări adezive/linii de lipire: Îmbinările de la bordul de atac și de fugă, între înveliș și elementele de rigidizare interne se pot deteriora sau dezlipi, iar acest lucru duce la flambajul structurilor [48]. Distrugerea palei poate apărea dacă lonjeronul se desprinde de înveliș și se buclează. Conform [47], mecanismul de defectare al palelor cel mai des observat sunt fisurile transversale în zona secțiunii cu coarda maximă (inițiate ca o dezlipire a stratului exterior de la miezul *sandwich*) și dezlipirea nervurilor de rigidizare de învelișul palei în zona de tranziție de la bază (declanșată de tensiunile de exfoliere pe porțiunile de legătură cu adeziv). Aceste efecte sunt amplificate de defectele de fabricație și de solicitările la torsiune ale palei [47].

Figura 3.1 prezintă o schiță a locațiilor mecanismelor de deteriorare des observate ale unei pale de turbină eoliană.

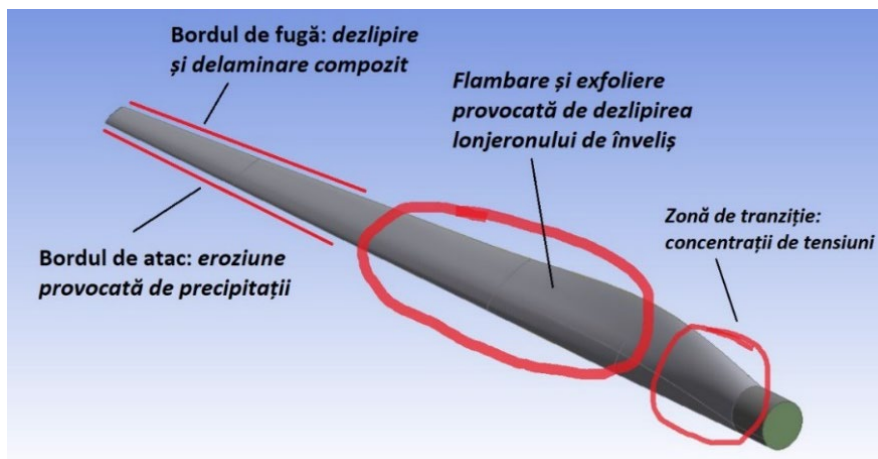


Fig. 3.1. Schema locațiilor mecanismelor frecvente de deteriorare a palelor.

În figura 3.2 sunt prezentate câteva imagini ale unor turbine eoliene cu puterea de peste 1 MW avariate.



Fig. 3.2. Locația și aspectul deteriorărilor palelor turbinelor eoliene existente.

Astfel, sectoarele cele mai periclitare ale palelor unei turbine eoliene sunt părțile proeminente (vârful, bordul de atac), zonele cu secțiuni de tranziție și cele de lipire a elementelor structurale. Fortificarea acestor zone poate spori semnificativ durabilitatea și durata de exploatare a palelor turbinelor eoliene.

După cum se poate observa, locația deteriorărilor palelor este în zona de flambare, la distanța cuprinsă între 0,3 și 0,5 din raza rotorului. Conform rezultatelor cercetărilor prezentate de autorii [44] distrugerile palelor apar de cele mai multe ori în condiții de funcționare care se încadrează în parametrii nominali cum ar fi viteza vântului și perioada de exploatare. Asemenea distrugerii sunt urmări ale nerespectării tehnologiei de fabricare. Pentru a îmbunătăți integritatea structurală a palelor este necesară o bună interacțiune între selecția materialelor, modelul structural și procesul de fabricare.

3.2.3. Elemente ale platformei de mentenanță predictivă

Pentru a preveni deteriorările turbinelor eoliene, accentul trebuie să se pună pe îmbunătățirea fiabilității turbinelor eoliene, rezistența la deteriorări și predicția lor. Una dintre modalitățile cheie de îmbunătățire a fiabilității este întreținerea sau mentenanța predictivă a turbinelor eoliene. Condiția prealabilă pentru a asigura o mentenanță predictivă utilă și rezonabilă constă în monitorizarea stării și diagnosticarea defecțiunilor bazate pe sistemul de monitorizare a stării și controlul de supraveghere și achiziția de date (SCADA), care sunt destul de populare în industria turbinelor eoliene [48]. Întregul proces de monitorizare și evaluare a stării în limitele sistemului include platforma propriu-zisă, monitorizarea stării și operatorii parcurilor de turbine eoliene. Platforma în sine include turbinele eoliene, stațiile meteorologice și datele de monitorizare parvenite prin sistemul de monitorizare a stării și SCADA. În general, operatorii unui parc eolian pot adopta atât întreținerea preventivă, cât și cea predictivă. Spre deosebire de întreținerea preventivă, mentenanța predictivă este mai sofisticată și folosește diverși senzori pentru a monitoriza starea turbinelor eoliene.

Deci, întreținerea predictivă a unei turbine eoliene folosește senzori plasați pe componente cheie. Senzorii oferă (trimit) date valoroase către

echipa de întreținere pentru a asigura informații despre nivelurile de lubrifiere, vibrații, temperaturi etc. De asemenea, această abordare a fost îmbunătățită pentru prevenirea defecțiunilor în regimurile critice de lucru. Astfel, colectarea datelor de la senzori devine un element cheie, iar un sistem bine conceput pentru a face față unei astfel de cantități de date este ușa pentru a crește durata de viață a turbinelor eoliene, precum și pentru a îmbunătăți integrarea eolienerelor în rețeaua electrică existentă.

Luarea deciziilor pentru întreținerea predictivă bazată pe condiție implică evaluarea stării curente (diagnosticul) și/sau prezicerea stării (condiției) viitoare. Un cadru general de luare a deciziilor trebuie să se concentreze atât pe diagnosticul stării curente, cât și pe predicție. Pentru a oferi o decizie de întreținere fiabilă, este necesară o combinație optimă a unei astfel de evaluări mixte. Acest lucru se datorează faptului că este posibil să nu existe suficient timp pentru planificarea întreținerii dacă analiza (evaluarea stării) arată că turbina eoliană a atins o limită de eșec.

Folosind învățarea automată [49], un sistem poate face predicții și își poate îmbunătăți performanța utilizând un model. Modelul este construit prin intermediul unui algoritm de învățare și va fi folosit în cele din urmă pentru luarea deciziilor. Un asemenea model poate fi antrenat prin colectarea de date/informații sau prin utilizarea seturilor de date existente.

În general, monitorizarea stării turbinei bazată pe tehnici de învățare automată se realizează urmând trei pași principali: achiziția datelor, analiza datelor și evaluarea stării turbinei eoliene. Analiza datelor reprezintă unul dintre reperele majore ale unui sistem de monitorizare inteligentă a stării turbinei. Fiabilitatea acestuia este în legătură directă cu acuratețea modelului de diagnostic și predicție elaborat.

Turbinele eoliene moderne funcționează în condiții continuu tranzitorii și dure, cu viteză, cuplu și putere variate în funcție de natura stocastică a resursei eoliene. Această variabilitate afectează nu numai performanța operațională a sistemului eolian, ci poate afecta și integritatea acestuia în condiții de funcționare. Unele defecte, cum ar fi scurgerile de material și coroziunea, pot fi detectate prin inspecție vizuală. Cu toate acestea, multe dintre cele mai tipice defecțiuni, cum ar fi fisurarea suprafețelor palelor, necesită o întreținere mai sofisticată, bazată pe analiza stării. După cum s-a menționat, aceasta implică achiziția, prelucrarea,

analiza și interpretarea datelor, respectiv alegerea acțiunilor optime de mentenanță, și se realizează folosind un sistem de monitorizare a stării.

Sistemele moderne de monitorizare a stării includ diverși senzori și echipamente de procesare a semnalelor care oferă informații continue despre starea componentelor turbinei. Pentru a obține date despre starea turbinei eoliene sunt utilizate diverse tehnici, inclusiv analiza vibrațiilor, analiza acustică, măsurarea deformării etc. Aceste tehnici sunt utilizate pentru a monitoriza starea componentelor critice de funcționare, cum ar fi palele turbinelor eoliene. Asigurând o bună achiziție a datelor și o procesare adecvată a semnalelor, defecțiunile pot fi detectate în timpul funcționării turbinei. În consecință, pot fi planificate acțiuni adecvate pentru a preveni deteriorarea componentelor cheie. Cu alte cuvinte poate fi asigurată și susținută predictibilitatea funcționării turbinei eoliene.

La momentul de față există multiple studii ale progreselor actuale în monitorizarea stării funcționale a turbinelor eoliene, variind de la instrumente convenționale de monitorizare a stării până la monitorizarea bazată pe modele de învățare automată și utilizarea tehnicilor de procesare „*big data*” pentru întreținerea predictivă, de exemplu [48, 50-52].

Astfel, în [48] este prezentată o trecere în revistă cuprinzătoare cu privire la tipurile de modele de mentenanță predominante în industria eoliană și nivelurile de luare a deciziilor cu scopul de a determina momentul potrivit în care trebuie efectuată întreținerea, dar fără a interveni înainte de a fi necesar. De asemenea, sunt analizate aspectele care se referă la reducerea întreruperilor, creșterea duratei de viață utilă a echipamentului, îmbunătățirea fiabilității și minimizarea costurilor. În mod special, sunt analizate modelele aplicate la nivel operațional pentru detectarea, diagnosticarea și predicția defecțiunilor turbinelor eoliene, inclusiv modele de învățare automată și de raționament aproximativ. În ciuda varietății semnalelor obținute de la senzori, totuși predomină utilizarea analizei vibrațiilor, deoarece nu numai că vibrația este produsă în toate componentele turbinei - de la pale până la turn, dar, de asemenea, oferă predictibilitatea eșecurilor în funcționare. În plus, autorii trag concluzia că luarea deciziilor în toate domeniile producției de energie eoliană se bazează în prezent pe inteligență artificială și modele de învățare automată.

Analiza prezentată în [50] este focalizată asupra predictibilității funcționării rotoarelor și palelor turbinei, cutiilor de viteze și rulmenților, generatoarelor și electronicii de putere. A fost furnizat un inventar al tehnicilor de monitorizare a stării disponibile, de rând cu algoritmi de procesare a semnalelor. La fel ca în [48] analiza vibrațiilor este considerată cea mai populară tehnologie folosită în industria eoliană, în special pentru echipamentele rotative. Se menționează că în acest scop sunt necesari senzori diferiți pentru frecvențe diferite. În ceea ce privește aplicațiile, analiza respectivă este potrivită pentru monitorizarea cutiei de viteze și a rulmenților. De asemenea, utilizarea emisiei acustice devine treptat o metodă pentru monitorizarea stării componentelor rotative, inclusiv a palelor. Tehnicile de testare cu ultrasunete sunt utilizate pe scară largă pentru evaluarea structurală a turnurilor și palelor turbinelor eoliene. Imaginile obținute cu ultrasunete fac posibilă recunoașterea geometriei defectelor și estimarea dimensiunilor lor aproximative. Autorii notează că măsurarea deformării poate fi foarte utilă pentru prognoza pe durata vieții și pentru protejarea împotriva nivelurilor ridicate de stres în palele turbinei.

Lucrarea [51] analizează stadiul general și progresele viitoare în domeniu. Studiul acoperă evoluțiile recente referitor la instrumentele convenționale de monitorizare a stării bazate pe prelucrarea semnalelor, accentul fiind pus pe utilizarea tehnicilor de învățare automată. Este prezentată o analiză sistemică a metodologiilor de modelare bazate pe semnal și a celor bazate pe date, folosind abordări inteligente și de învățare automată, cu scopul de a oferi o evaluare critică a evoluțiilor recente în domeniu și a aplicațiilor acestora în diagnosticare, prognoză, evaluarea sănătății, respectiv în mentenanța predictivă a turbinelor eoliene. În special, se menționează că detectarea defecțiunilor în palele turbinei poate fi efectuată, în general, prin mai multe metode, inclusiv unde ultrasonice, măsurarea frecvenței în rezonanță, măsurarea vibrațiilor sau prin măsurare optică. În același timp, obiectivul principal este de a detecta deteriorarea palelor prin utilizarea diferitelor mecanisme de învățare. În concluzie, autorii studiului notează că realizarea unui diagnostic și predicții de înaltă fiabilitate rămâne o provocare. Prin urmare, este necesar să fie dezvoltate noi metode pe baza inteligenței artificiale, a învățării automate, pentru a îmbunătăți robustețea și acuratețea monitorizării stării turbinei eoliene.

O amplă analiză a modelelor de învățare automată privind predictibilitatea în domeniul energie regenerabile este dată în [52]. În plus, această lucrare descrie proceduri, inclusiv tehnici de preprocesare a datelor, algoritmi de selecție a parametrilor și măsurători ale performanței, utilizate în modelele de învățare automată pentru asigurarea unei predictibilități sustenabile în funcționarea eoliene. Sunt prezentate și câteva posibile direcții viitoare de cercetare în domeniul respectiv.

Este de remarcat invenția [15], care furnizează sisteme, metode și tehnici pentru a monitoriza turbinele eoliene, asigurându-se detectarea deteriorării uneia sau mai multor componente, cum ar fi deteriorarea palelor. Deteriorarea care apare pe suprafața superioară, dar și în materialul corpului palei rotorului, este semnalată deja în momentul formării. Tehnicile propuse pot utiliza senzori acustici dispuși în cavitațiile de aer ale uneia sau mai multor pale pentru a detecta semnalele acustice sau energia acustică cauzată de impacturi corozive (de exemplu, vânt, praf, ploaie, grindină, fulgere etc.) asupra turbinei eoliene. Informațiile asociate cu semnalele acustice pot fi prelucrate de un procesor, care este utilizat pentru a determina dacă una sau mai multe pale au fost deteriorate.

Soluția de lucru a invenției [53] este furnizată de Senzoria™ [54]. Este de fapt un monitor de la distanță al palelor rotorului, care detectează și raportează distrugerii în timp real, inclusiv fisuri, lovituri de fulgere, rupturi și perforații (inclusiv cele cauzate de eroziunea de vârf/margine) și multe altele. Prin trimiterea de alerte imediate către operatori, sistemul le permite să maximizeze timpul de funcționare a palei și capacitatea de generare, prevenind în același timp agravarea distrugerilor.

Principalele obstacole cu care se confruntă proiectanții sistemelor de monitorizare a stării funcționale pentru turbine eoliene continuă în mod evident să fie: selectarea numărului și tipului de senzori, selectarea metodelor eficiente de procesare asociate cu senzorii selectați, respectiv proiectarea unui model performant [50, 55, 56]. Trebuie notat în mod special că cei mai răspândiți senzori au dezavantajul de a fi îngreunată sau chiar imposibilă utilizarea lor pe componentele rotative cum ar fi palele turbinei eoliene. Prin urmare, devine impetuos de necesar să se ia în considerare senzorii fără contact în domeniul de studiu.

În final, pot fi trase următoarele concluzii:

- Fiabilitatea turbinelor eoliene este un subiect multidisciplinar fierbinte.

- Utilizarea senzorilor de deformare poate fi utilă în prognozarea duratei de viață și pentru protejarea împotriva nivelurilor ridicate de deformații, în special în palele turbinelor eoliene.

- Există o necesitate evidentă de soluții fiabile pentru monitorizarea fără contact a palelor turbinelor eoliene.

- Indiferent de tehnica utilizată, capabilitățile unui sistem de monitorizare a stării se bazează pe numărul și tipul de senzori și pe metodele de procesare utilizate pentru a extrage informații importante din semnalele obținute.

- Asigurarea calității diagnosticului și a unei predictibilități înalte a funcționării turbinelor eoliene rămâne o provocare. Prin urmare, este necesar să se dezvolte noi metode prin intermediul tehnicilor de învățare automată pentru a îmbunătăți capabilitățile sistemelor de monitorizare a stării funcționale a turbinelor eoliene.

3.3. Metode de optimizare a funcționării sistemului hibrid eolian-solar

3.3.1. Noțiuni generale

Una din cele mai comune aplicații a energiei alternative este alimentarea cu energie electrică a consumatorilor izolați: a unei case de vacanță sau cabană, a unui motel sau altor obiecte sociale, aflate într-o zonă fără acces la rețeaua publică. Tot mai mult se vorbește despre casele inteligente, care asigură o balanță armonioasă între consumul și producerea energiei. Un interes deosebit sub aspectul optimizării funcționării sunt sistemele hibride. Pentru asigurarea completă a necesităților în energie electrică deseori se folosesc sisteme hibride integrate într-un sistem energetic complex, care include atât sisteme de conversie a energiilor regenerabile (eoliană, solară, termală, biomasă, hidrogen etc.) cât și sisteme convenționale de energie (stații diesel, de gaz etc.). Integrarea poate fi efectuată pe două căi: integrarea într-un sistem energetic unic a câtorva sisteme de conversie a energiei regenerabile (eoliană, hidrolică, solară etc.); crearea unor instalații energetice cu funcționare mixtă (de exemplu, axul principal, care este legat cu generatorul de curent electric, este antrenat simultan de o turbină eoliană și una hidrolică). Folosirea lor combinată este întotdeauna posibilă.

Sistemele hibride sunt sisteme care combina mai multe tipuri de generatoare de energie electrică. Cele mai folosite sisteme ce realizează un ansamblu hibrid sunt sistemele solare, sistemele eoliene și grupuri electrogen (generatoarele diesel). Sistemele hibride pot fi conectate la rețea (așa numitele sisteme on-grid) (fig. 3.1) sau sunt separate, neconectate la rețea (sisteme of-grid) (fig. 3.2).

Firma GECOI din Germania împreună cu experți de la Institutul German de Energie Eoliană (DEWI) și Lahmeyer International (LI) au

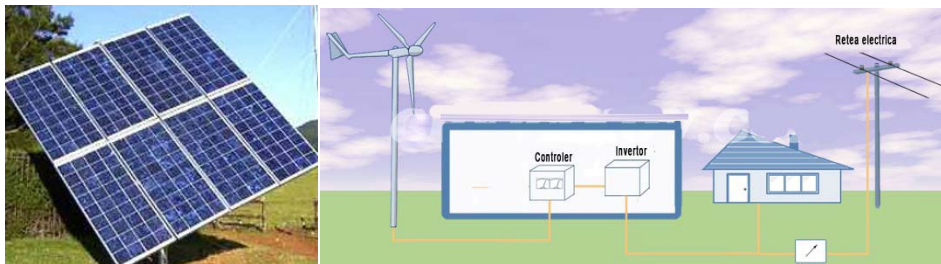


Fig. 3.1. Sistem eolian conectat la rețea (on-grid).

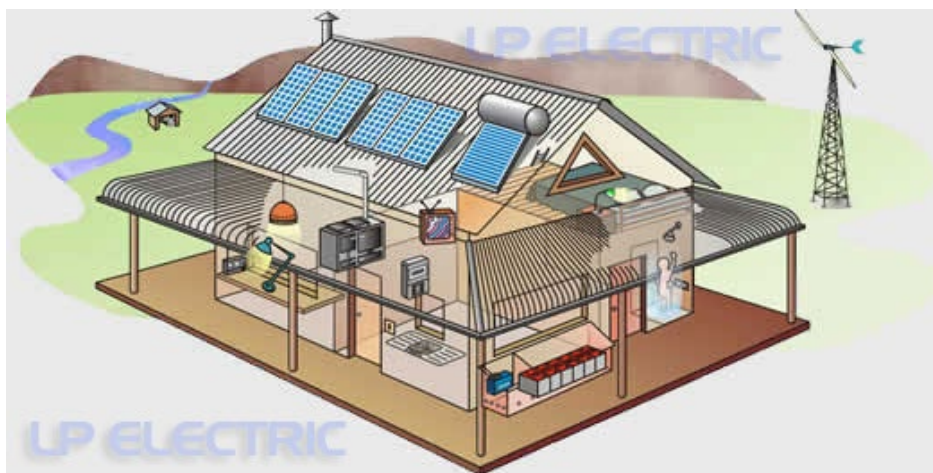


Fig. 3.2. Modelul unei case moderne inteligente cu un sistem complex de asigurare energetică.

elaborat o instalație experimentală de desalinizare a apei de mare revărsate din Marea Mediterană pe coasta Libiei alimentată cu energie electrică din surse regenerabile și din rețea pentru alimentarea cu apă potabilă a unui sat. Turbina eoliană cu puterea de 200 kW și sistemul fotovoltaic cu puterea de 50 kW sunt conectate la rețea. Sistemul permite reducerea anuală a consumului de energie din rețea cu apr. 40% [57].

Majoritatea sistemelor hibride sunt sisteme off-grid, adică nu sunt conectate la rețea, având acumulatori în componența lor. Aceste sisteme sunt folosite în zone izolate unde conectarea la rețeaua electrică este imposibilă sau foarte scumpă.

Sistemele hibride au capacitate limitată din cauza generatoarelor de energie electrică instalate și a capacității acumulatorilor. Dimensiunea sistemului de acumulatori poate să fie foarte mare, până la 100000Ah, numai că prețul este destul de mare. Din acest motiv se dorește o eficientizare a producției și a consumului de energie electrică. Utilizatorii unui sistem off-grid trebuie să învețe să folosească eficient sistemul de energie electrică în intervalul acestor limitări. În fig. 3.2 [58] este prezentat modelul unei cabane moderne, ale cărei necesități energetice sunt satisfăcute de un sistem complex integrat, bazat pe utilizarea energiilor hidroenergetică, eoliană și solară. O cabană modernă, un motel amplasat într-un loc greu accesibil, sunt greu de imaginat fără frigider, televizor, iluminare,

apă caldă, o combină muzicală, un cuptor cu microunde și alte elemente indispensabile ale unui confort la nivelul cerințelor actuale.

În fig. 3.3 se prezintă diagrama de bază a unui sistem energetic individual pentru casă, cabană, motel, etc., bazat pe utilizarea energiilor hidraulică, solară și eoliană.

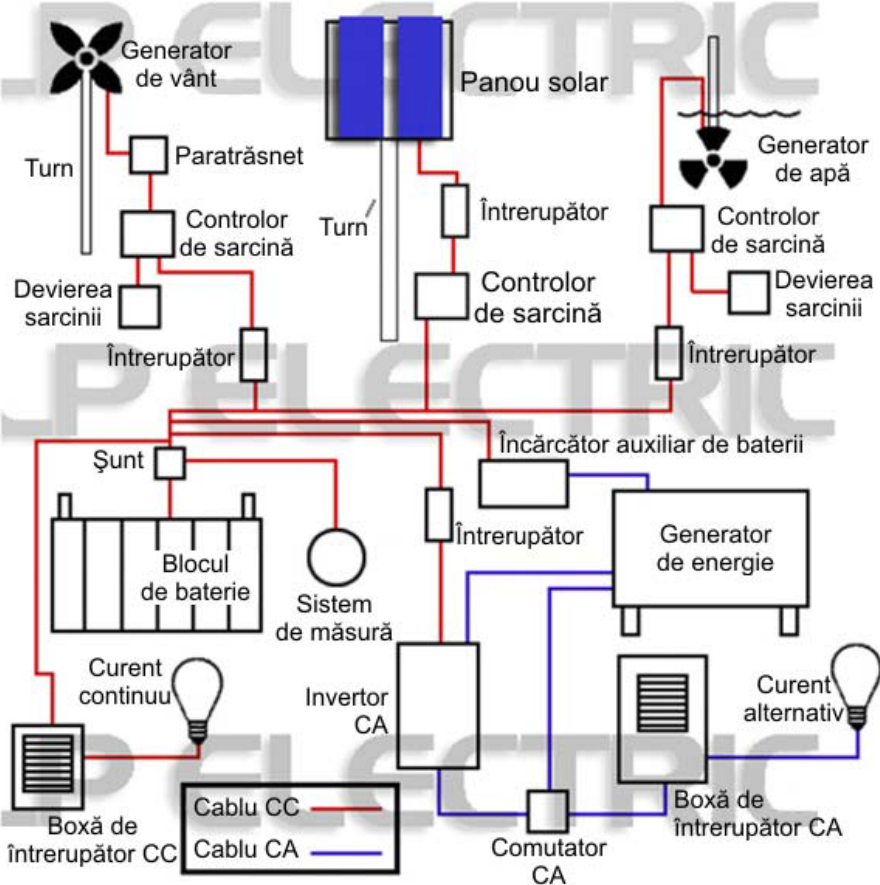


Fig. 3.3. Diagrama de bază a unui sistem individual pentru casă, cabană, etc.

În continuare vor fi analizate unele sisteme hibride produse de diverse firme și lansate pe piață. Unul dintre cele mai răspândite sisteme hibride sunt sistemele eolian - solare și reprezintă sisteme urbane utilizate, în special, pentru iluminarea străzilor, alimentarea cu energie electrică a consumatorilor individuali etc. În fig. 3.4 [59] este prezentat un sistem hibrid eolian-solar (din seria cu gama de puteri de la 400 W până la 1800 W) cu puterea generată de la 1800W, produsă de compania CLC Solar



Fig. 3.4. Sisteme hibrid eolian-solar pentru iluminarea spațiilor deschise.

Wind Energy – Africa de Sud. Prețul variază de la cca 1800 Euro până la cca 6000 Euro.

Sistemele hibride pot include două sau mai multe componente de același tip, conectate la același sistem de dirijare. În fig. 3.5 este prezentat un sistem hibrid constituit din două turbine eoliene conectate la același sistem de monitorizare a consumului de energie. Numărul turbinelor eoliene poate fi mai mare, formând așa numitele parcuri eoliene. Însă acestea, de regulă sunt conectate la rețea (on-grid). În cazul când nu este vânt sau este nevoie de o

Set hibrid de alimentare – 1800 W

1. Turbină eoliană 1500 W.
 2. Panou fotovoltaic 320 W.
 3. Controler hibrid de încărcare cu dumping.
 4. Turn (6 m) cu pivot (2 m).
 5. 4 baterii deep cycle 102 Ah.
 6. Invertor 24/220 V 1500 W.
 7. Boxă pentru baterie, invertor și controler, cu priză 220 V.
- Preț: 6065 €.

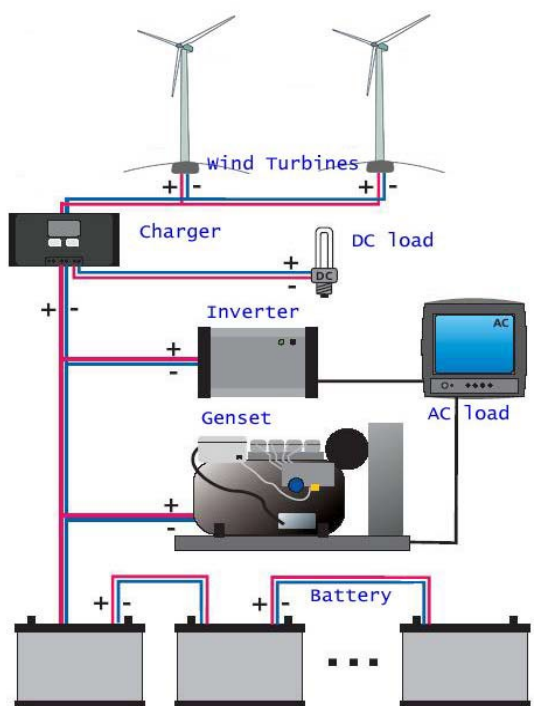


Fig. 3.5. Sistem hibrid eolian cu monitorizarea consumului.

putere adițională se utilizează un generator suplimentar (de ex. Grupuri electrogene ș.a.).

Pentru alimentarea mai sigură a consumatorilor cu energie electrică se utilizează sisteme hibride cu un grad de complexitate mai înalt, care includ trei sau chiar patru surse autonome de energie electrică. În fig. 3.6 sunt prezentate două sisteme hibride „eolian-solar-grup electrogen”.

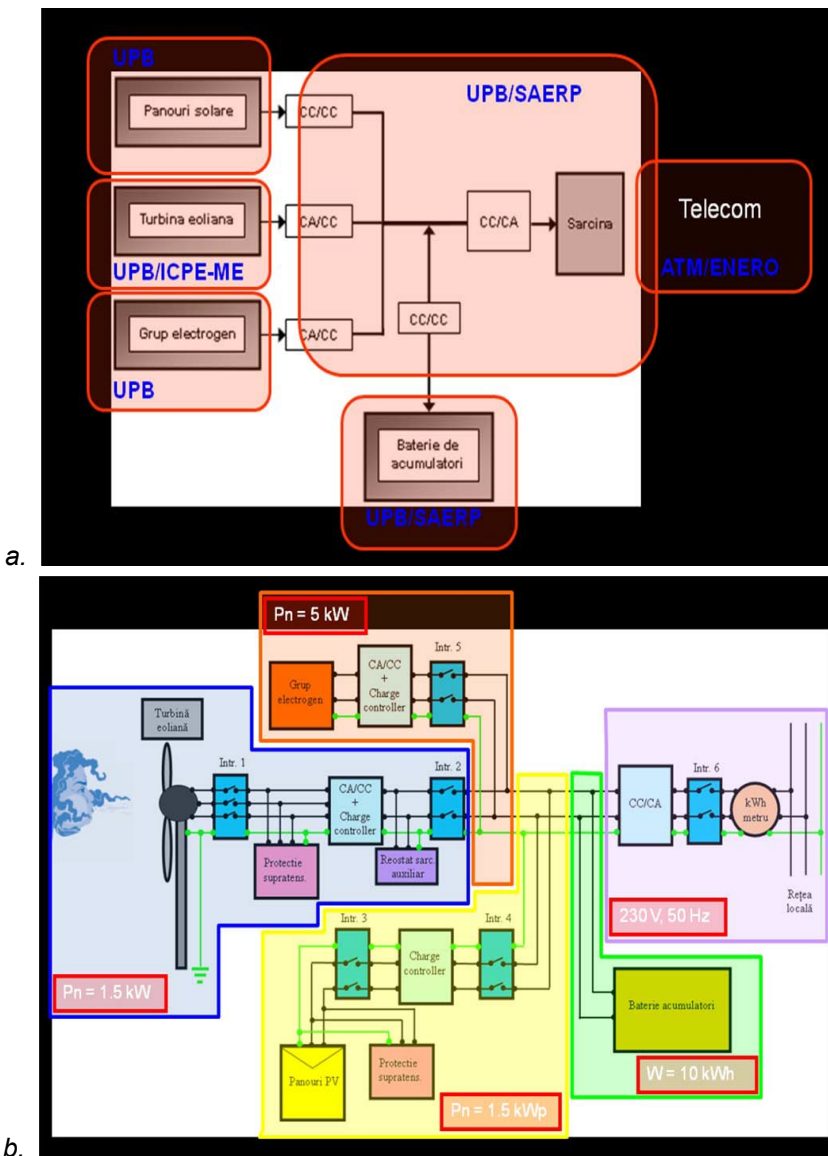


Fig. 3.6. Sistem hibride „eolian – solar – grup electrogen”: scheme de operare.

3.3.2. Algoritmi și scenarii

Pe parcursul ultimelor decenii au fost dezvoltati un număr mare de algoritmi pentru rezolvarea diverselor probleme de optimizare a sistemelor hibrid. Factorul major comun în algoritmi euristici elaborați este de a îmbina normele prestabilite și a imita perfect fenomenele naturale [60].

Căutare armonioasă. În esență, căutarea armonioasă (CA) este o tehnică de optimizare meta-euristică nouă, care utilizează procesul de improvizare a muzicii unde muzicantul improvizează coardele instrumentului său, căutând o stare perfectă de armonie [61]. Întrucât instrumentele muzicale sunt redade cu anumite note discrete muzicale în funcție de experiența muzicianului sau arbitrariul unui proces de improvizație, variabilele de proiectare pot avea anumite valori discrete în conformitate cu inteligență computațională sau arbitrariul în procesul de optimizare. În timp ce muzicienii îmbunătățesc experiența lor în baza unui standard artistic, variabilele de proiectare din memoria calculatorului pot fi bazate pe funcția obiectivă.

Sistem test de simulare. În acest algoritm este simulată o aplicare a unui sistem hibrid eolian-solar. Sunt înregistrate datele anuale privind viteza vântului și ale radiației solare. Exemple de înregistrare a vitezei anuale a vântului la înălțimea de 15 m și curbele verticale / orizontale ale radiației solare sunt reprezentate în fig. 3.7 și fig 3.8. Fig. 3.9 ilustrează un model al graficului încărcării anuale a consumatorului cu sarcina de vârf

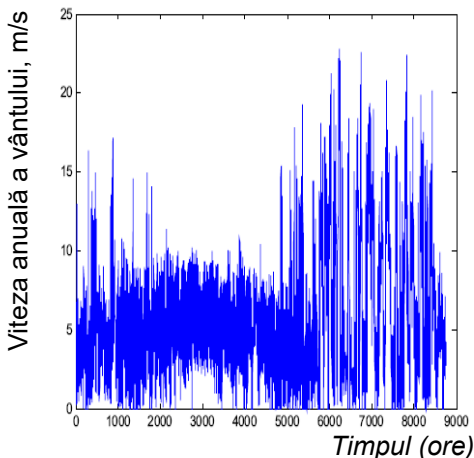


Fig. 3.7. Caracteristicile vitezei vântului.

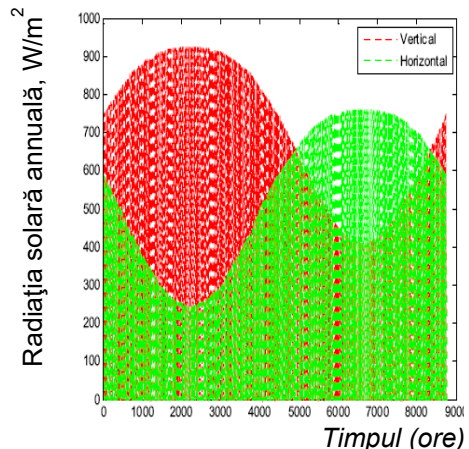


Fig. 3.8. Radiația solară anuală verticală și orizontală.

de 50 kW. De asemenea, costul de încărcare - reducere este considerat a fi 5.6 \$/kWh. De asemenea, au fost dezvoltate metode pentru evaluarea avantajelor sistemelor hibride eoliene - fotovoltaice pentru utilizarea în diverse cazuri.

Combinatia optimă a energiei eoliene și fotovoltaice cu sau fără rezervă de combustibil fosil pentru grupul electrogen depinde de eficiența subsistemului individual. În acest scop a fost elaborat un soft pentru a calcula dimensiunile optime ale

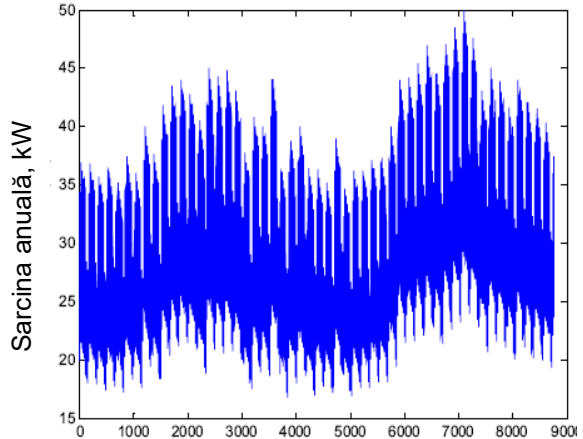


Fig. 3.9. Model de încărcare anuală.

subsistemului, care să minimizeze nivelul de cost al energiei. Avantajele reale ale unui sistem hibrid eolian-solar depinde de mulți factori: profilul de încărcare, regim de vânt, expunere la soare, costul și disponibilitatea de putere de rezervă, costurile relative ale zonei cu potențial eolian, zona de depozitare, precum și factorii de eficiență a subsistemului. Exemple de sisteme hibride fotovoltaic și eolian optimizate estimate pentru o serie de costuri și costurile de depozitare sunt afișate pentru statul Nevada în cazul, în care puterea de rezervă este permis să furnizeze 5% din sarcina anuală totală.

Problema este de a găsi modalitatea cea mai rentabilă pentru a se potrivi cererea cu oferta. Cererea, adică profilul de sarcină, poate fi o funcție de momentul zilei și / sau anotimp al anului. Fiecare dintre sursele de aprovizionare, adică a energiei eoliene disponibile și radiației solare, variază în funcție de ora zilei și anotimpul anului. În general, deseori cererea nu coincide cu oferta. Acest dezechilibru poate fi compensat prin includerea elementelor de acumulare a energiei în sistem. Factorii de bază într-un sistem hibrid sunt după cum urmează:

- parametrii de proiectare a subsistemului (de exemplu, unghiul de înclinare de matricea PV se intersectează cu curba de viteze ale vântului a turbinei eoliene);

- dimensiunile relative ale subsistemul (adică, a turbinei eoliene, subsistemului fotovoltaic și subsistemului de depozitare);
- costurile relative ale subsistemelor (de exemplu, $\$/m^2$ al panourilor fotovoltaice $\$/m$ al rotorului eolian și $\$/kWh$ al sistemului de acumulare);
- site-ului (de exemplu, variațiile diurne și sezoniere ale radiației solare și a vitezei vântului);
- profil de sarcină (de exemplu, diurne și sezoniere).

Abordarea: A fost dezvoltată abordarea pas-cu-pas:

1. A fi selectați parametri de proiectare ai subsistemului și specificat site-ul. Apoi pot fi calculate producerea normalizată de energie electrică pe oră de către turbina eoliană sau sistemul fotovoltaic, independent de sarcină.

2. A fi specificat profilul de sarcină. Apoi pot fi calculate dimensiunile relative ale subsistemelor eolian și fotovoltaic, care oferă cele mai bune variante ale profilului de sarcină și evaluate avantajele sistemului hibrid pentru site-ul specificat.

3. Optimizarea sistemului, luând în calcul costurile relative ale subsistemului. Dimensiunile relative calculate ale subsistemului pe baza criteriului de încărcare-potrivire oferă un mijloc pentru a face o primă estimare a sistemului optim.

În continuare se prezintă simularea unui profil al cererii de încărcare pentru 24 de ore (fig. 3.10). Datele meteo au fost obținute din evidențele on-line ale stației meteo de la Deer Lodge, Montana, afiliat la Cooperativa

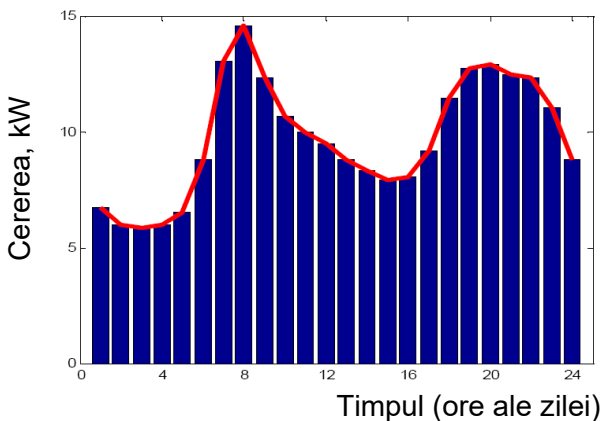


Fig. 3.10. Profilul cererii de sarcină pe durata a 24 ore pentru stadiul de simulare a sistemului.

Pacific Northwest, Rețeaua Meteo Agricultură (Agrimet) [62].

Scenariul de iarnă. și de vară. Date meteorologice. Datele meteo pentru simulare scenariul de iarnă au fost colectate într-o zi pe durata lunii februarie 2006, iar a

celui de vară – luna iulie. Datele au fost colectate pentru viteza vântului la înălțimea de 2 m. Datele au fost corectate pentru viteza vântului la înălțimea axei rotorului turbinei (presupuse a fi de 40 de metri) [63, 64]. Figura 3.11 prezintă datele corectate pe oră ale vitezei vântului pe perioada de 24 de ore pe zi, scenariul de iarnă, iar în fig. 3.12 – scenariul de vară. Datele iradierii solare orare, colectate în aceleași zile de iarnă și de vară, sunt prezentate în figurile 3.13 și, respectiv, 3.14. Analiza diagramelor arată că viteza vântului este mai mare în perioada iernii, iar iradierea solară – în perioada verii. Luând în considerație aceste fenomene și analizând nivelul de consum de energie în perioada de iarnă și de vară poate fi efectuată optimizarea dimensională a subsistemelor eolian și

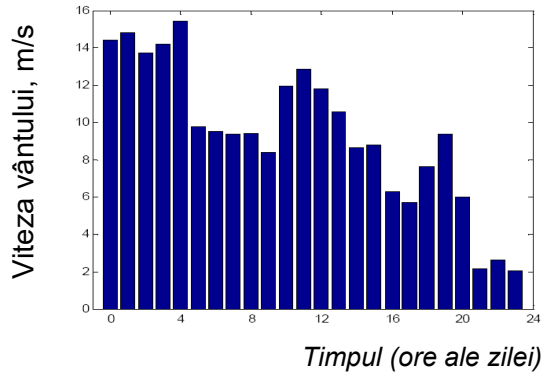


Fig. 3.11. Viteza vântului pentru studiul de simulare a scenariului de iarnă.

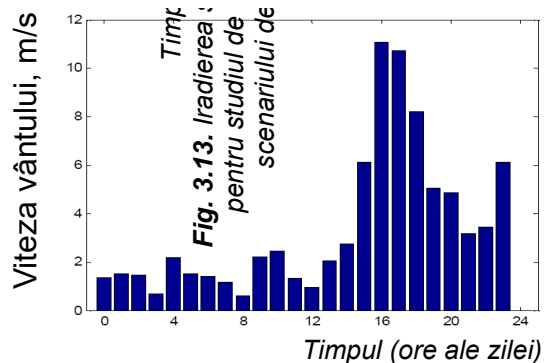


Fig. 3.12. Viteza vântului pentru studiul de simulare a scenariului de vară.

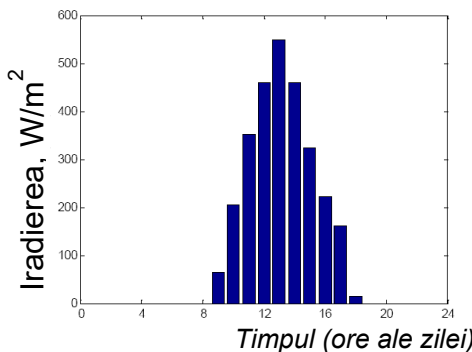


Fig. 3.13. Iradierea solară pentru studiul de simulare a scenariului de iarnă.

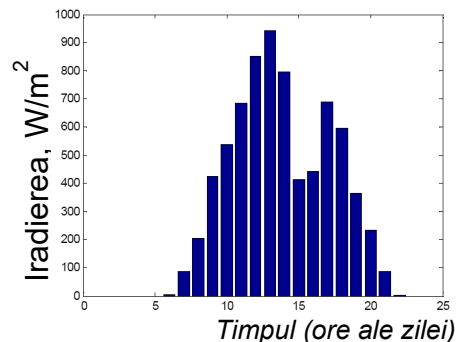


Fig. 3.14. Iradierea solară pentru studiul de simulare a scenariului de vară.

fotovoltaic al sistemului hibrid eolian-solar.

Din cauza caracteristicilor intermitente ale vitezei anuale a vântului și radiației solare, sarcina dificilă este de a proiecta un sistem hibrid eolian-fotovoltaic, care poate satisface cererea de energie electrică într-un mod fiabil, luând în considerare funcționarea asociată și costurile de investiție. Algoritmii elaborați și metodologiile de dimensionare optimă permit soluționarea parțială a acestei probleme.

3.3.3. Softul de optimizare HOMER

Un rol important în funcționarea eficientă a sistemului hibrid are optimizarea constructivă și funcțională a sistemului constituit din două sau mai multe subsisteme. Există diverse procedee de optimizare a funcționării eficiente a sistemelor hibride. Una din ele este crearea softurilor specializate de optimizare a puterii generate de către sistemul hibrid. În continuare se prezintă descrierea softului specializat HOMER (acronimul *Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) elaborat de firma Mistaya Engineering, Canada pentru Laboratorul Național de Energii Regenerabile (NREL) [65]. În figura 3.15 este prezentată interfața softului HOMER energy.



Fig. 3.15. Interfața simulatorului HOMER energy.

HOMER este un soft de optimizare a funcționării eficiente a sistemelor hibride autonome (microrețele) și celor conectate la rețea și permite simplificarea muncii de evaluare a unei game de modele diferite de sisteme. La proiectarea unui sistem energetic trebuie să fie luate multe decizii cu privire la configurația sistemului: componentele, care formează

sistemul, dimensiunea fiecărui component folosit etc. Numărul mare de opțiuni tehnologice, variația costurilor tehnologiei și disponibilitatea resurselor de energie fac aceste decizii dificile. Algoritmii de analiza și optimizare ai softului HOMER facilitează evaluarea mai multor configurații posibile ale sistemului energetic.

Având în vedere atât de multe variabile, sarcina de modelare va duce rapid la mii sau milioane de configurații diferite de sistem care trebuie luate în considerare. Cu un instrument de modelare a sistemelor de putere mică, o persoană poate simula toate aceste configurații simultan. Algoritmii de optimizare încorporați în HOMER vor clasifica ulterior rezultatele după preferințele stabilite de utilizator [66].

Analiza rentabilității sistemului hibrid turbina eoliana - panou PV a fost făcută cu ajutorul softului HOMER. Termenul de recuperare a investițiilor pentru sistemul hibrid este de aproximativ treizeci și trei de ani. La costurile curente, rețeaua electrică centrală este cea mai ieftină opțiune, dar ea nu poate fi disponibilă pentru multe gospodării rurale situate departe de aceasta. Prin urmare, este necesar de a alimenta aceste zone cu energie din surse izolate.

HOMER simulează funcționarea unui sistem prin efectuarea calculului de bilanț energetic și afișează o listă de configurații, sortate în funcție de costul net, care poate fi folosită pentru a compara design-ul sistemului.

Cum funcționează simulatorul de energie HOMER?

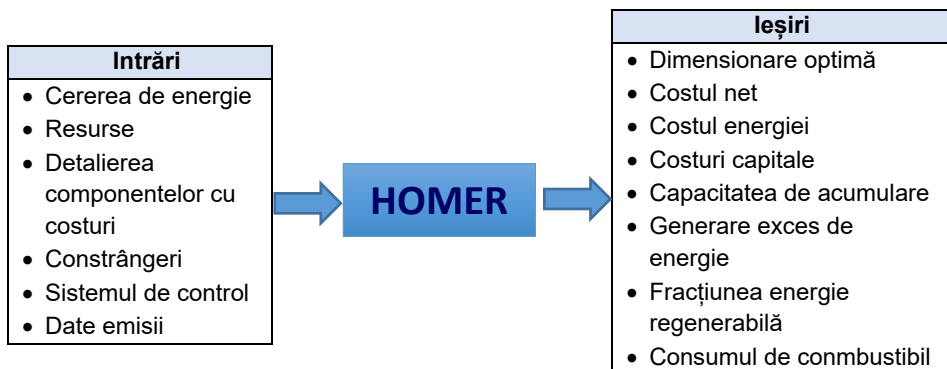


Fig. 3.16. *Prezentarea schematică cum funcționează simulatorul Homer/energy.*

Simulatorul de modelare energetică HOMER funcționează, făcând calcule de bilanț energetic pe oră pentru fiecare dintre cele 8760 de ore

dintr-un an. HOMER leagă cererea electrică de energia produsă de componentele unui sistem specific pentru fiecare oră. Dacă au fost puse la dispoziție o gamă de elemente și dimensiuni diferite, toate configurațiile posibile vor fi testate. Atunci când Sistemul include generatoare sau baterii alimentate cu combustibil, HOMER va rula algoritmi pentru a decide când să opereze generatorul și să încarce și să descarce bateriile. După ce toate configurațiile posibile au fost simulate, HOMER va returna toate configurațiile fezabile ale sistemului [67, 68].

În continuare se prezintă câteva secvențe din funcționarea simulatorului de energie HOMER. Orice simulare HOMER energy pornește de la determinarea necesităților zilnice ale consumatorului (fig. 3.16). Aceste date vor fi punctul de pornire a elaborării sistemului de producere a energiei. În fig. 3.17 se prezintă un caz particular al unui sistem hibrid „*eolian-fotovoltaic-electrogen*” pentru acoperirea necesităților energetice ale consumatorului. Se specifică cantitatea de energie electrică produsă de fiecare componentă a sistemului hibrid, inclusiv, producerea diurnă și lunară. Următorii pași de simulare sunt determinarea tuturor caracteristicilor celor două componente de energii regenerabile – eoliană și solară fotovoltaică. În fig. 3.18 este prezentată o secvență de calcul a radiației solare pe suprafețele orizontală (roșu) și verticală (galben), W/m^2 , iar în fig. 3.19 - calculul puterii generate (orare și anuale) a panourilor fotovoltaice. După colaborarea acestor date cu sarcina și încărcarea acumulatorilor (fig. 3.20), în baza radiației solare directe și difuze, cu considerarea indicelui de nebulozitate orar, sunt calculate curbele de putere ale panourilor fotovoltaice (fig. 3.21).

Apoi, în baza datelor calculate se construiesc diagramele de analiză climatică pe oră: radiația orizontală extraterestră, radiația directă și difuză și indicele de nebulozitate (fig. 3.22). În fig. 3.23 se prezintă o secvență a sarcinii electrice a sistemului fotovoltaic: profilul diurn și săptămânal, în baza cărora se calculează cota parte de sarcină asigurată lunar și anual de sistemul fotovoltaic (fig. 3.24).

În continuare, în mod logic se trece la argumentarea economică a variantei calculate a sistemului fotovoltaic, fiind efectuată analiza energie – cost. În fig. 3.25 este prezentată secvența de analiză lunară și anuală „*energie-cost*” a sistemului fotovoltaic calculat. Pentru asigurarea

necesităților consumatorului în perioadele când lipsește energia solară (de ex. în perioada de noapte) un element important al sistemului fotovoltaic este acumulatorul. În fig. 3.26 se prezintă starea de încărcare lunară a acumulatorului, fiind calculat în procente nivelul maxim, mediu și minim de încărcare pentru fiecare lună. Aceasta fiind ultima etapă de calcul a sistemului fotovoltaic.

O altă componentă a sistemului hibrid ales este turbina eoliană. Procedura de calcul a turbine eoliene este relativă mai simplă. Pentru calculul puterii generate este nevoie de a cunoaște viteza vântului. Astfel, în fig. 3.27 este prezentată o sevență a softului HOMER de analiză a resurselor eoliene: viteza vântului (medie lunară și anuală), fiind specificate condițiile: înălțimea de măsurare a anemometrului – 10m; coeficientul de distribuție Weibul – 2; factorul de autocorelare – 0,85; puterea modelului diurn – 0,25; ora cu viteză maximă a vântului – ora 15.

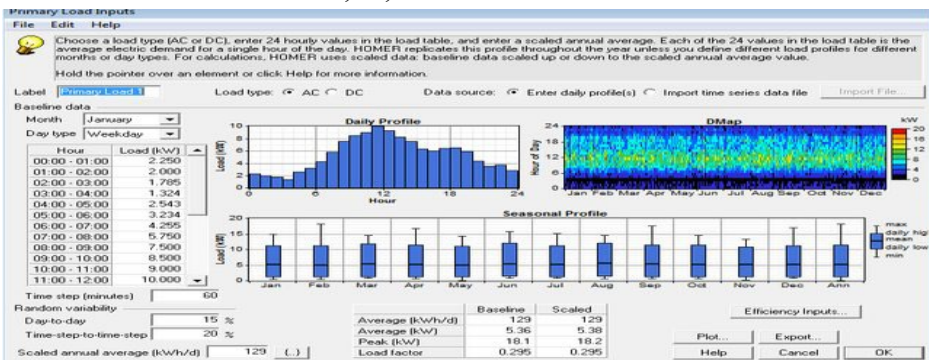


Fig. 3.16. Graficul varierii sarcinii unui consumator: zilnic și lunar.

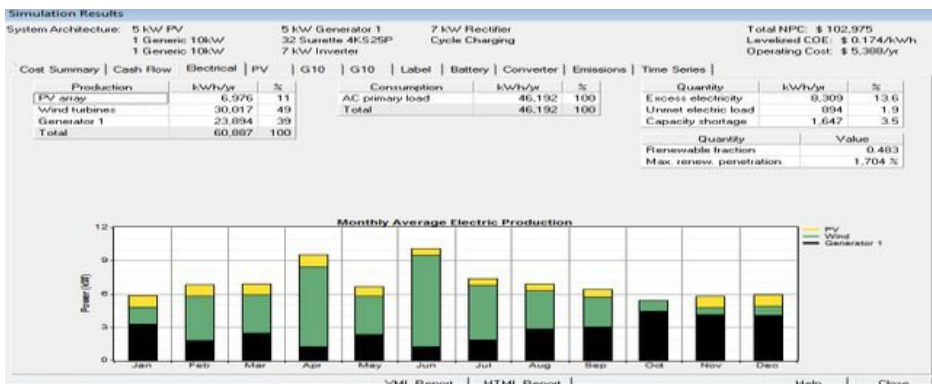


Fig. 3.17. Sistemul hibrid „eolian-fotovoltaic-electrogen” pentru acoperirea necesităților energetice ale consumatorului cu specificarea consumului pe ore și luni.

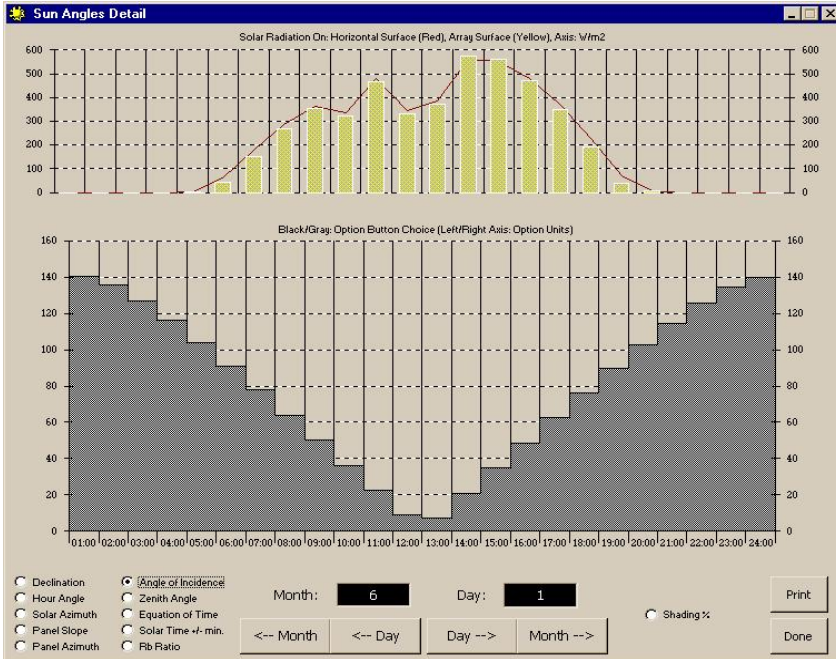


Fig. 3.18. Radiația solară pe suprafețele orizontală (roșu) și verticală (galben), W/m^2 .

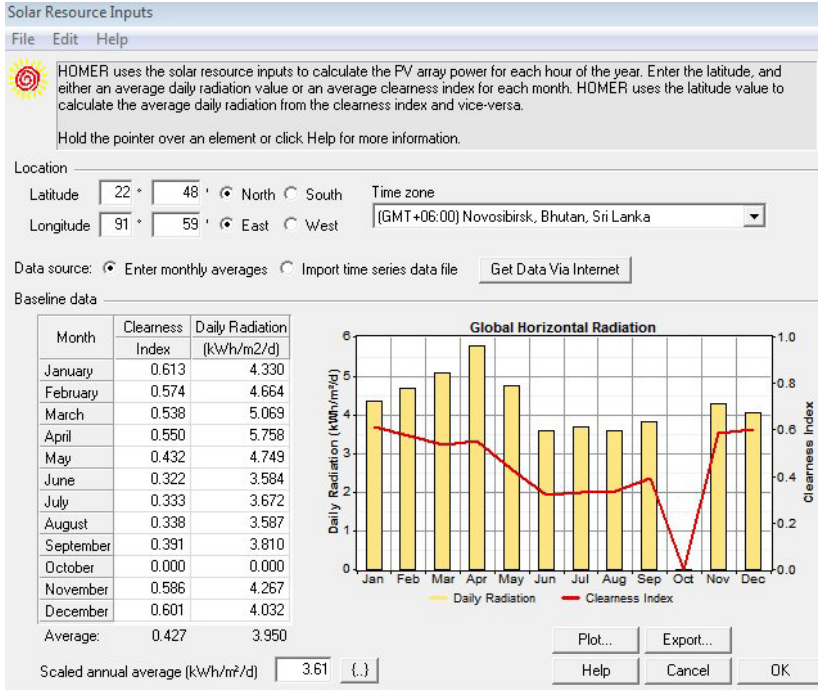


Fig. 3.19. Calculul puterii generate (orare și anuale) a panourilor fotovoltaice.

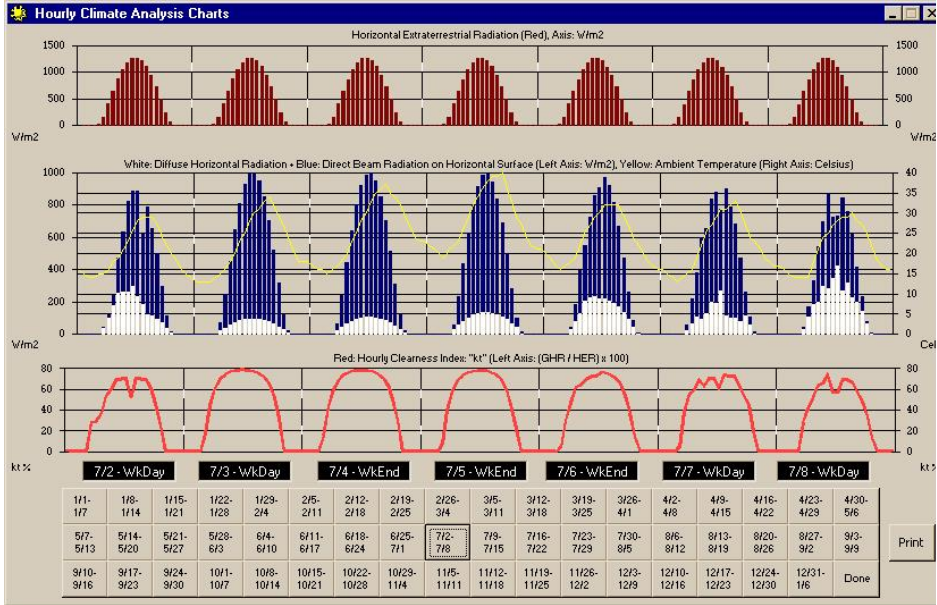


Fig. 3.22. Diagrame de analiză climatică pe oră: radiația directă, difuză și indicele de nebulozitate.

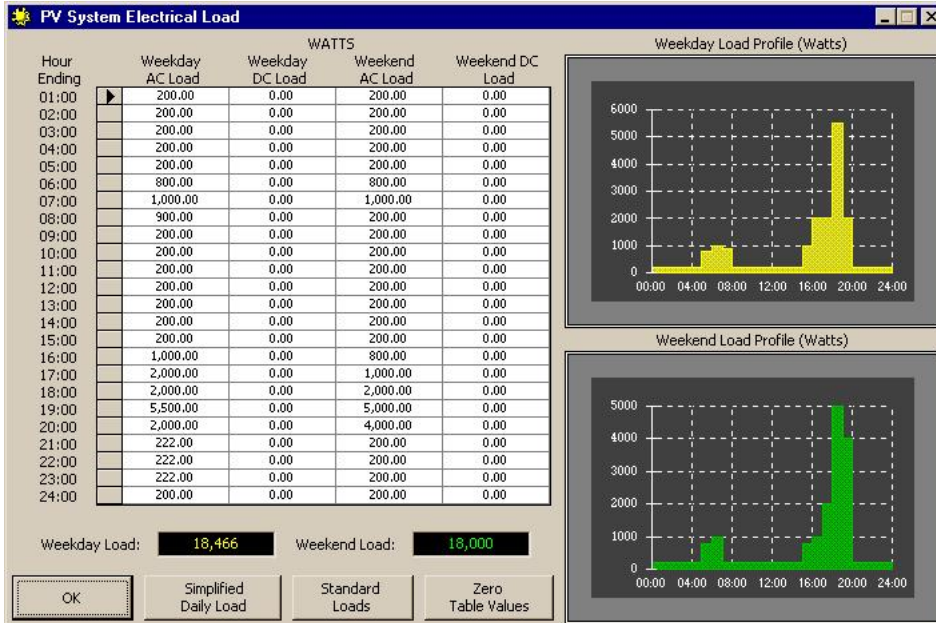


Fig. 3.23. Sarcina electrică a sistemului fotovoltaic: profilul diurn și săptămânal.

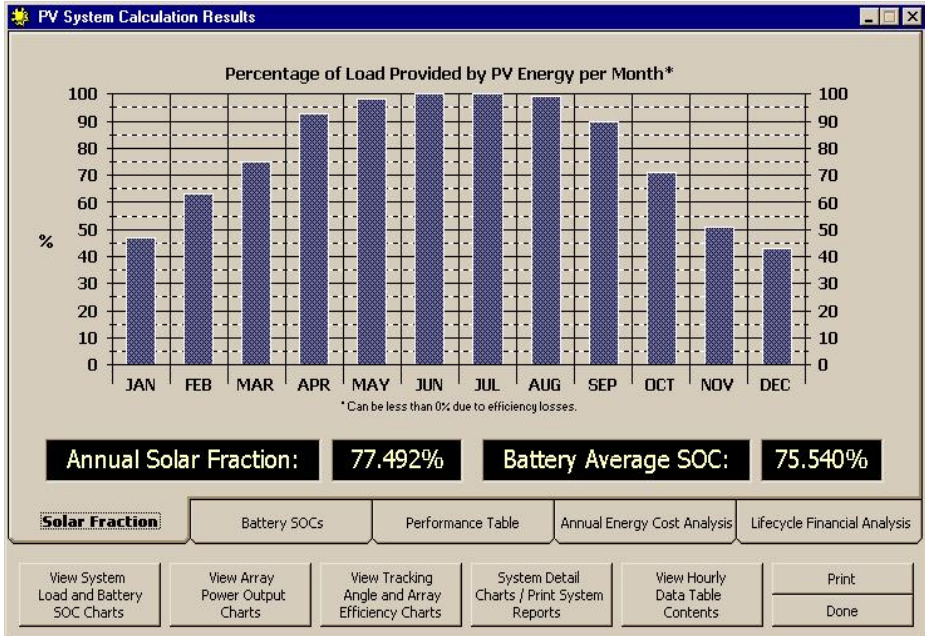


Fig. 3.24. Rezultatele calculului sistemului fotovoltaic: procentul de sarcină lunar și anual asigurat de PV.

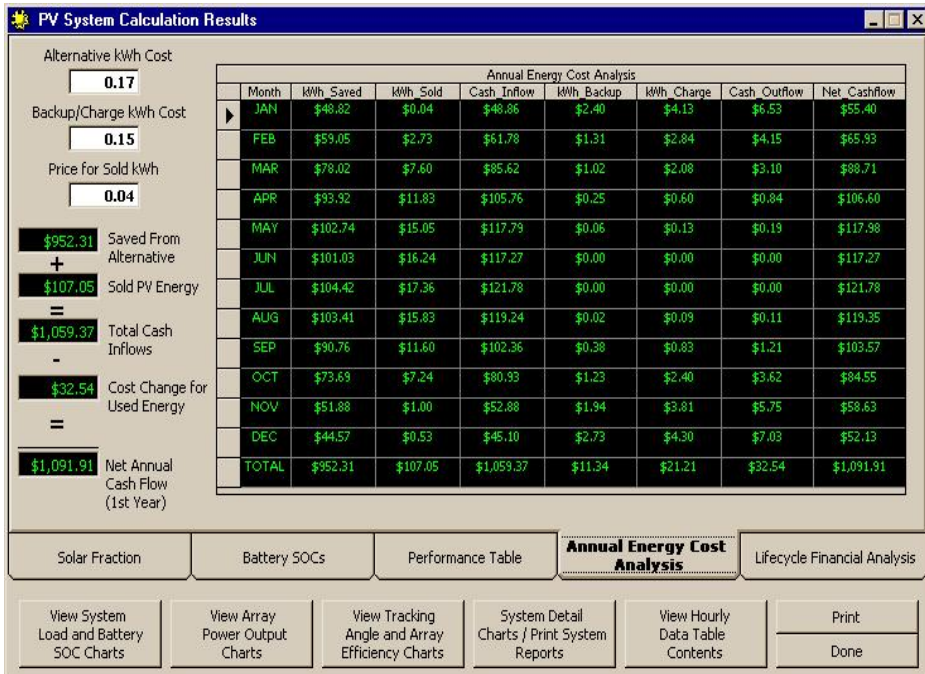


Fig. 3.25. Rezultatele calculului sistemului fotovoltaic: analiză anuală „energie-cost”.

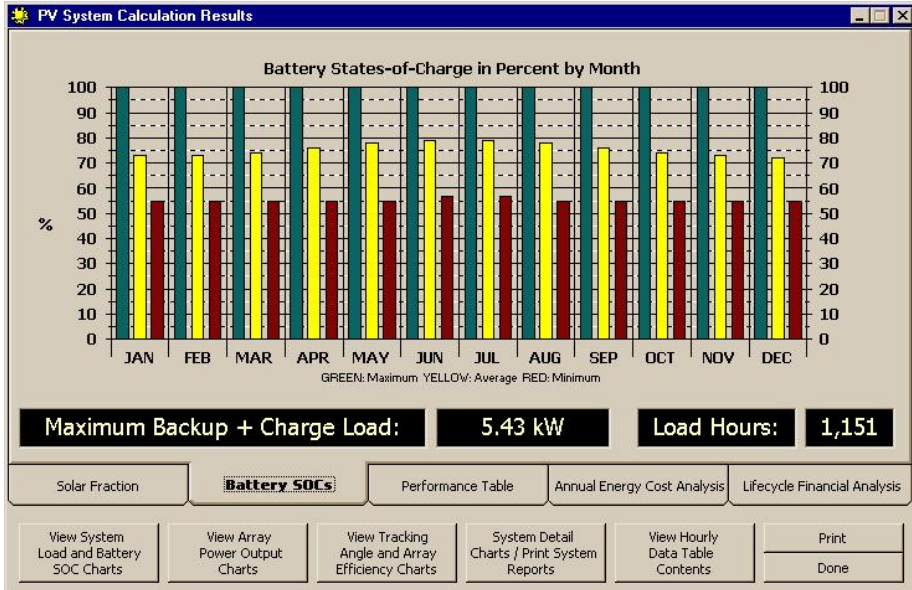


Fig. 3.26. Rezultatele calculului sistemului fotovoltaic: starea de încărcare lunară a acumuloarelor în procente.

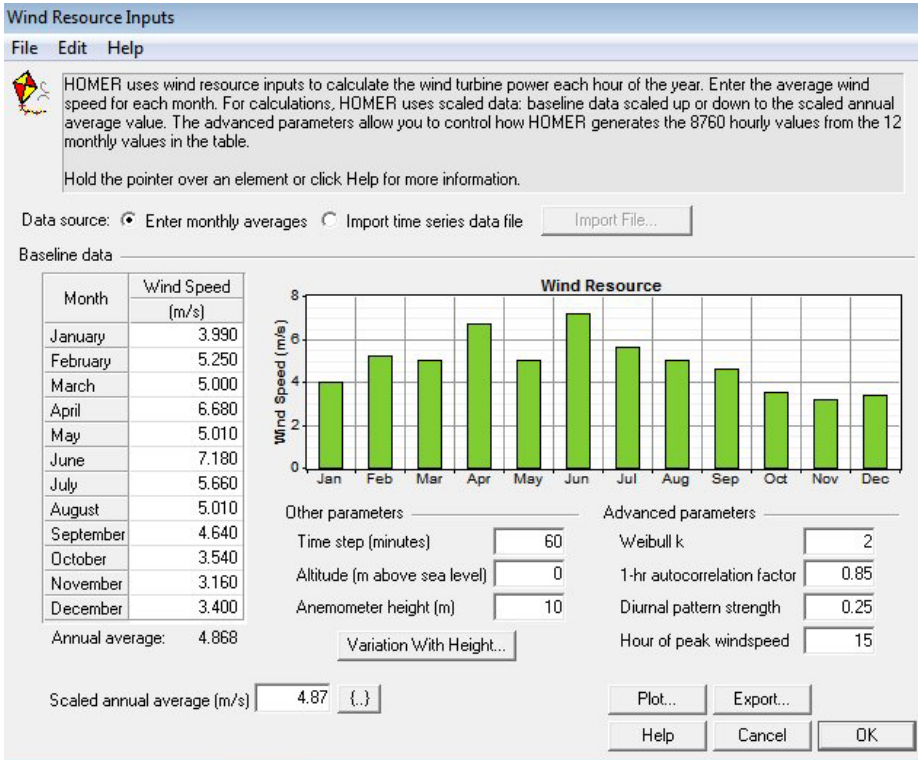


Fig. 3.27. Analiza resurselor eoliene: viteza vântului (lunară și media anuală).

Când se cumpără energie electrică din rețea, fiecare componentă de cost este plătită. Cu toate acestea, dacă un consumator dorește să-și vândă excesul de energie înapoi în rețea, poate obține o ofertă „*plusskunde*”, care îi permite să vândă până la 100 kW înapoi în rețea fără a se înregistra pentru o licență de comercializare a energiei sau a se înregistra ca și companie de rețea. Cu toate acestea, ea va fi plătită doar cu prețul energiei, iar companiile de rețea nu sunt obligate să răscumpere energie de la consumatori [69]. Similar se procedează și în Republica Moldova.

Problema principală apare atunci când un grup de clădiri doresc să producă energie local. Pentru a ilustra acest lucru, putem lua în considerare două clădiri cu proprietari diferiți. Le vom numi clădirea A și clădirea B. Clădirea A are o mulțime de suprafețe de acoperiș disponibile pentru instalarea panourilor fotovoltaice. Însă, deoarece este un depozit simplu, fără necesități de răcire, încălzire, iluminare nu este prea mare nevoie de energie atunci când producția de energie solară este maximă.

Pe de altă parte, clădirea B găzduiește o companie din industria grea, care poate folosi toată energia produsă de panourile fotovoltaice de pe acoperișul clădirii A, cu mai multă nevoie. Cu toate acestea, clădirea B este mult mai mică decât depozitul A, așa că nu își poate produce energia necesară din PV. Dacă clădirea A dorește să-și vândă surplusul de energie către clădirea B, ei își vor putea vinde electricitatea pentru o treime din ceea ce plătește clădirea B pentru aceasta. Vor fi plătiți atât de puțin pentru că două treimi din cost vor merge către taxe de rețea și alte taxe, deși sunt folosiți doar câțiva metri din rețea. Aici este marea provocare, Este nevoie de o modalitate mai flexibilă de a transfera și vinde energie electrică la nivel local între consumatori și producători, fără costuri redundante.

Să examinăm un caz specific modelat cu simulatorul HOMER: o microrețea a unei clădiri de birouri la o companie (fig. 3.28, [70]). Sarcina energetică a clădirii are următoarele caracteristici (tabelul 3.1):

Tabelul 3.1. Sarcina energetică a clădirii.

Pasul de timp în măsurare	1 oră
Consum mediu de sarcină (kWh/zi)	5761
Puterea medie de sarcină (kW)	240
Putere de sarcină de vârf (kW)	664
Luna de vârf a energiei electrice	Ianuarie

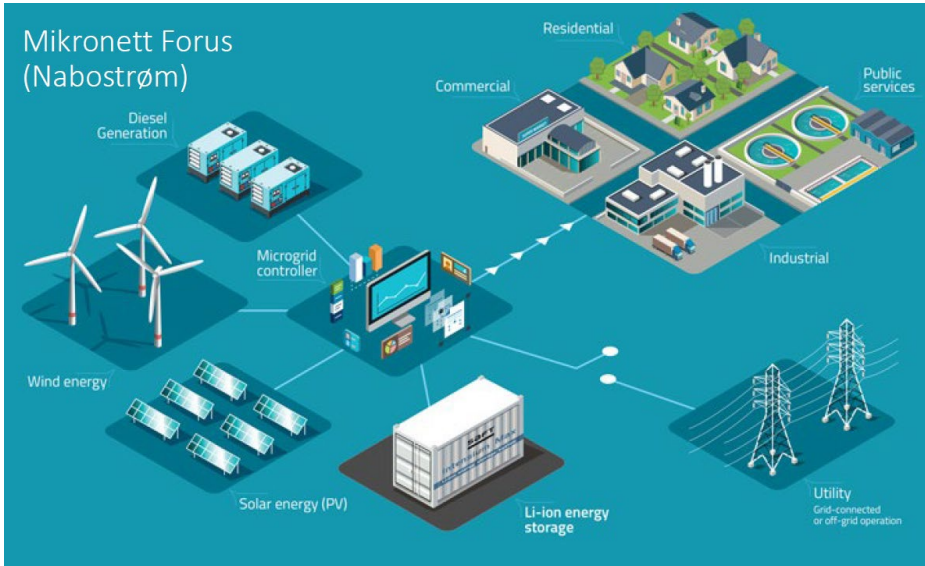


Fig. 3.28. Modelarea cu simulatorul HOMER energy a unei microrețele de alimentare cu energie electrică a unei clădiri de birouri.

3.3.3.1. Descrierea construcției unui sistem de generare a energiei

Sistemul include o turbină eoliană de 400W și un panou solar de 100W. Turbina eoliana și modulul solar sunt instalate pe acoperișul unei case (fig. 3.29). Această unitate servește ca o sursă de energie de rezervă. În interior sunt instalați inverterul și acumulatorii (fig. 3.30).



Fig. 3.29. Panoul PV și turbina eoliană.



Fig. 3.30. Convertorul și acumulatorii.

Date de încărcare. Datele de încărcare sunt bazate pe un local ipotetic și sunt afișate în figura 3.31. Pe tot parcursul zilei și nopții apare o sarcină de bază mică de 10W și seara apar salturi mici de 80W. Sarcina medie diurnă totală este 903W-ore pe zi.

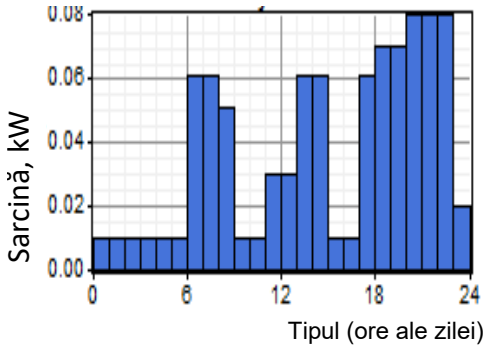


Fig. 3.31. Profilul încărcării diurne.

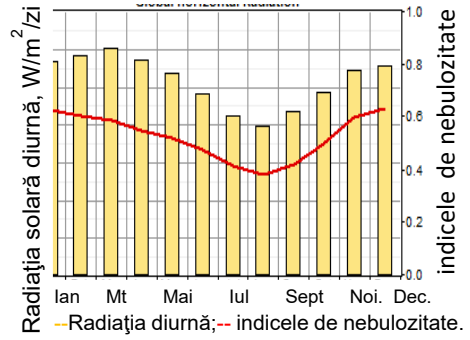


Fig. 3.32. Profilul radiației globale orizontale.

Profilul radiației solare. Figura 3.32 prezintă profilul resurselor solare timp de un an. Datele resurselor solare pentru locație au fost obținute de pe site-ul NASA (Meteorologie de suprafață și energie solară). Locația aproximativă a orașului este 8°26' N și 4°29' E. S-a constatat că intensitatea solară variază de la 550 W/m² până la 1075 W/m² cu energia incidentă totală pe zi de la 17 MJ/m² la 25 MJ/m².

Datele resurselor eoliene. Figura 3.33 prezintă profilul resurselor eoliene timp de un an pentru locație. Aceste date au fost obținute de pe site-ul NASA (Meteorologie de suprafață și energie solară). Viteza medie a vântului într-o zi este de 2,5 m/s măsurată la înălțimea anemometru de 14,9 metri deasupra nivelului solului

Analiza economică. A fost considerată rata anuală a dobânzii de 6%.

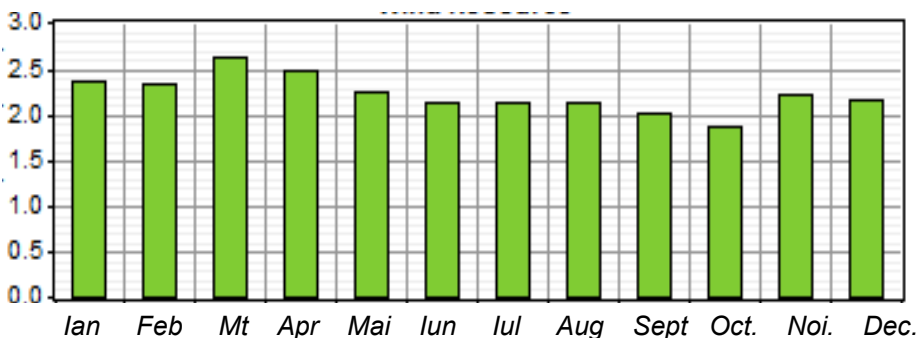


Fig. 3.33. Resursele eoliene în locație.

în timp ce durata de viață a sistemului a fost luată de circa 20 de ani. Tariful companiei furnizoare de energie electrica este de 0,024\$/kW·h.

Constrângerile sunt condițiile, pe care trebuie să le îndeplinească un sistem pentru a fi fezabil. HOMER respinge sistemele, care nu îndeplinesc restricțiile specifice, astfel încât acestea nu apar în rezultatul de optimizare sau de sensibilitate. Deficitul de capacitate maxim este setat la 5%. În final softul HOMER prezintă variantele de calcul a perioadei de consum.

3.3.3.2. Implementarea softului HOMER

Configurarea echipamentului de sistem. Figura 3.34 prezintă echipamentul pentru optimizare. Echipamentele considerate sunt celule solare fotovoltaice, turbina eoliană, convertorul, bateriile și sistemul de încărcare. Dimensiunea a componentelor în cauză, costul de achiziție, costul de înlocuire, costurile de funcționarea și de întreținere și durata de viață prevăzută sunt prezentate în tabelul 3.2 de mai jos ca date de intrare în software-ul HOMER.

Performanța sistemului

Sistemul PV. Costurile capitale și de înlocuire au fost specificate cu 7,50 \$/W. Pentru panourile PV nu a fost luat în considerare nici un cost de întreținere deoarece acestea nu necesită mentenanță. A fost considerat

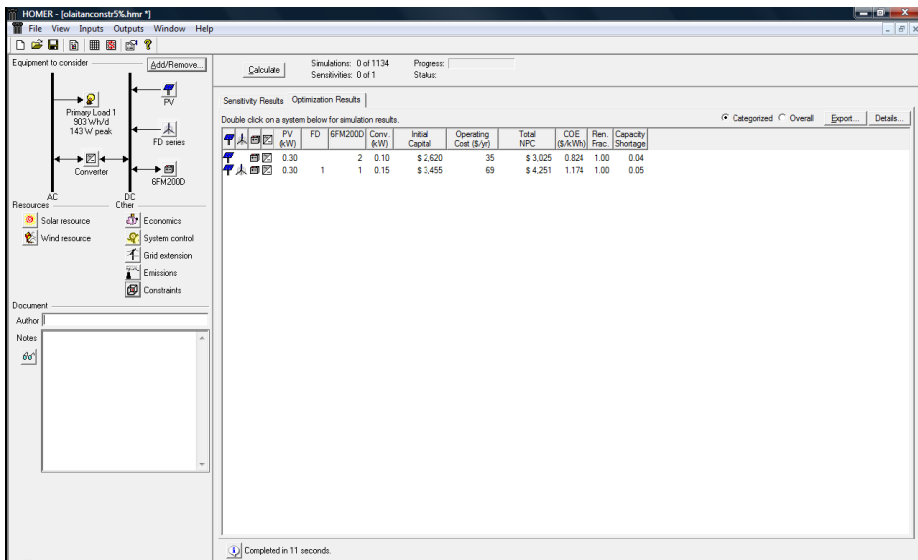


Fig. 3.34. Echipamentele considerate pentru optimizare.

Tabelul 3.2. Componentele sistemului.

Componentă	Dimensiune	Capital Cost (\$)	Înlocuire Cost	Operare& Mentenanța Cost (\$)	Durata de funcționare
PV Panels	0,05–0,4 kW	\$7,500/kW	\$7,500kW	0.00	20 ani
Vision6FM200D Baterie	200Ah/12V (dim. bloc 1-8 baterii)	\$175/baterie	\$175/battery	\$2,00/ an	917 kWh debit pe baterie
FDseries turbina eoliana	0,4 kW DC	\$2,500/kW	\$2,500/kW	\$10/ an	15 ani
Convertor	0,1– 1,5 kW	\$200/kW	\$200/kW	\$20/an	15 ani

factorul de declasare de 90% și 20 de ani durata de viață așa cum se arată în figura 3.35 de mai jos.

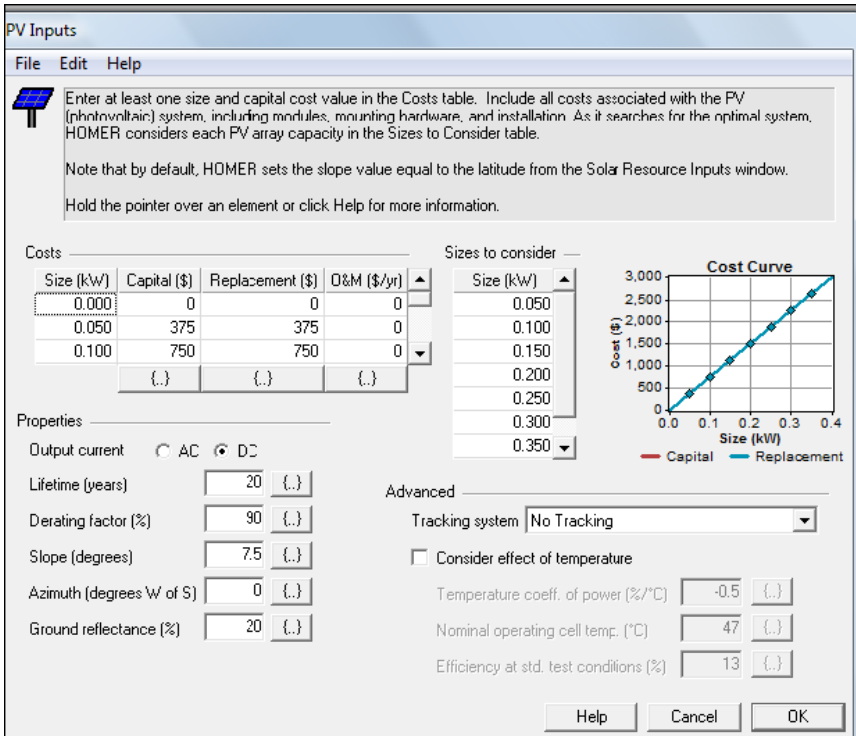


Fig. 3.35. Date de intrare pentru panoul PV.

Turbina eoliană. Pentru simulare a fost luată în considerare turbina eoliană seria FD, figura 3.36. Costurile de capital și de înlocuire au fost specificate la 2,50 \$. În baza calculelor a fost construit graficul curbei de putere funcție de viteza vântului și cel al curbei de cost.

Acumulatori. Bateria aleasă este de seria 6FM200D. Ea are o tensiune nominală de 12 volți și capacitatea nominală de 200Ah (2,4 kWh).

În figura 3.37 este prezentată analiza a două baterii.

Wind Turbine Inputs

File Edit Help

Choose a wind turbine type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include the cost of the tower, controller, wiring, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Turbine type: **FD series** Details... New... Delete

Turbine properties

Abbreviation: FD (used for column headings)
 Rated power: 0.4 kW DC
 Manufacturer: HuaihuaZhongke Hengyuan Energy Technology Co.,
 Website: www.made-in-china.com

Power Curve

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
0	0	0	0
1	1000	1000	10
	(.)	(.)	(.)

Sizes to consider

Quantity
0
1

Other

Lifetime (yrs) (.)
 Hub height (m) (.)

Cost Curve

Help Cancel OK

Fig. 3.36. Date de intrare pentru turbina eoliană.

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: **Vision 6FM2000** Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Vision Battery
 Website: www.vision-batt.com

Nominal voltage: 12 V
 Nominal capacity: 200 Ah (2.4 kWh)
 Lifetime throughput: 917 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
0	0	0	0.00
1	175	175	2.00
2	350	350	4.00
	(.)	(.)	(.)

Sizes to consider

Batteries
0
1
2
3
4
5
6
7
8

Advanced

Batteries per string (12V bus)
 Minimum battery life (yr) (.)

Cost Curve

Help Cancel OK

Fig. 3.37. Date de intrare pentru acumulatori.

Niveluri de încărcare. A fost examinată sarcina pentru o gospodărie tipică. Consumul include: 8-becuri, televizor, DVD, frigider, mașină de spălat, 4 ventilatoare și fier de călcat așa cum se arată în figura 3.38.

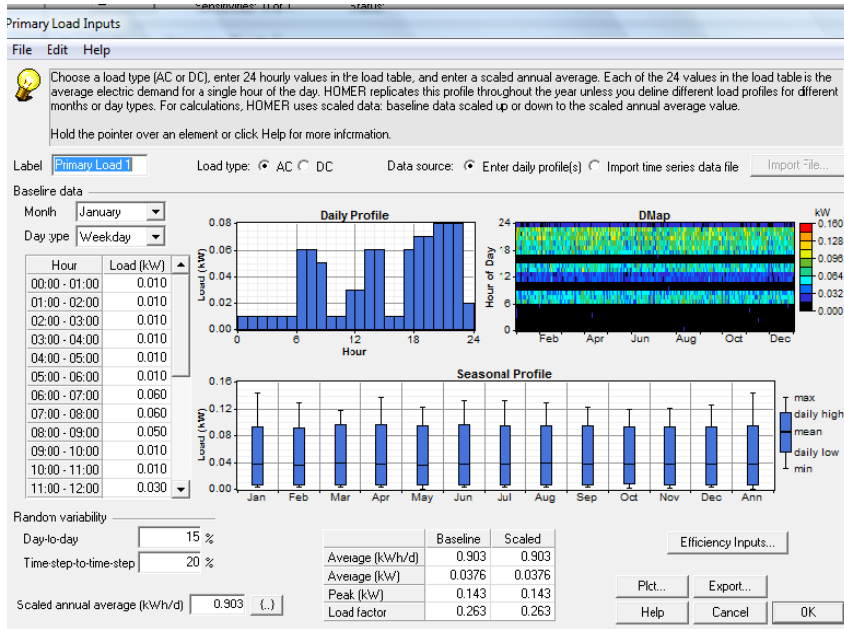


Fig. 3.38. Sarcina pentru o gospodărie tipică.

3.3.4. Optimizarea funcționării componentelor sistemului hibrid

3.3.4.1. Optimizarea sistemelor hibride

Pentru optimizarea sistemelor hibride diferite proceduri și tipuri de modelare a sistemelor hibrid [71], studii de performanță a sistemelor hibride, strategii de operare, analiza economică și studii de caz, sunt discutate în detaliu. Termeni tehnici de interes sunt prezentați în [72]:

Deficitul de probabilitate de alimentare: Deficitul de alimentare cu energie probabil (DAEP) este definit ca suma deficitului de putere generată de sistemul hibrid cu respectarea sarcinii totale anuale.

Excesul relativ de putere generată. Excesul relativ de putere generată (ERPG) pentru sistemul hibrid este definit ca raportul dintre excesul de putere generată totală anuală de sistemul hibrid într-un an și sarcina anuală totală.

Energia la rata de încărcare. Factorul Energie la rata de încărcare este folosit pentru proiectarea sistemului și analiza performanței sistemului

hibrid. Acesta este raportul dintre energia produsă de componente la cererea de energie din surse regenerabile.

Ciclul de viață – cost. Ciclul de viață – cost (CVC) a sistemului hibrid include investițiile de capital inițiale, valoarea actuală de operare și costurile de întreținere și costul de înlocuire a acumulatorului. Analiza ciclului de viață-cost este un instrument folosit pentru a compara costurile finale ale tehnologiilor livrate cu diferite costuri ale structurilor.

Costurile nivelare ale Energiei (CNE). Costurile nivelare ale Energiei (CNE) este definit ca raportul dintre produsul CVC cu factorul de capacitate (FC) la energia generată pe an.

Ciclul de viață unitate-cost. Ciclul de viață unitate-cost este definit ca raportul dintre Ciclul de viață unitate-cost și puterea totală generată pentru o anumită perioadă de timp.

3.3.4.2. Metodologia de proiectare și optimizare

Într-un sistem hibrid eolian-fotovoltaic cu acumuloare autonome optimizarea dimensiunilor sistemelor individuale poate fi realizată printr-o varietate de moduri în funcție de alegerea parametrilor de interes. Spre deosebire de LAEP [73] și construcțiile grafice algoritmul dezvoltat folosește o tehnică iterativă pentru a determina dimensiunea optimă a panourilor solare, turbinei eoliene, capacitatea acumuloarelor sistemului hibrid bazat pe costurile nivelare ale Energiei (CNE), ciclul de viață unitate Cost (CVUC), Ciclul de viață cost (CVC), *Deficitul de probabilitate de alimentare* (DAEP) și Excesul relativ de putere generată (ERPG).

Structura modelului dezvoltat constă dintr-o bază de date, care servește ca un instrument în timpul de calcul la intrare și ieșire. Calculele privind dimensionarea sistemelor eolian și solar și a acumuloarelor sunt efectuate în baza unei scheme iterative bazate pe datele medii zilnice respective privind energia generată. Inițial, dimensionarea turbinei eoliene necesare pentru a satisface cererea medie zilnică de energie se efectuează pe o bază de zi cu zi pe parcursul unui an, în rezultat dimensiunea maximă și minimă necesară a turbinei eoliene este determinată. Pentru fiecare dimensiune a turbinei eoliene dimensiunea panoului fotovoltaic este determinată de diferența de sarcină (EL-EV) în baza unei medii de zi cu zi, de la care dimensiunea maximă și minimă necesare ale panoului PV sunt determinate.

Optimizarea sistemelor hibride este realizată în scopul de a reduce la minimum deficitul de energie precum și excesul de putere generată, reducând astfel costul sistemului. Cu toate acestea egalarea producerii energiei electrice cu cerințele de sarcină pentru o perioadă pe tot parcursul anului în cele mai multe cazuri este dificilă. Variația deficitului de alimentare cu energie probabil (DAEP) în ceea ce privește capacitatea de sistem solar fotovoltaic este prezentat în fig. 3.39. Sistemul, prevăzut cu turbină eoliană de 50 kW și cu panouri fotovoltaice cu 18 kW, are capacitatea de 0,5 DAEP. Prin creșterea capacității sistemului hibrid până la 78 kW DAEP este redus la 0,01 și, prin urmare, fiabilitatea a crescut până la 99%. În mod similar, două turbine eoliene cu puterea sumară de 50 kW și cu 18 kW ale sistemului solar PV are capacitatea de 0,35 DAEP. Două turbine eoliene de 50 kW cu capacitate de 60 kW a sistemului fotovoltaic are DAEP 0,01. Din figura 3.39 s-a constatat că 50 kW a sistemului eolian cu 78 kW a sistemului PV poate satisface cerința de încărcare pentru cele mai multe ori în cursul anului. Creșterea capacității sistemului PV de peste 82 kW integrat cu 50 kW a sistemului eolian nu conduce la îmbunătățirea fiabilității sistemului.

Tabelul 3.3. Valorile costurilor parametrilor economici și componente pentru cazul de bază.

Parametrii	Costul
Costul modulului PV din siliciu	Rs.150-200 /Wp
Costul acumulatorului de plumb cu acid	Rs.4000 /kWh
Costul controlerului de încărcare a acumulatorului	Rs.350 /kWh
Costul sistemului eolian	Rs.45,000 /kW
Perioada de evaluare economică	20-30 ani
Ciclul de viață al acumulatorului	4-5 ani
Ciclul de viață al turbine eoliene	10 ani
Ciclul de viață al sistemului PV	25 ani
Durata de viață a acumulatorului	0,5-0,8
Eficiența modulului PV din siliciu	8-14%
Rata generală de inflație	7,5%
Rata de reducere	10-20%
Rata de majorare	7,5%
Emisiile CO ₂ în sistemul PV	68,600g /MWh
Emisiile CO ₂ în sistemul eolian	18,060g /MWh
Externalitate de CO ₂	Rs. 0,81 /kg

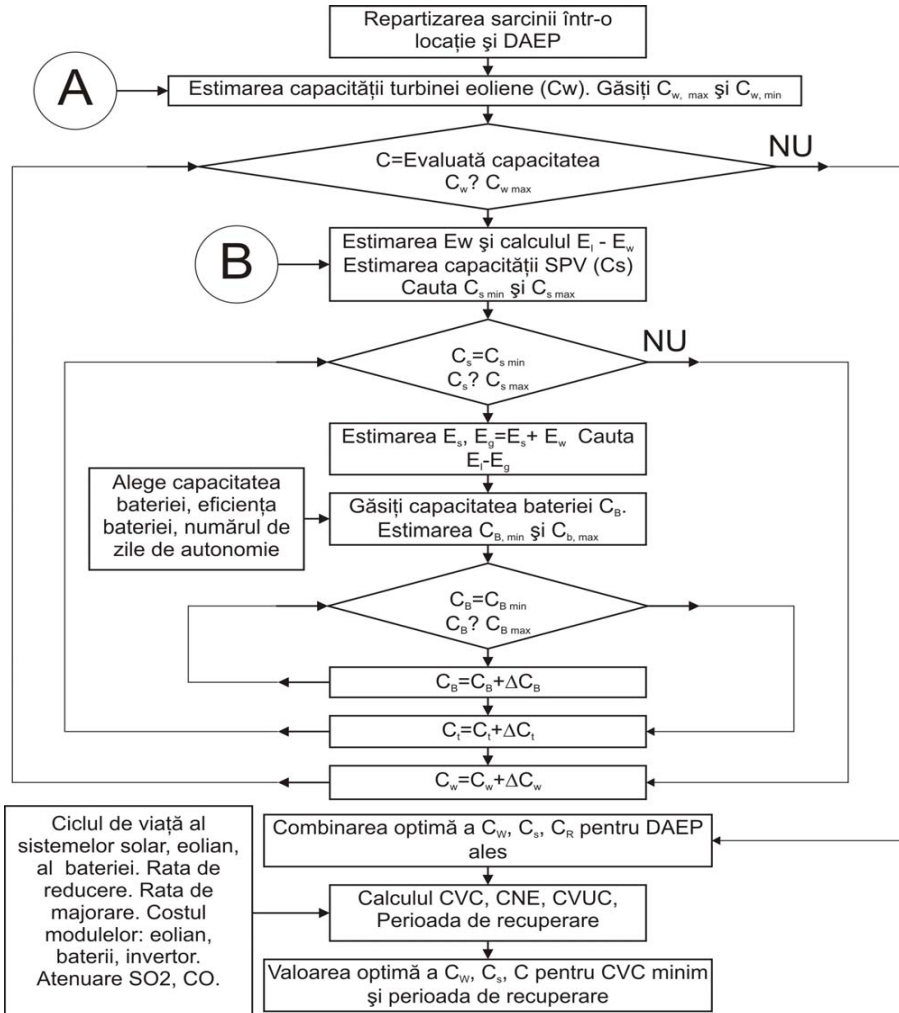


Fig. 3.39. Algoritmul metodologiei de optimizare a sistemului hibrid eolian solar.

În final, în baza simulărilor HOMER energy, se elaborează sistemul hibrid eolian solar calculat. În fig. 3.40 este prezentată schema elaborată a variantei optime de sistem hibrid eolian-fotovoltaic

Concluzii:

În final, au fost rezumate principalele constatări ale simulării HOMER energy:

- Energia solară sub formă de panouri fotovoltaice ar putea fi fezabilă din punct de vedere economic și potrivită pentru consumator;

- Există multă incertitudine cu privire la prețurile viitoare la energie electrică (inclusiv tarifele de rețea), care este un factor vital pentru fezabilitatea economică a acestui proiect.

- Studiul nostru de caz arată că dacă cineva poate vinde energie electrică pentru o medie anuală de 0,40 NOK/kWh către rețea și cumpăra pentru 1 NOK/kWh, un sistem fotovoltaic de 1000kW ar avea o rambursare de 10,78 ani pentru clădirea de birouri investigată.

- Dacă prețul pe care îl obținem pentru vânzarea energiei electrice la rețea este scăzut, s-ar putea orienta panourile în altă direcție decât o înclinare de 60 de grade spre sud. Orientarea panoului fotovoltaic ar trebui să se bazeze pe necesarul de energie zilnică și sezonieră pentru clădirea/zona dată.

- Trebuie să plătească tariful complet al rețelei pentru transferul energiei către o clădire învecinată este o provocare pentru rentabilitatea proiectelor de energie solară.

- Tariful mare de rețea pentru transferurile scurte de energie este un obstacol care poate fi rezolvat, de exemplu, prin crearea unei rețele virtuale cu prețuri mai flexibile bazate pe distanța de transfer al energiei.

- Cea mai bună utilizare multiplă a suprafeței de teren este utilizarea acoperișurilor și fațadelor clădirilor existente sau noi pentru a produce energie solară.

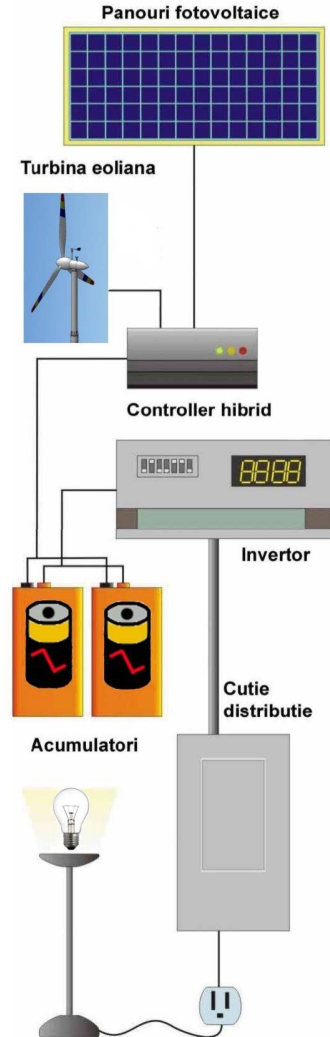


Fig. 3.40. Sistem hibrid eolian-fotovoltaic.

- Cu toate acestea, panourile fotovoltaice amplasate pe sol ar putea genera un cost de instalare mai mic decât integrarea panourilor fotovoltaice în clădiri.

- Utilizarea multiplă a terenului este posibilă cu panourile amplasate pe sol. Creșterea animalelor sau agricultura de sub panourile fotovoltaice este un exemplu. De asemenea, este posibilă utilizarea panourilor ca acoperire a parcii.

- O limitare în studiul de caz este că am folosit un preț mediu anual pentru cumpărarea și vânzarea energiei electrice. Costul energiei electrice fluctuează, ceea ce va face ca profitabilitatea sistemului să depindă de asta.

- În Norvegia, cele mai mici costuri cu electricitatea sunt în general în mijlocul verii, când producția de energie solară este cea mai mare. Astfel, ar trebui să urmăriți utilizarea cea mai mare parte a energiei la nivel local, deoarece taxa de rețea este principalul factor de cost în această perioadă.

- Partenerii ar trebui să investigheze în continuare potențialul energiei solare la Forus.

- Este necesar să se inițieze un dialog cu companiile de rețea și cu direcția de energie, deoarece provocările de a rentabiliza energia solară la Forus sunt mai mult o chestiune de reglementare decât provocări tehnice.

Capitolul IV. SISTEME INTELIGENTE DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE. APLICAȚII

4.1. Monitorizarea inteligentă a stării palelor unei turbine eoliene

4.1.1. Abordarea problemei

După cum s-a menționat deja, fiabilitatea palelor este vitală în funcționarea și întreținerea unei turbine eoliene. Pe de altă parte, palele rotorului turbinei reprezintă una dintre părțile cele mai greu de monitorizat. O abordare comună pentru monitorizarea stării palelor rotorului este utilizarea senzorilor de vibrații [50, 51, 53, 54, 55, 74], montați câte unul pe fiecare pală. Analiza vibrațiilor este, de obicei, prezentată ca cea mai eficientă metodă de monitorizare a stării, în special pentru echipamentele rotative, deoarece produce vibrații, care sunt specifice în comportamentul și caracterul său. O turbină eoliană nouă are asociat un semnal de vibrație relativ neted în timpul funcționării normale, dar pe măsură ce degradează, ca urmare a uzurii elementelor mobile, va modifica caracteristicile semnalului. Integritatea turbinei poate fi evaluată prin compararea detaliată a spectrelor de vibrații noi și vechi. Deoarece punctele mici deteriorate nu provoacă modificări semnificative în cursul rotației sau în comportamentul aerodinamic, rezultă că nici în spectrele de zgomot nu există indicii asupra originii și/sau extinderii oricărui punct de deteriorare situat în zona palelor rotorului. În cele mai multe cazuri, deteriorările cardinale trebuie să fi avut loc mai întâi pentru a putea determina amploarea deteriorării.

Măsurarea deformațiilor este o tehnică comună [74] și calculează nivelul de tensiuni mecanice, de exemplu, în materialul palelor turbinei eoliene. În calitate de senzori se propun spre utilizare senzori de tip rezistiv, cel mai comun material folosit fiind aliajul de constantan. Cu toate acestea, trebuie remarcat că senzorii de tip rezistiv au un șir de dezavantaje, printre care coeficient de sensibilitate redus. Având în vedere importanța extremă a fiabilității palelor turbinei eoliene, este foarte important să se studieze și să se propună noi soluții pentru monitorizarea fără contact a stării acestora. În continuare, această problemă este abordată din perspectiva utilizării unor senzori de deformare pe bază de microfibre cu magnetostricție pozitivă.

După cum este bine cunoscut, un sistem de monitorizare inteligentă a stării turbinei implică achiziția, procesarea, analiza și interpretarea datelor. În plus, un asemenea sistem trebuie să fie capabil de a extrage informații caracteristice importante din datele colectate și să ia decizii de încredere. În context, tehnicile de învățare automată pot fi interpretate ca instrumente de predicție și luare a deciziilor bazate pe date. În același timp, un sistem de măsurare trebuie să achiziționeze datele în timp real, apoi să le proceseze și să le distribuie unui centru de control sau altui observator.

Având în vedere că un astfel de sistem urmărește monitorizarea, în special, a palelor turbinelor eoliene, achiziția de date trebuie să includă măsurarea deformării palelor, precum și a altor variabile de interes. De menționat că în acest studiu vom considera turbine eoliene, care au o putere nominală mai mare de 1 MW.

Datele colectate sunt necesare, dar ar putea fi insuficiente pentru un proces eficient de luare a deciziilor. Din acest motiv, putem considera că procesul decizional este activat, dar nu condus, de informații. În consecință, cunoașterea obiectului deciziei și a scopului deciziei în sine este de o importanță esențială. Acest lucru se datorează faptului că calitatea slabă a informațiilor poate duce la decizii greșite. Datele obținute trebuie să includă toate elementele de informare, care vor fi utile pentru monitorizarea stării și pentru luarea deciziilor de încredere. Din acest motiv, trebuie să luăm în considerare atât calitatea informației semantice cât și calitatea informațiilor pragmatice [75].

Pe parcurs au fost analizate criteriile de calitate semantice și pragmatice pentru a determina lista completă de date/informații necesare pentru construirea unui sistem de monitorizare inteligentă a stării palelor turbinei. În studiul actual criteriile pragmatice importante sunt următoarele: relevanța, suficiența și actualitatea. Evident, datele/informațiile disponibile la momentul nepotrivit nu au nicio valoare sau pot duce la decizii greșite. De asemenea, este necesar să se ia în considerare criterii semantice precum intersubiectivitatea (datele obținute trebuie să fie interpretate fără ambiguitate de către toți observatorii potențial interesați) și rezoluția scalei de măsurare. Nivelul de intersubiectivitate al senzorilor trebuie asigurat prin calibrare.

Ca urmare, toate elementele de informare necesare monitorizării stării palelor și luării deciziilor se încadrează în trei grupe:

- date referitoare la deformarea din interiorul palelor, precum și datele referitoare la temperatura de suprafață a palelor;
- date meteorologice (date de prognoză);
- alte date referitoare la turbinele eoliene.

Datele referitoare la deformații și temperatură trebuie colectate de la senzorii de deformații fără contact utilizați, respectiv, senzorii de temperatură.

Datele meteorologice trebuie să includă date după cum urmează:

- temperatura exterioară (ambientă);
- viteza vântului (intervalul critic 15-25 m/s);
- direcția vântului (schimbarea direcției vântului);
- umiditatea;
- precipitațiile;
- indicele de iradiere UV (afectează materialul compozit al palelor).

Alte date legate de turbinele eoliene:

- Viteza vântului în timp real (măsurată cu anemometrul);
- Durata de viață a palei (nu are ca rezultat o rată de defectare semnificativ mai mare, dar poate conta pentru turbinele cu puterea nominală mai mare de 1 MW).

Prin prisma abordării adoptate, monitorizarea inteligentă a stării turbinei eoliene necesită achiziția și procesarea datelor privind deformațiile curente în interiorul palelor. Pentru a face față acestei provocări în mod eficient, va fi nevoie, în primul rând, de alegerea judicioasă a locațiilor prioritare (vulnerabile). Pentru a rezolva această problemă este necesar un model de calcul cu elemente finite a rezistenței unei pale tipice. Astfel pot fi stabilite coordonatele locațiilor pentru montarea unui număr potrivit de senzori de deformare fără contact.

4.1.2. Modelarea numerică a palei turbinei eoliene

Scopul modelării numerice a condițiilor de solicitare a palei este stabilirea zonelor critice și determinarea tensiunilor și deformațiilor echivalente. Geometria rotorului proiectată în software-ul SolidWorks a fost ulterior importată în programul DesignModeler în mediul ANSYS

Workbench, unde a fost creat domeniul fluidului. Pentru a simplifica analiza CFD (*Computational fluid dynamics*) și pentru a economisi timpul de calcul a fost modelată 1/3 din întregul domeniu. Un volum CFD, care include 120° din rotor, a fost creat cu o singură pală, presupunând condiții de periodicitate. În același timp, turnul și fundația la sol au fost neglijate. Dimensiunile domeniului computațional al fluidului au fost alese, ținând cont de bunele practici și recomandări prezentate în cercetări [76, 77] pentru a asigura curgerea liberă a fluidului fără a influența limitele domeniului. Pentru simulări a fost considerat un rotor tipic pentru turbine eoliene cu parametri de intrare următori (tabelul 4.1):

Tabelul 4.1. Parametri constructiv-funcționali ai rotorului analizat.

Puterea nominală, MW	1,5 - 3
Viteza nominală a rotorului, min ⁻¹	18 - 20
Viteza vântului, m/s	10 - 20
Diametrul rotorului, m	83
Variația grosimii învelișului și lonjeronului, m	0,1 – 0,005

Pentru a simplifica analiza structurală s-a presupus că materialul compozit poate fi omogenizat prin următoarele proprietăți ortotrope ale materialului, tabelul 4.2. Aceste valori sunt reprezentative pentru proprietățile materialelor compozite folosite în palele turbinelor eoliene reale.

Tabelul 4.2. Proprietățile materialului utilizat.

Densitate (kg/m ³)	1550
Modulul Young-X (Pa)	1,1375E+11
Modulul Young-Y (Pa)	7,583E+09
Modulul Young-Z (Pa)	7,583E+09
Raportul lui Poisson-XY	0,32
Raportul lui Poisson-YZ	0,37
Raportul lui Poisson-XZ	0,35
Modulul de forfecare-XY (Pa)	5,446E+09
Modulul de forfecare-YZ (Pa)	2,964E+09
Modul de forfecare-XZ (Pa)	2,964E+09

Dintre toți pașii de simulare, pasul de generare a rețelei cu elemente finite este cel mai important. Acuratețea calculului numeric este determinată, în primul rând, de calitatea rețelei, de densitatea și distribuția nodurilor în zonele cheie ale domeniului computațional. O astfel de zonă se află în apropierea suprafeței palei unde se formează stratul limită. În aceste zone elementele au fost rafinate corespunzător, pentru a surprinde corect variațiile puternice ale parametrilor de curgere. De asemenea, trecerile de la zonele cu rețeaua fină la cele cu rețeaua grosieră au fost tratate cu atenție, dat fiind faptul că o trecere prea bruscă poate altera acuratețea calculului. Domeniul fluidului a fost împărțit în ~ 3000000 de elemente. Această valoare a fost acceptată conform studiului de rafinare a rețelei prezentat în lucrarea [78]. Detalii ale discretizării învelișului palei sunt prezentate în figura 4.1.

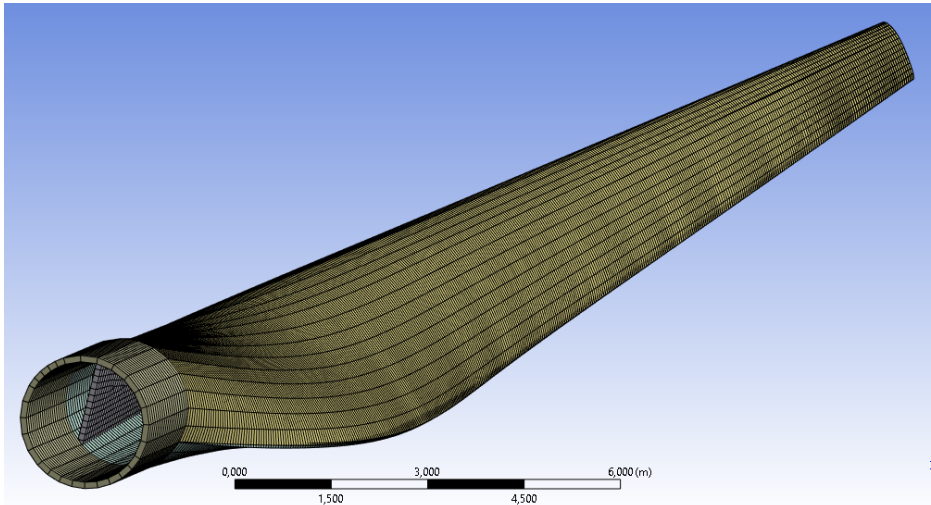


Fig. 4.1. Modelul palei discretizate în elemente finite.

Rotorul a fost simulat în diferite condiții la limită, cum ar fi viteza vântului de 10 - 20 m/s și turația corespunzătoare cu cea nominală 18 – 20 min^{-1} . Pentru a verifica corectitudinea setărilor, fig. 4.2 ilustrează vectorii viteze distribuiți pe suprafața palei la turația nominală 18 min^{-1} (viteza vântului de 10 m/s).

De asemenea, a fost trasată diagrama variației presiunii aerului, care trece prin rotor (v. fig. 4.3). Aceasta corespunde modelului fizic conform indicațiilor colectivului de autori [78].

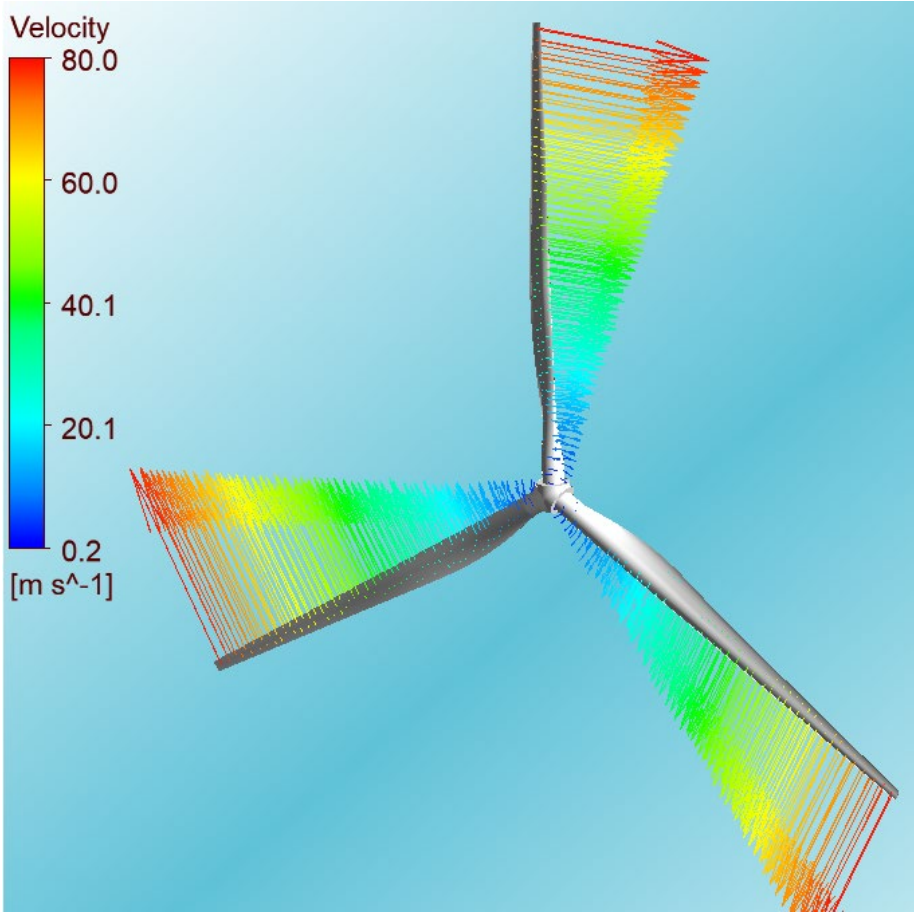


Fig. 4.2. Modelul rotorului eolian simulat la viteza vântului 10 m/s.

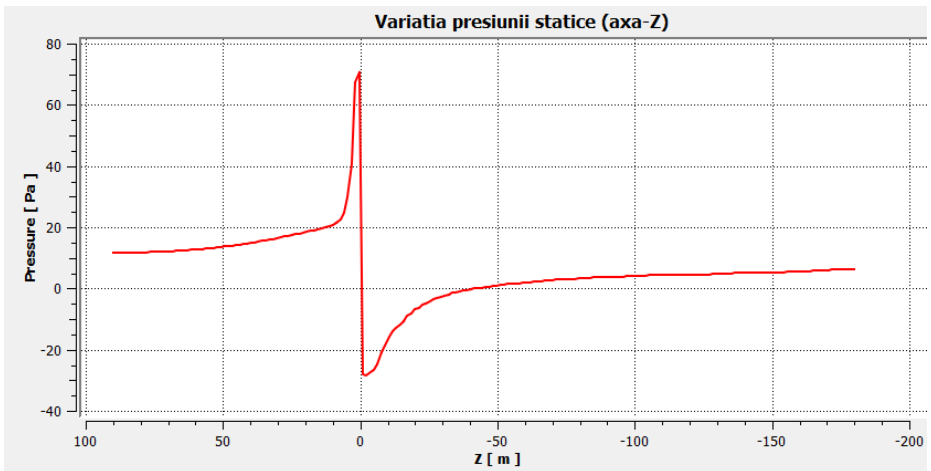


Fig. 4.3. Variația presiunii aerului în secțiunea rotorului turbinei.

Figura 4.4 prezintă distribuția presiunii pe suprafața palei la viteza vântului de 10 m/s. Asemenea distribuție a presiunii obținută în rezultatul

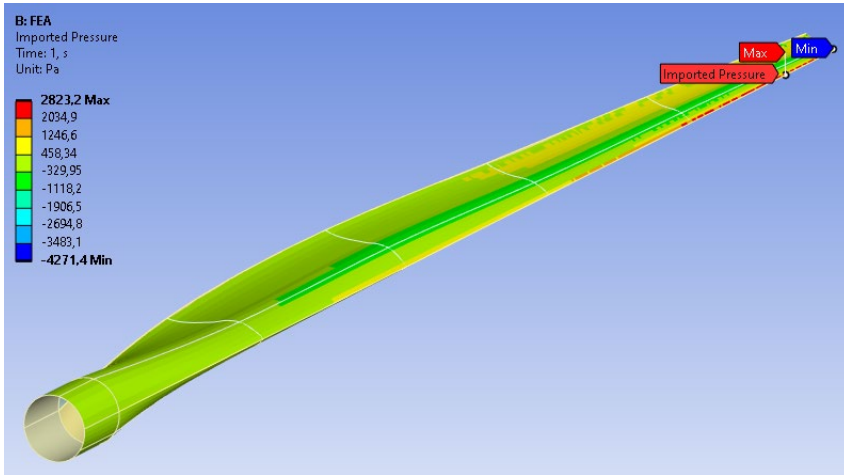


Fig. 4.4. Distribuția presiunii fluidului pe suprafața palei.

efectelor aerodinamice pentru toată gama de viteze ale vântului a fost considerată ca sarcină principală în modelul de calcul. Astfel, pala este supusă solicitărilor complexe încovoiere-torsiune. În comparație cu solicitările reale, care conțin și forța de gravitație, în simulări aceasta a fost neglijată.

După efectuarea simulărilor palei au fost extrase rezultatele, care prezintă interes. Distribuția tensiunilor echivalente (von-Mises) și locația concentrărilor sunt prezentate în figura 4.5. Acestea sunt valorile maxime

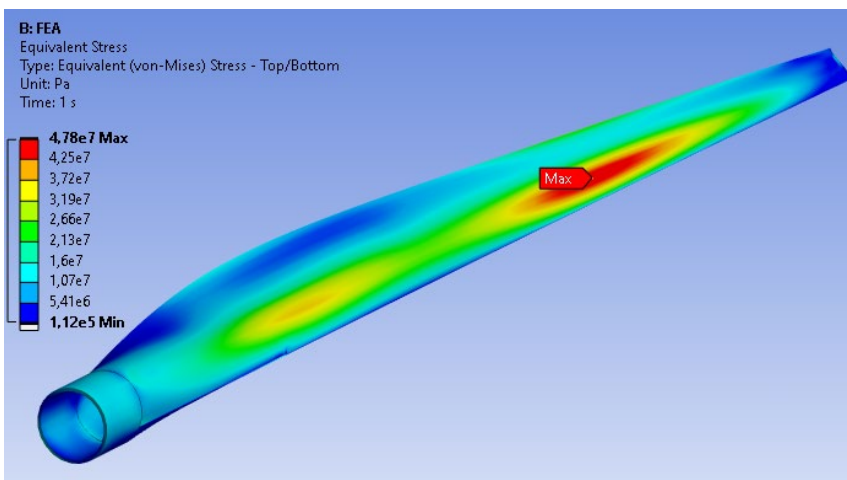


Fig. 4.5. Distribuția tensiunilor echivalente în învelișul palei.

(≈ 48 MPa), care corespund vitezei vântului de 16 m/s. Pentru viteza nominală a vântului (≈ 11 m/s) valoarea tensiunilor echivalente este ≈ 35 MPa. Pentru comparație, rezistența la rupere a adezivului pe bază de rășină epoxidică utilizat în construcția palei este de 30 – 40 MPa. Este evident faptul că funcționarea turbinei eoliene la viteze ale vântului puțin mai mari decât cea nominală este limitată.

În figura 4.6 sunt prezentate deformațiile echivalente specifice din învelișul palei și anumite locații, în care au loc concentrații. Este prezentat un caz pentru exemplificare pentru viteza vântului $v = 12$ m/s. Pentru celelalte viteze ale vântului locația zonelor critice este aceeași.

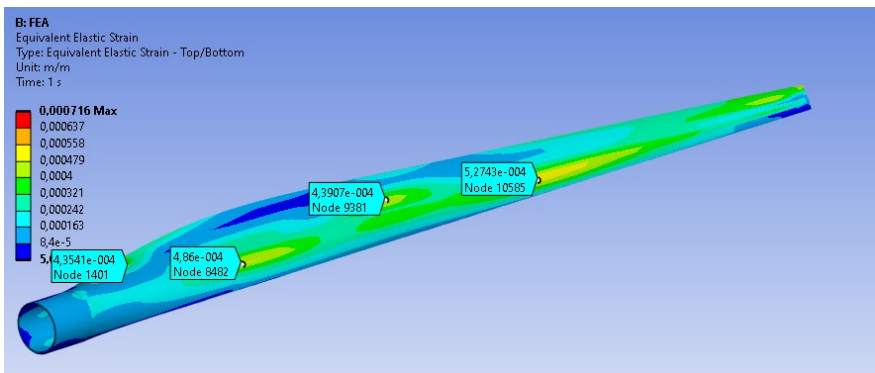


Fig. 4.6. Deformațiile echivalente specifice din învelișul palei (un caz pentru $v = 12$ m/s).

În continuare este prezentată o diagramă, în care sunt cuprinse toate valorile deformațiilor echivalente funcție de viteza vântului, figura 4.7. Au fost expuse distribuția deformațiilor specifice echivalente în învelișul palei, valorile minime și maxime, care coincid cu locațiile amplasate de-a lungul axei longitudinale (razei rotorului $-0,17r$ și $0,68r$). În diagramă mai sunt indicate și valorile puterii rotorului turbinei, care au fost obținute din relația: $P = \omega \cdot T$, în care $\omega = 2 s^{-1}$ este menținută constantă la viteze ale vântului mai mari de 12 m/s, iar T – momentul de torsiune dezvoltat de rotorul turbinei funcție de viteza vântului.

Stabilirea cu precizie mai înaltă a locației zonelor critice pentru un anumit model de pale presupune simularea concretă a lor. Totuși, cu ajutorul informației din figura 4.6 pot fi stabilite locațiile prioritare pentru a implementa (monta) sistemul (senzorii de deformații) de monitorizare inteligentă a stării palelor turbinei eoliene [12].



Fig. 4.7. Diagrama rezultatelor simulării palei turbinei.

4.1.3. Arhitectura sistemului de monitorizare

Următoarea etapă ține de alegerea senzorilor, care se pretează aplicației considerate, și elaborarea arhitecturii sistemului de monitorizare. Deoarece în cazul examinat este necesară măsurarea deformațiilor în multiple locații ale palei, o alegere potrivită, dar și de perspectivă, se referă la senzorii de măsurare a deformațiilor pe bază de microfibre cu magnetostricție pozitivă [79, 80]. Aici trebuie menționat inclusiv faptul că rezistența la rupere a materialului pentru microfibrele amorfe din aliaj pe bază de *Fe* este de aproximativ 1,5 GPa [80], valoare ce depășește cu mult valorile tensiunilor maxime în învelișul palei (≈ 48 MPa) și care corespunde vitezei vântului de 16 m/s (a se vedea distribuția tensiunilor echivalente, figura 4.5)

Reieșind din particularitățile aplicației considerate, în calitate de senzor potrivit pentru implementare poate fi considerat senzorul de deformații fără contact [81]. Un astfel de senzor conține cel puțin două segmente de microfibră, realizate pe bază de aliaje feromagnetice cu structură amorfă, care trebuie montate pe suprafața unui corp solid. Un segment de microfibră este utilizat în calitate de fibră sensibil, iar cel puțin un alt segment de microfibră este utilizat în calitate de fibră de referință. Fibră sensibilă este realizată pe bază de aliaj cu o magnetostricție pozitivă ridicată, iar fibră de referință - pe bază de aliaj cu o magnetostricție aproape de zero.

Un dispozitiv de excitare și detectare este utilizat pentru inducerea impulsurilor electromagnetice prin aplicarea unui câmp magnetic extern produs de un curent alternativ sinusoidal și, corespunzător, pentru detectarea impulsurilor electromagnetice induse la remagnetizarea firelor.

La baza funcționării sensorului stă aplicarea unui câmp magnetic extern și analiza răspunsului sistemului la câmpul magnetic aplicat. Analiza necesară se bazează pe metoda [82] de comparare a răspunsului magnetic al materialului realizat sub forma unor segmente de microfir. La apropierea dispozitivului de excitare și detectare de corpul solid, pe care este fixat sensorul, asupra segmentelor de microfir, situate aproape unul de celălalt, acționează câmpul magnetic generat de un curent alternativ sinusoidal. Datorită comportamentului bistabil la remagnetizare răspunsul magnetic al sensorului se caracterizează printr-un salt gigant Barkhausen, fapt care permite inducerea unor impulsuri electromagnetice scurte de o amplitudine suficientă pentru a fi detectate de către dispozitivul de excitare și detectare.

Răspunsul magnetic al sensorului la câmpul magnetic alternativ aplicat depinde de deformație la întindere. Altfel spus, modificarea caracteristicilor magnetice ale buclei de histerezis este în corelație cu deformația, la care este supus materialul magnetic. În cazul firului sensibil aria buclei de histerezis, respectiv forța coercitivă, cresc odată cu deformația la întindere. Totodată, aria buclei de histerezis, respectiv, forța coercitivă a firului de referință, nu depind de deformația la întindere.

Deci, răspunsul magnetic al sensorului poate fi determinat prin detectarea impulsurilor electromagnetice induse la remagnetizare și calcularea valorii numerice a raportului dintre aria buclei de histerezis a firului sensibil și cea a firului de referință. Valoarea, care rezultă, trebuie recalculată în funcție de coeficientul sensibilității la întindere a firului sensibil cu un algoritm încorporat pe o unitate de procesare a semnalelor. Rezultatul obținut în urma calculelor va reprezenta mărimea deformației, care nu depinde de distanța față de dispozitivul de excitare și detectare [81]. Astfel, aplicând metoda de comparare a caracteristicilor magnetice ale buclelor de histerezis poate fi determinată mărimea deformației corpului solid.

Senzorii de deformații de acest tip sunt potriviți pentru a efectua măsurători online ale tensiunilor mecanice din interiorul palelor, deoarece pot fi încorporați cu ușurință în materialul compozit al palei în timpul procesului de fabricație. Având în vedere cele de mai sus, detectarea solicitărilor mecanice mici și interne devine posibilă, folosind senzori de deformare fără contact încorporați în pală. Pentru a realiza acest lucru, este nevoie de un dispozitiv (modul) hardware specializat și de un algoritm adecvat.

Având în vedere că aplicația considerată ține de monitorizarea stării componentelor turbinelor eoliene la nivelul unei platforme de întreținere predictivă, tehnologia de calcul la margine (edge computing) se încadrează perfect în arhitectura sistemului de monitorizare. Calculul de margine înseamnă efectuarea unei anumite părți a algoritmului aplicației pe dispozitivele din apropierea sursei de date. Structura propusă pentru dispozitivul de calcul la margine este prezentată în figura 4.8. Trebuie

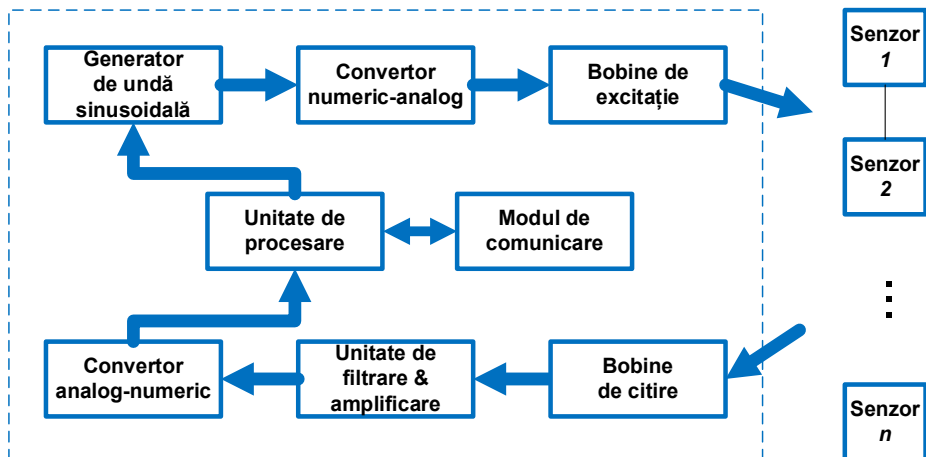


Fig. 4.8. Structura dispozitivului de calcul la margine.

reținut că operațiile de conversie numeric-analogică și analog-numerică pot fi implementate, folosind mai multe convertoare sau unul multicanal, iar curentul sinusoidal, care intră prin borna bobinei de excitație, trebuie amplificat corespunzător. Pentru utilizare practică, frecvența curentului sinusoidal ar trebui să fie de ordinul zecilor de Hz [83]. Această din urmă împrejurare impune o limitare clară a timpului de citire și analiză a răspunsului magnetic al sensorului. La modul practic, timpul necesar pentru calcularea valorii deformației în funcție de răspunsul sensorului se

va situa în intervalul de 50 - 100 ms (se poate menționa că într-o configurație experimentală a fost utilizat un microcontroler din familia STM32F4).

Trebuie menționat că fiecare pereche de bobine de excitare-detectare trebuie să fie situată la o distanță predeterminată de senzorul asociat. Distanța respectivă nu este foarte restrictivă [81]. Pe de altă parte, distanța dintre bobinele de excitare-detectare și dispozitivul de calcul la margine va fi limitată în funcție de parametrii electrici implementați. Acest fapt este important din punctul de vedere al realizării fizice.

Pentru a obține o acoperire cât mai bună a evaluării solicitărilor mecanice în locațiile critice ale palei, este binevenită instalarea a cât mai mulți senzori de deformare, având în vedere locațiile vulnerabile. Utilizarea mai multor senzori de deformare poate fi un avantaj în ceea ce privește fiabilitatea. Să presupunem că dorim să citim la fiecare rotație toți senzorii încorporați în palele unei turbine eoliene, de asemenea, că vor fi efectuate măsurători succesive ale răspunsului magnetic al senzorilor. Atunci, în cazul unei turbine cu trei pale și turația rotorului de până la 40 min^{-1} (la viteze nominale ale vântului de 10 – 25 m/s), numărul maxim de senzori de deformații, care pot fi încorporați într-o pală, nu va depăși 10 unități (la un timp de procesare a răspunsului magnetic al senzorului de 50 ms). În realitate, această cantitate poate fi suficientă pentru a monitoriza cele mai critice locații ale palei.

Totodată, în cazul utilizării dispozitivelor „*senzor - unitate de procesare*” distribuite pe aria palei, fapt care se pretează foarte bine la calculul de margine, numărul de senzori montați poate fi mult mai mare (în funcție de numărul locațiilor prioritare identificate). Senzorii de deformații pot fi citați, dacă e cazul, și în funcție de viteza vântului.

Datele obținute trebuie împachetate conform standardelor de telemetrie în domeniu. În general, toate măsurătorile fizice disponibile pe un parc eolian trebuie prelevate periodic și înregistrate într-o bază de date locală la nivelul sistemului de monitorizare. Totodată, datele pot fi transmise în flux către serviciile cloud, atunci când există o conexiune fiabilă. Cu alte cuvinte, datele pot fi colectate și stocate în orice bază de date sau sistem cloud pentru analize ulterioare sau proces de învățare

automată. De altfel, aici se poate observa posibilitatea reală de implementare a paradigmei de calcul continuu de la margine la cloud.

Un sistem de monitorizare a stării turbinei este integrat într-o platformă de mentenanță predictivă. După cum a fost menționat anterior (p.3.2), luarea deciziilor pentru întreținerea predictivă bazată pe monitorizarea stării funcționale implică evaluarea stării curente (diagnosticul) și prezicerea stării viitoare (pronosticul). Figura 4.9 prezintă procedura-cadru de luare a deciziilor, care se concentrează atât pe diagnosticul actual, cât și pe predicția stării viitoare. De notat că aici se propune de a lua în considerare predicția bazată pe analiza condiției de tensiuni mecanice cumulative. Totodată, trebuie luat în considerare și fenomenul de depunere a gheții pe suprafața palelor, care, la rândul său, poate afecta starea de tensiuni cumulative [12, 83].

Activitățile de întreținere predictivă pot fi programate în funcție de nivelul estimat al stării de tensiuni cumulate. Pentru a oferi o decizie cu un grad înalt de corectitudine, este necesară o combinație optimă a unei astfel de evaluări mixte. Acest lucru se datorează faptului că este posibil să nu existe suficient timp pentru planificarea întreținerii dacă analiza arată că palele au atins limita de eșec. Pe de altă parte, fiabilitatea palelor rotorului poate fi îmbunătățită cu previziuni pe termen scurt. Sistemul de monitorizare trebuie să furnizeze date în timp real, care să reflecte feedback-ul instantaneu al stării de funcționare. Utilizarea datelor istorice și a celor în timp real de la senzorii disponibili crește capacitățile decizionale ale sistemului de monitorizare a palelor turbinei și poate spori eficiența activităților de întreținere predictivă.

Atunci când un sistem de luare a deciziilor pe bază de învățare automată este aplicat datelor nou achiziționate, ne referim la procesul de inferență. După cum este bine cunoscut, procesul de învățare poate avea nevoie de o putere de calcul semnificativă. Evident, algoritmi de învățare automată pot fi executați, apelând la calculul în cloud. În era conceptului de big data putem, desigur, efectua procesul de inferență și pe diverse dispozitive încorporate, care nu trebuie obligatoriu conectate la calculatoare performante de ultimă generație.

Dispozitivele inteligente moderne oferă tot suportul încorporat necesar pentru a lua decizii la nivel local. Luând decizii la nivel local, nu

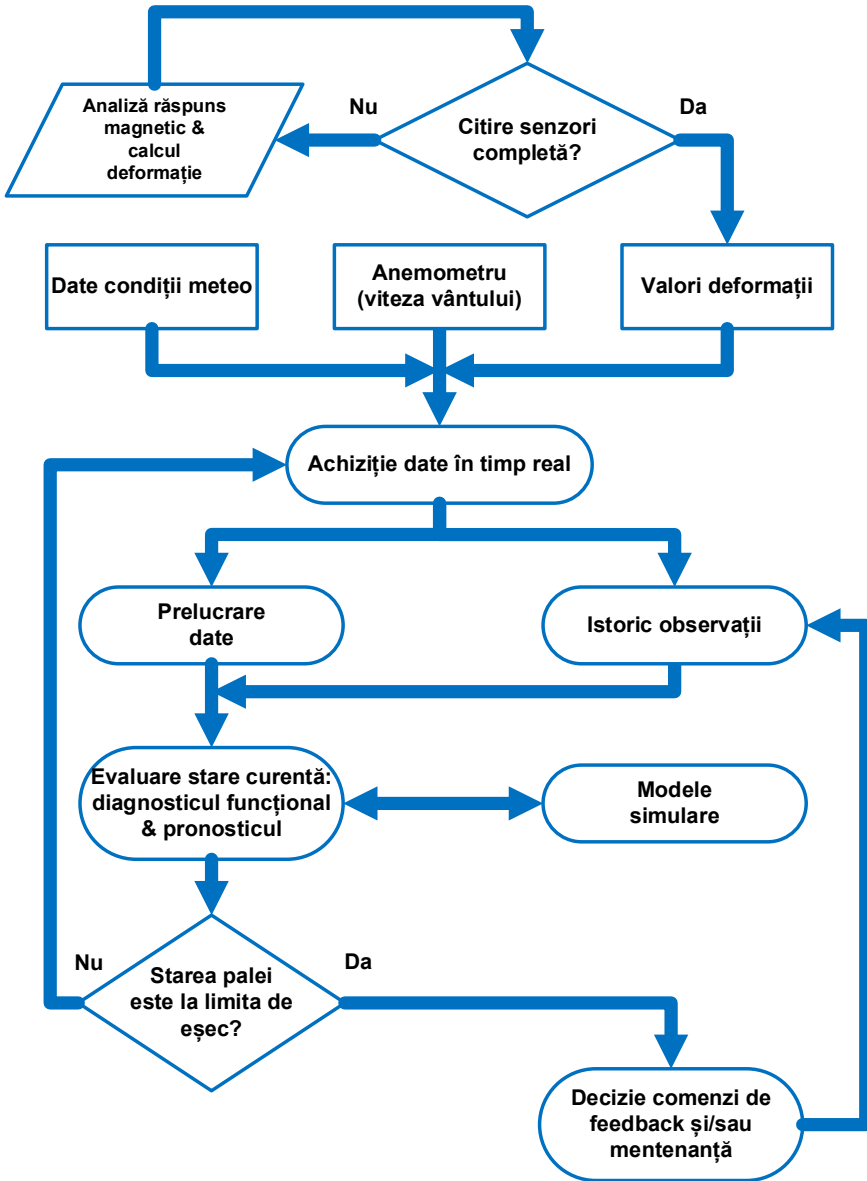


Fig. 4.9. Procedura de luare a deciziilor în cadrul sistemului de monitorizare.

este nevoie de trimis datele brute detaliate în cloud, ci doar rezultatele procesului de inferență. Deoarece datele brute nu trebuie transferate în cloud pentru procesare, deciziile pot apărea în timp real pe dispozitiv. De fapt, senzorii creează o cantitate imensă de date în timp real care, la rândul lor, creează o cerere mare de lățime de bandă. Soluțiile încorporate reduc

lățimea de bandă necesară pentru internet. Analiza locală a datelor de la senzori economisește în mod clar cheltuielile de utilizare a infrastructurii cloud și a traficului.

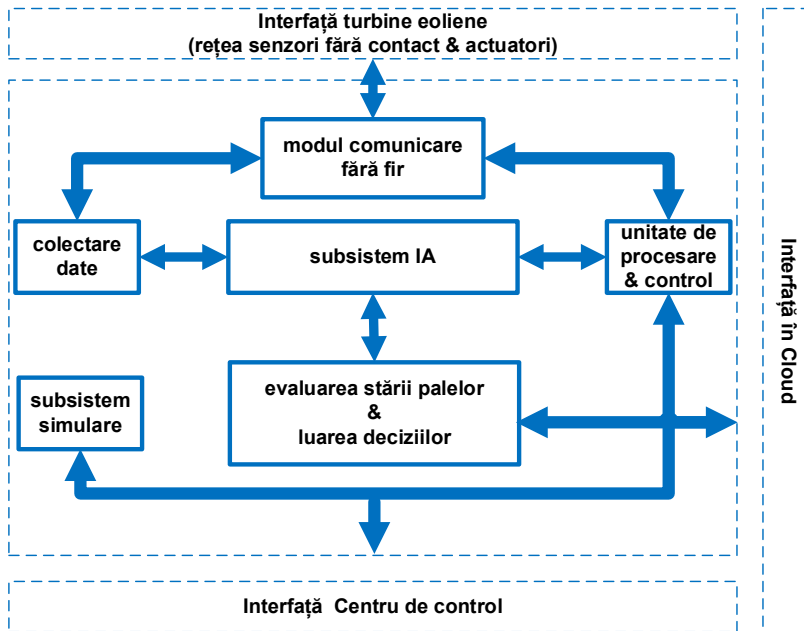


Fig. 4.10. Structura sistemului inteligent de monitorizare.

Conform celor discutate mai sus, în figura 4.10 se prezintă structura sistemului inteligent de monitorizare a stării turbinelor eoliene. Sistemul constă dintr-un modul de comunicare fără fir, un modul de colectare a informațiilor (date), un subsistem de IA (inteligentă artificială) și unul de simulare, o unitate de procesare și control, precum și un modul pentru evaluarea stării palelor și luarea deciziilor (furnizarea diagnosticului funcțional și a pronosticului). Totodată, structura sistemului trebuie să includă și interfețe dedicate. Organizarea arhitecturală prezentată nu poate pretinde la abordarea diverselor domenii, pe care soluțiile de inteligență artificială le-ar putea acoperi. În prezentul studiu această arhitectură se referă la aplicații privind procesarea datelor colectate, inclusiv de la senzori, și luarea deciziilor pentru întreținerea predictivă a turbinelor eoliene.

4.1.4. Monitorizarea stării palei: diagnosticul și contramăsurile

În conformitate cu procedura-cadru prezentată în figura 4.9, procesul (arborele) de luare a deciziilor, implementat într-un sistem de monitorizare a stării funcționale a palei turbinei eoliene, urmează două căi distincte. Prima dintre acestea ține de evaluarea stării curente, adică se referă la diagnosticul de moment al palei. Cea de a doua ramificație decizională presupune încorporarea unui model predictiv capabil de a oferi pronosticul stării viitoare.

În figura 4.11 este prezentată structura sistemului de monitorizare în varianta de realizare a diagnosticului palei.

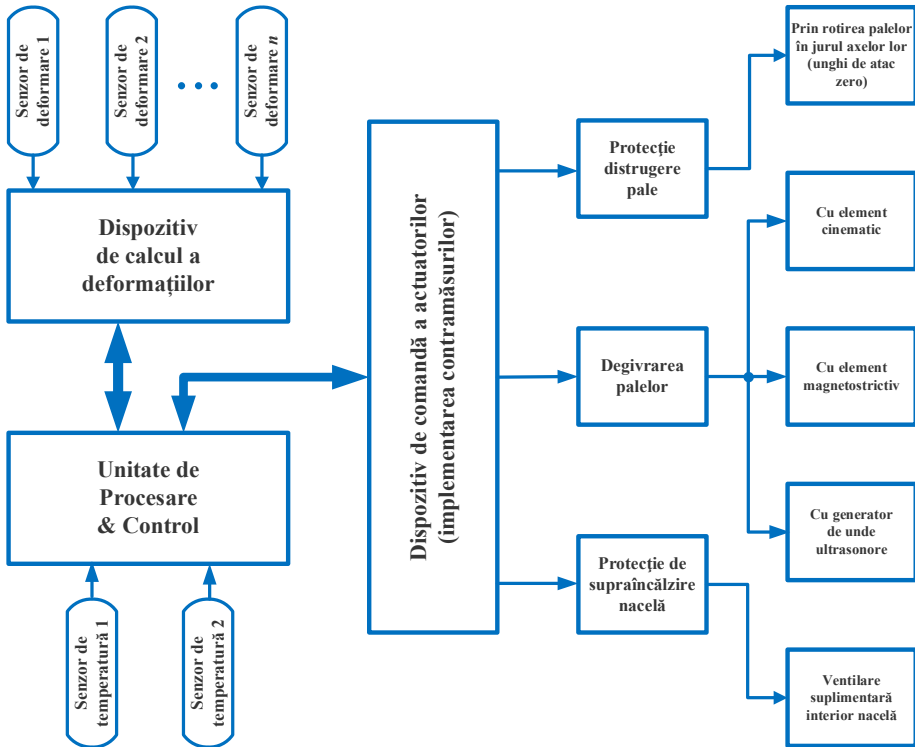


Fig. 4.11. Sistemul de monitorizare: diagnosticul și implementarea contramăsurilor.

Citirea senzorilor de deformații și determinarea mărimii lor se realizează cu ajutorul unui dispozitiv de calcul la margine, proiectat conform structurii funcționale din figura 4.8. Unitatea de procesare și control asigură executarea algoritmului de monitorizare a deformațiilor în

pala turbinei (figura 4.12), respectiv furnizarea comenzilor necesare funcționării sistemului în regim de diagnosticare a stării palei.

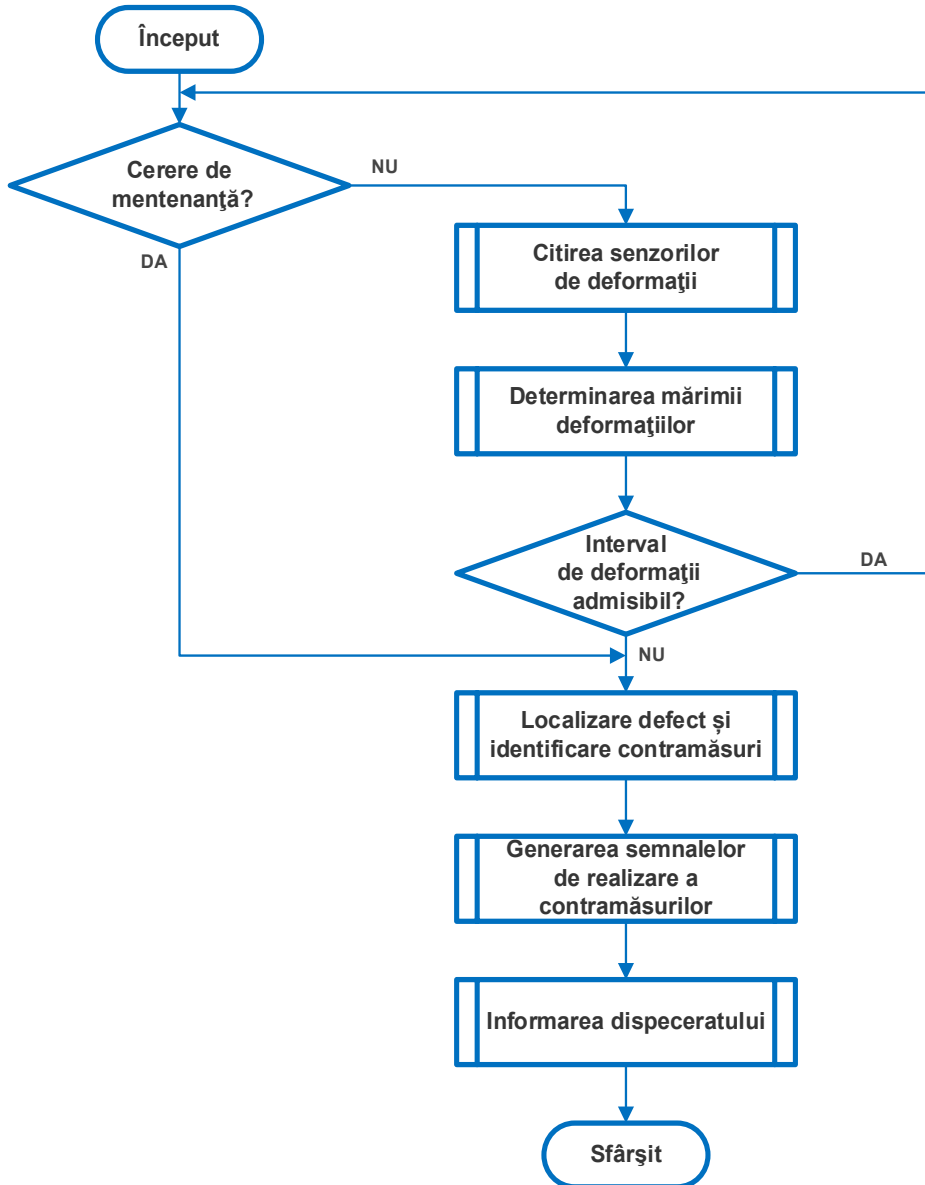


Fig. 4.12. Algoritmul monitorizării deformațiilor în pala turbinei.

Structura sistemului din figura 4.11 urmează conceptul de monitorizare expus în [79] și include, de asemenea, elementele necesare pentru implementarea contramăsurilor. În acest scop, unitatea de procesare

și control asigură localizarea defectelor palei, identifică tipul și forma contramăsurilor în concordanță cu diagnosticul stabilit, respectiv generează comenzile (semnalele) de realizare a contramăsurilor. Comenzile generate sunt interpretate și executate prin intermediul unui dispozitiv de comandă a actuatorilor, disponibili la nivelul sistemului de întreținere a turbinei.

Pe de altă parte, unitatea de procesare și control asigură citirea senzorilor de temperatură (fig. 4.11) și analiza condiției de formare a

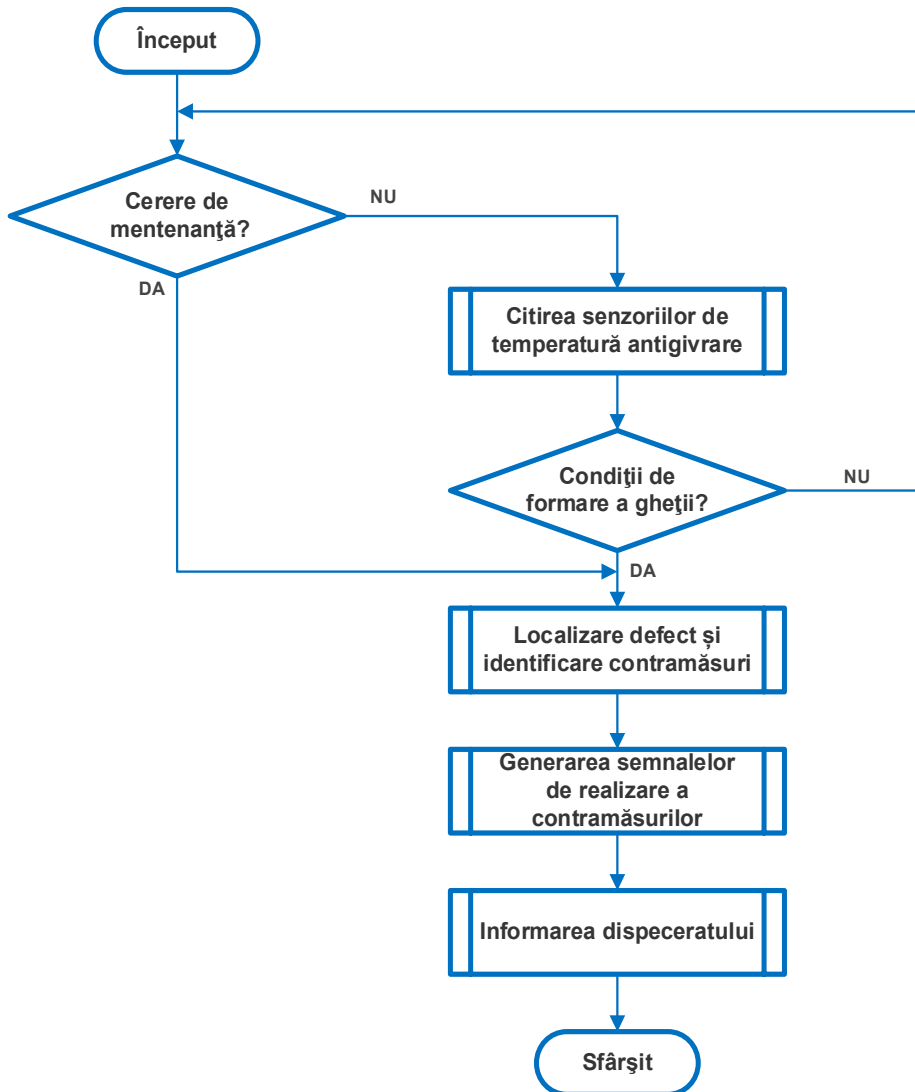


Fig. 4.13. Algoritmul monitorizării procesului de degivrare a palei.

gheții pe suprafața palei. Algoritmul monitorizării procesului de degivrare a palei este prezentat în figura 4.13. În mod similar cu cazul monitorizării deformațiilor, unitatea de procesare și control execută algoritmul corespunzător, identifică contramăsurile ce urmează a fi implementate (în corelație cu diagnosticul stabilit) și generează comenzile de realizare a contramăsurilor.

4.1.5. Construirea modelului predictiv: abordare preliminară

După cum a fost deja menționat, construirea și implementarea unui sistem de monitorizare inteligentă a stării palelor turbinei eoliene presupune elaborarea și încorporarea unui model predictiv capabil de a genera pronosticul stării viitoare (de notat că realizarea diagnosticului funcțional reprezintă elementul obligatoriu al sistemului de monitorizare). Cu alte cuvinte, în mod logic următorul pas presupune proiectarea a cel puțin unui model predictiv (de învățare). Acțiunile de monitorizare și întreținere predictivă se realizează prin angajarea diverselor modele de predicție și tehnici de modelare. A fost arătat anterior (a se vedea p.3.2), că abordările de învățare automată sunt, în cele mai multe cazuri, considerate ca fiind cea mai potrivită, dar și de perspectivă cale pentru a construi modelul predictiv dorit. Această abordare permite procesarea și interpretarea datelor de dimensiuni mari („*big data*”). Mai mult ca atât, abordările de învățare automată se pretează bine la combinarea datelor din multiple și diverse surse cu scopul de a prelua noi cunoștințe, respectiv de a realiza cât mai precis diagnosticarea și pronosticarea stării funcționale.

Construirea modelului predictiv (de învățare automată) necesită folosirea unui set de date în conformitate cu aplicația abordată. În general, un set de date este o colecție structurată de numere sau valori, care se referă la un anumit subiect. Procesul de creare a unui set de date implică colectarea de informații ca un pas important. În general, strategia actuală de întreținere preventivă creează o barieră în adoptarea unui cadru de întreținere predictivă, deoarece în unele cazuri sunt disponibile doar eșantioane limitate de date. Pentru a depăși această problemă, o nouă metodă de generare a eșantioanelor virtuale este propusă în [84]. În cazul analizat particular, setul de date ar trebui să conțină date meteorologice și date privind deformațiile în interiorul palelor (evoluția solicitărilor mecanice) colectate pe o anumită durată de timp în funcționarea unei

turbine eoliene. În consecință, achiziția datelor respective presupune măsurarea online a deformării palelor turbinei, fapt care nu poate fi realizat la etapa preliminară a cercetării.

Pentru a rezolva această problemă, în cazul dat s-a decis de a construi un set de date simulat pe partea valorilor de deformații (solicitărilor mecanice). În acest context, a fost efectuată simularea numerică a tensiunilor și deformațiilor echivalente în interiorul materialului compozit al palei, folosind platforma ANSYS Workbench (a se vedea p. 4.1.2).

Determinarea și analiza tensiunilor și deformațiilor echivalente a fost efectuată în următoarele condiții:

- viteza nominală a vântului, 10 - 20 m/s;
- puterea nominală standardizată, 1,5 – 3,0 MW;
- diametrul rotorului, 83 m.

Deformațiile specifice, ϵ				
Viteza vântului, m/s	Locația zonei critice în raport cu raza			
	0,18r	0,3r	0,5r	0,7r
10	0,000321	0,0004	0,00034	0,000414
11	0,000375	0,00044	0,00039	0,000468
12	0,000435	0,00049	0,00044	0,000527
13	0,000473	0,00052	0,00047	0,00056
14	0,000485	0,00053	0,00048	0,00057
15	0,000505	0,00054	0,0005	0,0006
16	0,000508	0,00056	0,00051	0,000611
17	0,000502	0,00056	0,00051	0,000607
18	0,000487	0,00055	0,00049	0,000584
19	0,000494	0,00056	0,0005	0,000593
20	0,000476	0,00055	0,00048	0,00056

Fig. 4.14. *Locațiile critice și valorile deformațiilor specifice.*

Diagrama rezultatelor simulării numerice este prezentată în figura 4.7 (§ 4.1.2). După cum se poate observa, modelarea numerică permite determinarea cu exactitate și localizarea locațiilor critice în raport cu raza

rotorului, iar din diagrama respectivă pot fi extrase valorile deformațiilor specifice. În cazul analizat au fost identificate și selectate patru locații dintre cele mai vulnerabile, valorile deformațiilor specifice fiind reflectate în figura 4.14.

Astfel, prin selectarea unui număr rezonabil de valori ale deformațiilor specifice pentru intervalul de viteze ale vântului 10 - 20 m/s, puterea nominală standard considerată și geometria rotorului, se poate construi un set de date simulat, care trebuie mixat cu date meteorologice reale (conform celor listate în p. 4.1.1) pentru un anumit interval de timp.

Având la dispoziție un set de date construit corespunzător cerințelor aplicației considerate, se deschide calea pentru cercetarea și construirea modelului de predicție a stării palei unei turbine eoliene. Aici vom aminti, ca pe o posibilă cale de luat în considerare, abordarea de construire/dezvoltare a modelelor de predicție pe baza „*sfatului experților*” [85]. Predicția, care urmează „*sfatului experților*”, se bazează pe următorul protocol pentru decizii secvențiale: decidentul este un prognosticator, al cărui scop este să prezică o secvență necunoscută ale elementelor unui spațiu de rezultat, predicțiile lui aparținând unui spațiu de decizie, care se presupune a fi o submulțime convexă a unui spațiu vectorial.

4.2. Monitorizarea și controlul sistemului autonom de irigare integrat cu instalații de conversie a energiilor regenerabile: eoliană, solară, hidrolică

4.2.1. Aspecte generale

În legătură cu faptul că numărul anilor secetoși este în continuă creștere (v. fig. 4.15) irigarea terenurilor agricole devine tot mai stringentă. De fapt irigarea terenurilor agricole se efectuează de mii de ani, însă în permanență Omul a optimizat procesul. Astăzi acest proces de irigare nu poate fi conceput fără utilizarea Tehnologiilor

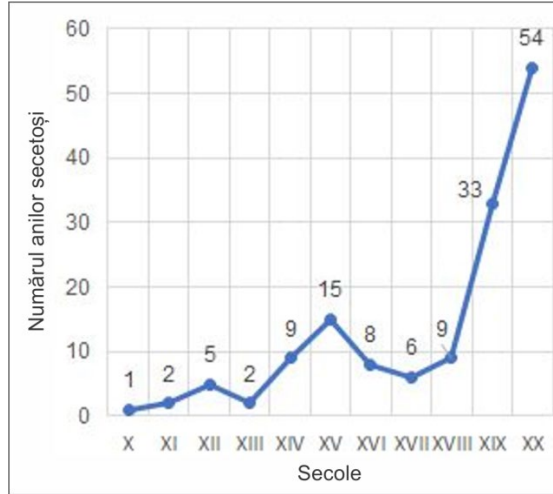


Fig. 4.15. Numărul anilor secetoși pe parcursul ultimului mileniu.

Informaționale, sistemele devenind mult mai inteligente. O componentă indispensabilă a unui sistem autonom modern de irigare este modulul senzorial de urmărire și control al parametrilor agrotehnici ai procesului de irigare la distanță de oriunde s-ar afla operatorul. Iar aceasta înseamnă: mai puțină apă și nutrienți consumați, aduși la momentul optim în

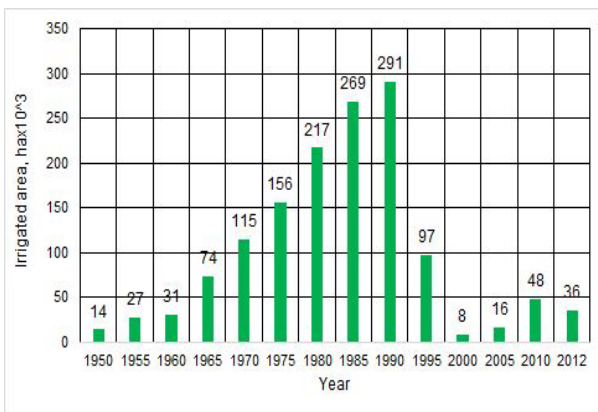


Fig. 4.16. Dinamica suprafețelor irigate în perioada 1950-1991.

cantitățile necesare la rădăcinile plantelor.

Din păcate, în ultimii 30 de ani suprafața terenurilor agricole în Republica Moldova s-a micșorat drastic (v. fig. 4.16) [86], vechile sisteme de irigare (de fapt prea energofage!) fiind

distruse, iar noi sisteme moderne de irigare fiind foarte puține.

Proiectarea subsistemului automatizat de control, monitorizare și optimizare a proceselor de irigare se va realiza având ca date inițiale de proiectare următoarele: culegerea datelor climatice de pe plantații, aplicarea de nutrienți și pesticide, modalitatea prelucrării informației și gradul controlului automat al irigației. Totodată, la proiectarea sistemului automatizat trebuie să se țină cont de amplasarea plantațiilor și de disponibilitatea resurselor regenerabile de energie. Cu alte cuvinte, subsistemul trebuie să fie adaptat teritorial, să fie ierarhizat și să cuprindă soluționarea diferitelor probleme ale irigației.

Având în vedere experiența celor mai avansate companii preocupate de acest domeniu [87 - 90], precum și experiența proprie, a fost propus un subsistem ierarhic *bazat pe trei niveluri*. *Nivelul inferior, tehnologic* este cel mai complex, neomogen și dependent de specificul întreprinderilor agricole. Acest nivel prevede identificarea mijloacelor de achiziție a datelor climatice, caracteristica câmpului de plantare, mijloacele de monitorizare și de control al supapelor de distribuție a fluxurilor de apă și al pompelor cu telecomandă. De asemenea, este necesar de a identifica mijloacele de acționare a echipamentelor de fertilizare, precum și a mijloacelor de monitorizare și control al resurselor regenerabile de energie.

Nivelul mediu al subsistemului realizează preponderent funcții de comunicație, cu un minim de capacități de calcul și de luare a deciziilor, astfel se prezintă ca un „gateway” al subsistemului. Acest nivel asigură pe plan intern comunicațiile dintre toate subsistemele componente, având posibilitatea de a susține un minim de funcții de decizie și control, inclusiv în lipsă de comunicație cu web-serverul.

Nivelul superior al subsistemului de automatizare, monitorizare și control al procesului de irigare este considerat drept soluție executivă tipică de Internet, care stochează toate informațiile primite de la senzori despre plantația irigată, precum și despre starea echipamentelor și a subsistemelor auxiliare în exploatare. Totodată, nivelul superior trebuie să ofere acces autorizat utilizatorilor sistemului de irigare în ansamblu.

Nivelul superior al subsistemului automatizat de control (web-serverul) poate permite monitorizarea de la distanță a mai multor sisteme

de irigare, grupuri de stații, inclusiv stocarea datelor arhivate. Dacă web-serverul de monitorizare și control al nodului este conectat la Internet, atunci monitorizarea instalațiilor de irigare se poate realiza din orice punct geografic cu ajutorul unui PC, notebook sau smartphone.

Conceptul de monitorizare la distanță a sistemului de irigare este prezentat în *figura 4.17*. Comanda electronică pentru acest concept este

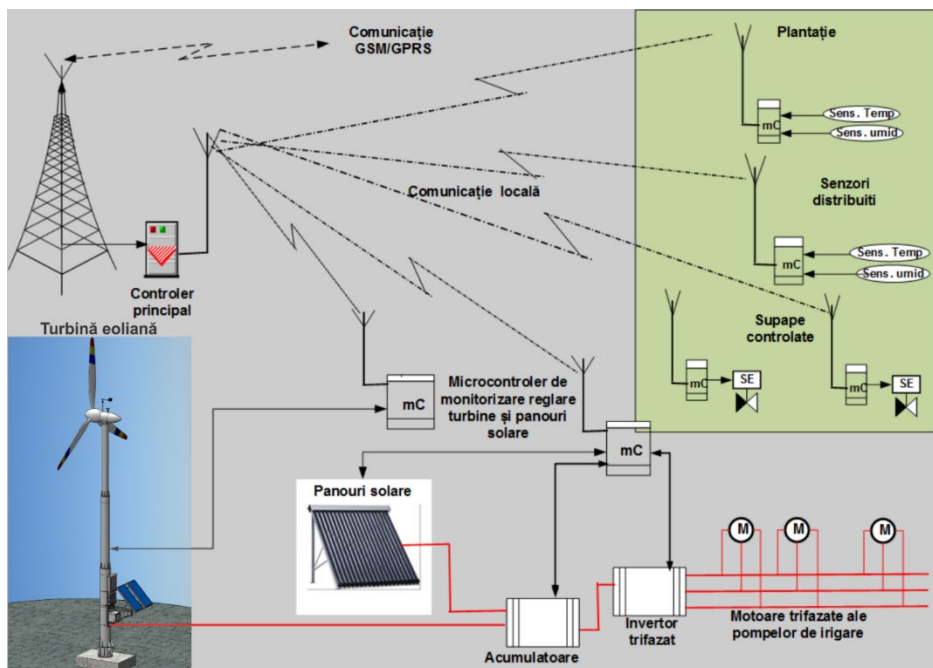


Fig. 4.17. Schema sistemului de irigare cu instalații eoliene și panouri fotovoltaice cu posibilități de monitorizare de la distanță.

efectuată pe trei nivel.

Pe primul nivel sunt plasate subsistemul de comandă cu sistemul de irigare, inclusiv, subsistemul de control al panourilor fotovoltaice, turbinelor eoliene sau microhidrocentralelor, care asigură:

- protecția generatorului turbinei eoliene (sau motorului electric al microhidrocentralei) la supraîncălzire și monitorizarea redresorului;
- controlul funcționării stației de generare a energiei electrice.

La acest nivel, controlul se realizează de microcontrolere de performanță medie, care funcționează autonom. Monitorizarea și ghidarea prin comunicații radio, spre exemplu, de la distanțe scurte (până la 2-3 km)

asigură și posibilitatea de a conecta un notebook pentru diverse teste tehnologice.

Soluțiile tehnice aplicate în proiect, structurile schematice și performanțele acestora sunt prezentate în următoarele compartimente.

4.2.2. Primul nivel al subsistemului de control al irigației

Unitățile de comandă ale primului nivel reprezintă nucleul sistemului de irigare dotat cu panouri solare sau cu turbine eoliene. Arhitectura unităților de comandă trebuie să rezolve o serie de probleme operaționale, printre care:

- asigurarea comunicării între instalația de conversie a energiilor regenerabile și subsistemul local de monitorizare și control a acesteia;
- citirea parametrilor telemetriei stației de comandă a instalației de conversie a energiei regenerabile;
- controlul și reglarea subsistemelor instalației de alimentare cu energie electrică.

Având în vedere complexitatea abordării parametrice a procesului de irigare, au fost identificate cerințele generale pentru modulul de comandă a sistemului de irigare:

✓ Modulul de comandă este menit să asigure detectarea defecțiunilor, astfel încât să îndeplinească cele mai importante funcții de protecție și securizare în caz de defecțiuni ale hardware-ului. Fiabilitatea modulului de comandă nu trebuie să fie mai mică de 0,9 pe parcursul unui an de exploatare;

✓ Este necesar ca toate interfețele unității de control să fie duplicate, astfel încât o singură defecțiune a interfeței să nu conducă la defectarea completă a sistemului;

✓ Unitatea de control trebuie să posede capacitatea de memorie necesară pentru stocarea comenzii software, să asigure telemetria și sarcina utilă obținută în timpul lipsei legăturii cu sistemul de monitorizare.

✓ Unitatea de control trebuie să fie adaptabilă la alte misiuni fără modificări esențiale ale hardware-ului și ale software-ului;

✓ Unitatea de control trebuie să corespundă criteriilor de compacitate constructivă și ermeticitate, să asigure un consum redus de energie;

✓ Unitatea de comandă trebuie să asigure reconfigurarea structurii cu sau fără reprogramare.

4.2.3. Subsistemul de achiziție a datelor climatice de pe plantație

Pentru sistemele de irigare, achiziția de date joacă un rol primordial. Din aceste motive, sistemul de irigare include un subsistem distinct de achiziție de date, bazat pe o rețea integrată de senzori. Ținând cont de condițiile de relief ale plantației și de cele climatice în regiune, este necesar ca controlul să fie efectuat de un microcontroler de performanță medie, care să funcționeze autonom, monitorizat și ghidat concomitent de controlerul de bază al sistemului de irigare prin comunicații radio de la distanțe scurte (până la 4-5 km).

A fost proiectată și realizată schema funcțională și echipamentul sistemului, inclusiv a senzorilor integrați cu modulele de comandă a supapelor pentru distribuirea fluxului de apă în sistemul de irigare, astfel încât să fie compatibil după caracteristicile lor, prezentate în fig. 4.18. Cele

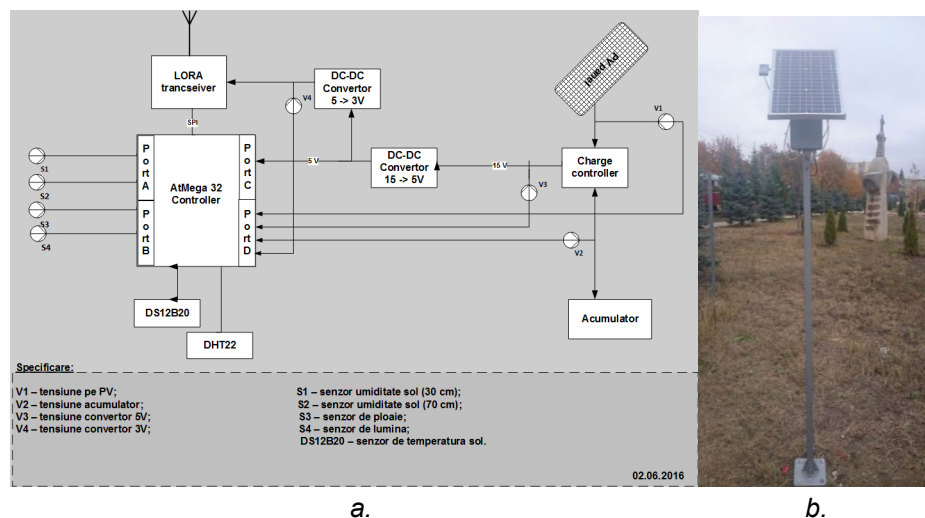
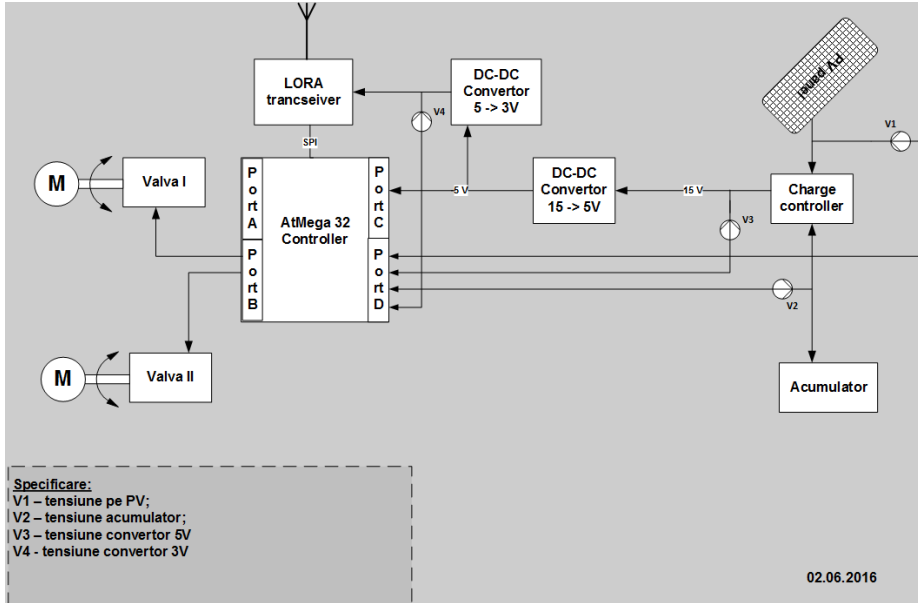


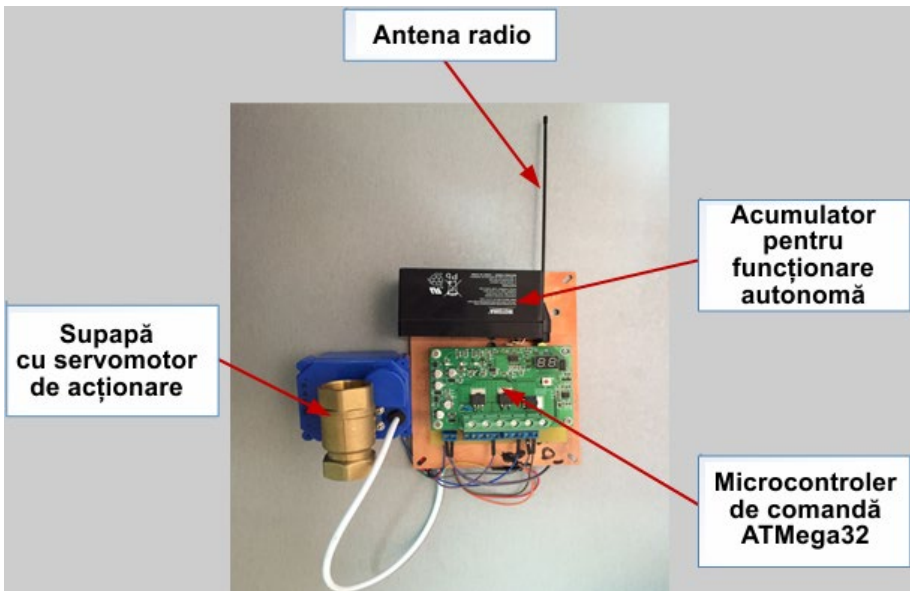
Fig. 4.18. Schema funcțională (a) și vederea reală (b) a modului de senzori multifuncționali integrați în bloc pentru sistemul de irigare.

mai importante componente ale modulelor de comandă sunt subsistemul electric dotat cu un panou fotovoltaic cu puterea de 20W, pentru a alimenta în regim autonom cu energie electrică subsistemul pentru asigurarea achiziționării datelor de la senzori de la distanță prin intermediul comunicațiilor radio. Senzorul integrat include un set de bare din inox înglobate în pământ la o anumită adâncime pentru controlul umidității și temperaturii aerului și a solului la două nivele, de asemenea un senzor de ploaie și altul de luminozitate. Toți senzorii în ansamblu sunt alimentați cu

energie electrică convertită de panoul fotovoltaic și depozitată într-un acumulator (fig. 4.19 – 4.20).



a.



b.

Fig. 4.19. Schema funcțională (a) și vederea reală (b) a modului de comandă a supapei pentru sistemul de irigare.

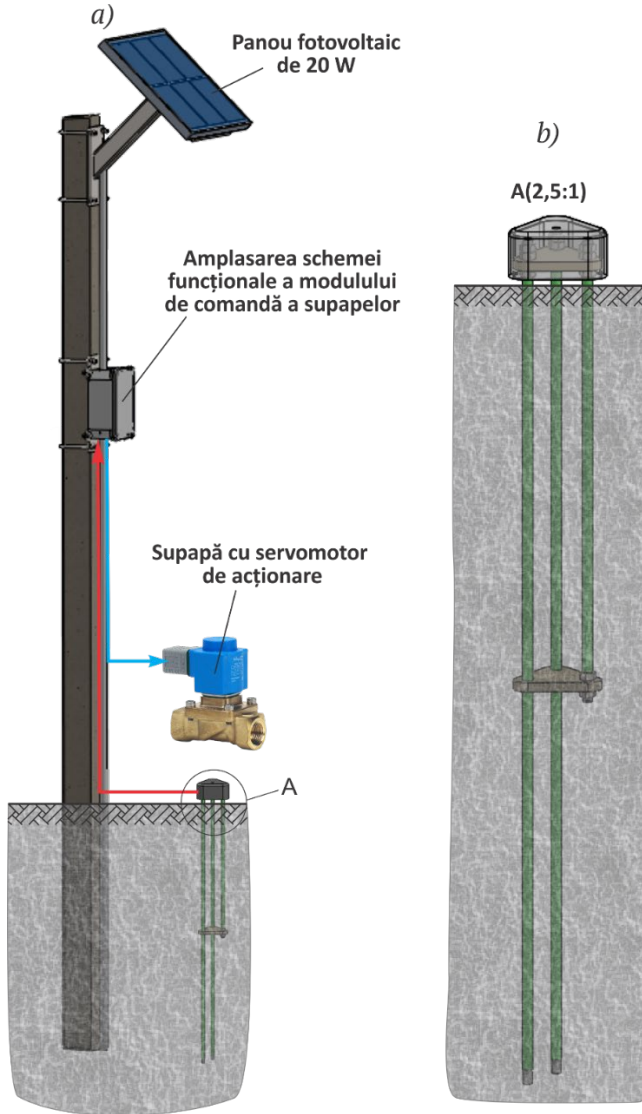


Fig. 4.20. Elaborarea construcției modulului de dirijare a supapelor (a) și de senzori pentru controlul parametrilor agrotehnici (b), alimentat cu energie electrică produsă de panoul fotovoltaic cu puterea $P=20\text{ W}$.

Arhitectura unității de control cu o durată de exploatare de circa 5-7 ani s-a bazat pe microprocesoare selectate în baza analizei mai multor familii de microcontrolere produse de Firmele *Atmel*, *Motorola*, *Renesas*, *Texas Instruments*. Selectarea s-a efectuat în baza analizei comparative a: productivității, capacității de memorie, consumului de energie, costului, accesibilității și fiabilității. Astfel, au fost selectate:

- μ C MSP430F155 din familia MSP430 de la *Texas Instruments*;
- μ C MC68HC912DT128A din familia MC68HC912 de la *Motorola*;
- μ C ATMega din familia *Atmel*.

Pentru modulul „*senzor integrat*” s-a selectat utilizarea controlerului μ C ATMega, cu performanțe comparabile cu ale altor controlere, dar cu un consum de energie foarte scăzut și un preț relativ redus.

Analogic a fost proiectat modulul de control al supapelor pentru distribuția fluxurilor de apă, cu funcția binomă cu destinația „*deschide/închide*”, dotate cu electromotoare DC, care dirijează deschiderea/sau închiderea acestora (fig. 4.19 – 4.20,*a,b*).

O caracteristică importantă a subsistemului de achiziție a datelor climatice de pe plantație este viteza mare de achiziție (toate datele pot fi primite în 1-2 secunde). Costul de achiziție a supapei cu electromotor DC este de circa 150 de dolari pe unitate.

Pornind de la faptul că instalațiile de conversie a energiilor regenerabile au propriul subsistem de comandă, în acest caz s-a realizat doar protocolul de interacțiune cu controlerul din cel de-al doilea nivel. În cazul proiectului a fost elaborat un controler pentru turbinele eoliene și microhidrocentrale proiectate și produse la Universitatea Tehnică a Moldovei.

Amplasarea teritorială a senzorilor integrați și a modulelor de comandă „*deschide/închide*” cu supape se face în funcție de specificul terenului plantației și de configurația instalațiilor de irigare. În acest scop se elaborează hărțile de amplasare a senzorilor integrați și a modulelor de comandă a poziționării supapelor (fig. 4.21).

În concordanță cu solicitările comanditarului se va decide schema parcelării și amplasării senzorilor. De exemplu, utilizarea unui modul de comandă a ventilelor pentru 2 parcele și a unui senzor integrat pe 4 parcele (6 module integrate de senzori și 12 supape).

4.2.4. Subsistemul pentru controlul și monitorizarea instalațiilor de conversie a energiilor regenerabile

Nivelul inferior al sistemului de irigare include, de asemenea, un subsistem de control și monitorizare a instalațiilor de conversie a energiilor regenerabile bazat pe turbine eoliene sau (și) panouri fotovoltaice. Acest subsistem are mai multe funcții, printre care protecția generatorului de turbine eoliene puternice de supraîncălzirea și monitorizarea redresorului, reglarea poziției pentru a optimiza stația de generare a energiei electrice.

Există mai multe variante de realizare a acestui subsistem, în funcție



Fig. 4.21. Vedere reală a amplasării modulelor de senzori integrați și de comandă a supapei pentru sistemul de irigare.

de tipul de energie - eoliană și/sau solară de la panourile fotovoltaice. Dacă resursele regenerabile au propriul subsistem de comandă, atunci rămâne doar de realizat protocolul de interacțiune cu controlerul din al doilea strat. În acest caz a fost elaborat un controler pentru turbinele eoliene proiectate și produse la Universitatea Tehnică.

În cazul panourilor fotovoltaice, problema este mai simplă deoarece este mai rezonabil să consumăm puterea DC produsă de panouri fără a folosi invertoarele DC/AC, ceea ce ar duce la pierderi semnificative de energie. Pentru aceasta, se propune un simplu controler, care măsoară tensiunea/curentul obținut de PV, precum și verificarea siguranțelor în

cazul unui scurtcircuit. În fig. 4.22 este prezentată schema funcțională a modulului de comandă a turbinei eoliene și PV pentru sistemul de irigare.

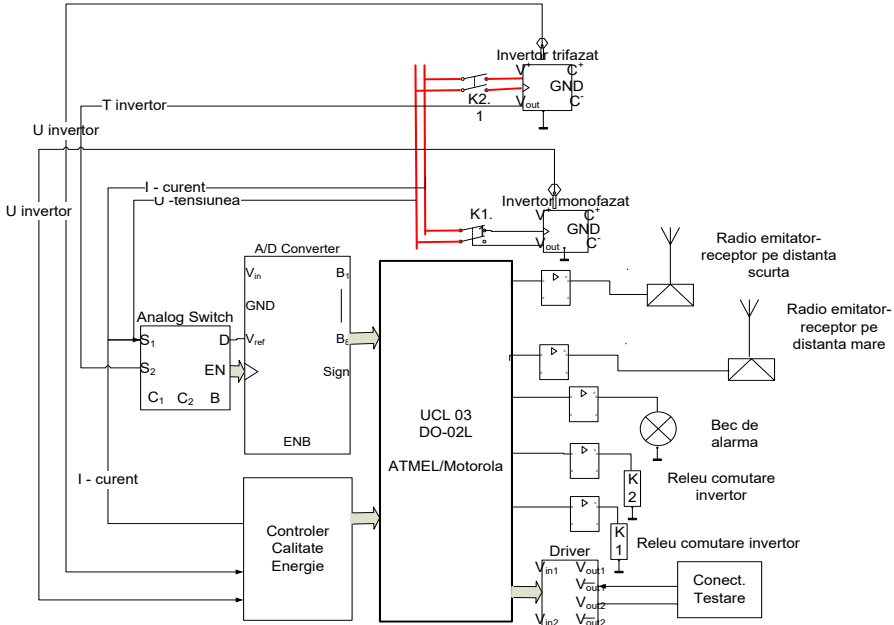


Fig. 4.22. Schema funcțională a modulului de comandă a turbinei eoliene și PV pentru sistemul de irigare.

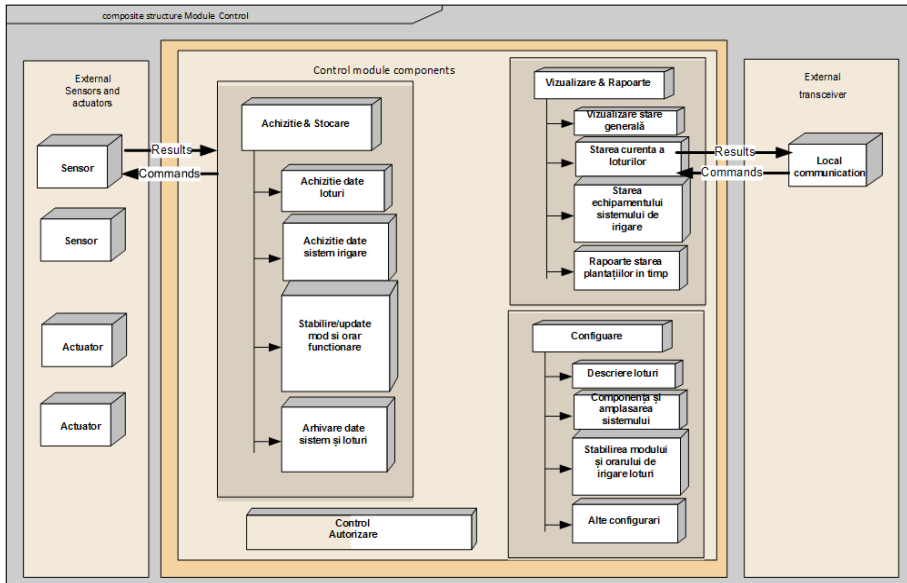


Fig. 4.23. Schema funcțională a softului modulului de comandă a instalației de irigare.

Modulele descrise se bazează pe microcontrolere și este clar că software-ul acestor module este cheia succesului. Acest software dezvoltat include câteva componente, cum ar fi: microsistemul de operare, achiziția de date și prelucrarea preliminară, controlul actuatorilor și modulelor de comunicații. Cele mai importante sunt modulele de comunicații, care asigură compatibilitatea protocoalelor de comunicație cu componentele de nivel înalt ale sistemului (fig. 4.23).

4.2.5. Subsistemul pentru controlul și monitorizarea funcționării pompelor de irigare

Pornind de la utilizarea instalației de conversie fotovoltaică DV pentru alimentarea sistemului autonom de irigare, opțiunea cea mai rezonabilă este folosirea pompelor solare. Specificul constructiv-funcțional al acestor pompe constă în folosirea motoarelor electrice AC sau BLDC care, consumând curentul produs de o instalație PV sau o turbină eoliană, rotește arborele pompei cu diferite viteze unghiulare, asigurând anumite presiune și debit. Analizând diferite sisteme de pompare solară, s-a decis utilizarea pompelor solare ale Companiei *Lorentz* din Germania, care au cel mai bun raport cost–eficiență. Sistemele solare submersibile și de suprafață *Lorentz* sunt concepute pentru a furniza în mod eficient volume mari de apă, ce funcționează exclusiv pe energie solară. Acestea sunt utilizate de obicei în sisteme de irigare, de asemenea în instalații de pompare a apei potabile pe scară largă, unde satisfac cerințele social-economice cele mai exigente, fără poluare și fără conectare la rețea sau la grupuri electrogene [91, 92].

Un sistem tipic de pompare solară este alcătuit dintr-o serie de panouri fotovoltaice, o pompă și un controler de pompă solară. Modulele fotovoltaice conectate în serie și în paralel absorb iradierea Soarelui și o convertesc în energie electrică, astfel furnizând energie pentru întregul sistem. Controlerul pompei verifică și reglează turația arborelui pompei în timp real, în funcție de variația intensității iradiației solare, pentru a realiza urmărirea punctului maxim de putere (MPPT). Completul pompei *Lorentz* constă din pompa propriu-zisă, un motor electric de acționare și un controler (fig. 4.24).

Această simbioză modulară păstrează toate componentele

electronice la sol (deasupra apei), inclusiv pentru pompele submersibile, simplificând întreținerea și reducând costurile de achiziție, având următoarele caracteristici [93]:

- Controlul pompei se efectuează pe baza puterii disponibile.
- Motoarele Brushless ECDRIVE DC sau AC sunt special concepute pentru funcționarea solară cu o eficiență de până la 92%.
- Monitorizarea și gestionarea, inclusiv înregistrarea la bord a datelor de performanță pe durata până la 5 ani, accesul inteligent al dispozitivului

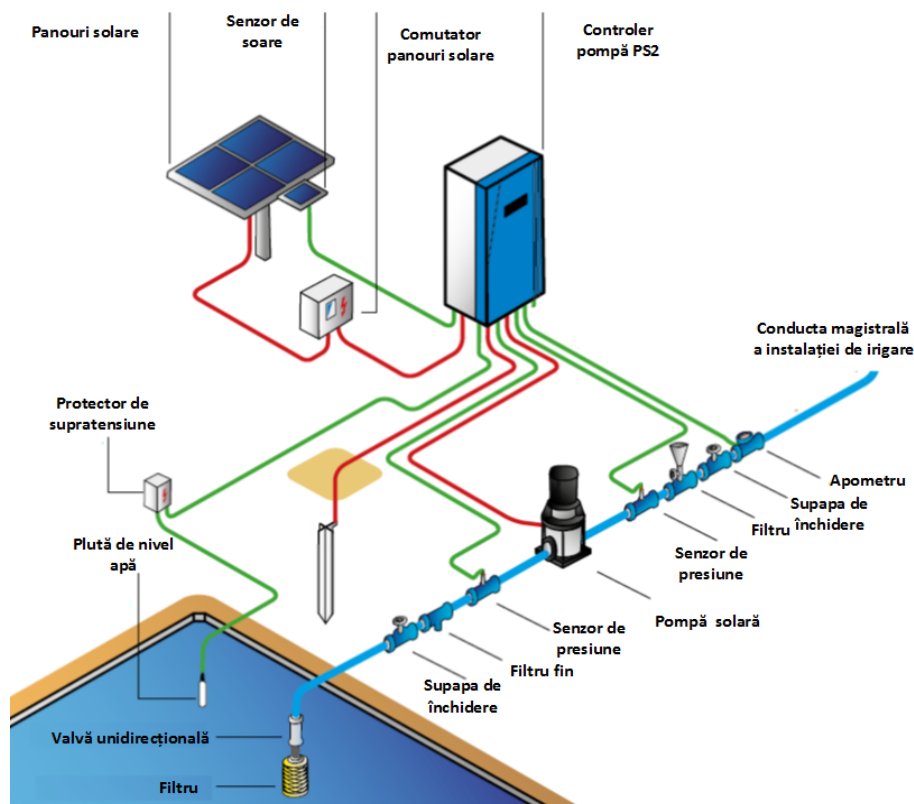


Fig. 4.24. Schema funcțională a pompei și a controlerului pentru sistemul de irigare.

prin intermediul aplicației PumpScanner Android™ și integrarea la serviciul Lorentz pumpMANAGER, care este disponibil opțional.

Controlerul PS7K2 este destinat adaptabil pentru pompă solară din noua generație pentru pompele de suprafață sau submersibile Lorentz PSk. Acesta utilizează o conexiune fără fir Bluetooth® pentru a asigura conectarea la un smartphone sau la o tabletă Android® ce rulează

software-ul Lorentz PumpScanner. PumpScanner este disponibil prin intermediul site-ului partener extranet „partenerNET”. Software-ul PumpScanner operează configurarea rapidă și simplă. El deține cele mai recente versiuni ale software-ului de sistem al pompelor, precum și funcții noi.

Configurarea PS7K2 – PS7K2 simplifică procesul de instalare, utilizând aplicația PumpScanner Android® pentru a programa parametrii controlerului. Această programare este foarte simplă și necesită doar selectarea corectă a regulatorului și a pompei, precum și configurarea parametrilor conform raportului COMPASS. PS7K2 încorporează PS DataModule, care stochează datele de funcționare și permite programarea unor caracteristici suplimentare. Folosind PumpScanner se poate atesta performanța reală și istorică a pompei. PumpScanner se instalează pe un dispozitiv Android® (smartphone sau tabletă).

4.2.6. Nivelul intermediar al subsistemului de control al procesului de irigare

Se propune un modul de control al sistemului de irigare care să coordoneze toate procesele din instalațiile de irigare și de comunicare cu serverele. În acest caz a fost selectat controlerul Raspberry cu performanțe mai ridicate de calcul și costuri reduse. A fost dezvoltat software-ul respectiv, care include mai multe componente pentru coordonarea comunicării dintre modulele de nivel inferior și de nivel superior. Se propune ca interacțiunea dintre controlerile instalațiilor de conversie a surselor regenerabile, senzorii integrați și sistemul de monitorizare să se realizeze conform unui model prezentat în *figura 4.25*.

Acesta permite accesul utilizatorilor sistemelor de irigare practic de la o distanță nelimitată, ceea ce este posibil prin folosirea comunicațiilor și computerelor, inclusiv a Internetului.

Interacțiunea controlerelor este simplificată în cazul în care controlerul sistemelor de irigare se conectează la rețeaua de comunicații. În acest caz, pentru realizarea modelului de comunicații radio de viteză medie/mare există o diversitate de posibilități și mijloace. Aceste mijloace trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- putere relativ scăzută a emisiilor, dar sensibilitate ridicată;

- posibilitatea modificării frecvențelor emisiilor într-o manieră programată;

- moduri de comunicare tip GSM/GPRS;
- posibilități de menținere a diferitor protocoale de comunicare.

Aplicând acest model, s-a propus arhitectura controlerului, care include două canale de comunicare diferite: primul pentru interacțiunea de nivel jos în banda de frecvențe 435-450 MHz, iar al doilea canal – bazat pe GSM/GPRS cu modul de conectare la serverul de Internet prin rețeaua de comunicație mobilă. Acesta este modul de control al sistemului de irigare, care coordonează toate procesele de irigație și comunică cu serverele de nivel înalt. În acest caz, se propune controlerul Raspberry cu performanțe mai înalte de calcul și costuri reduse. În cadrul proiectului a fost dezvoltat software-ul pentru acest controler, care include mai multe componente pentru

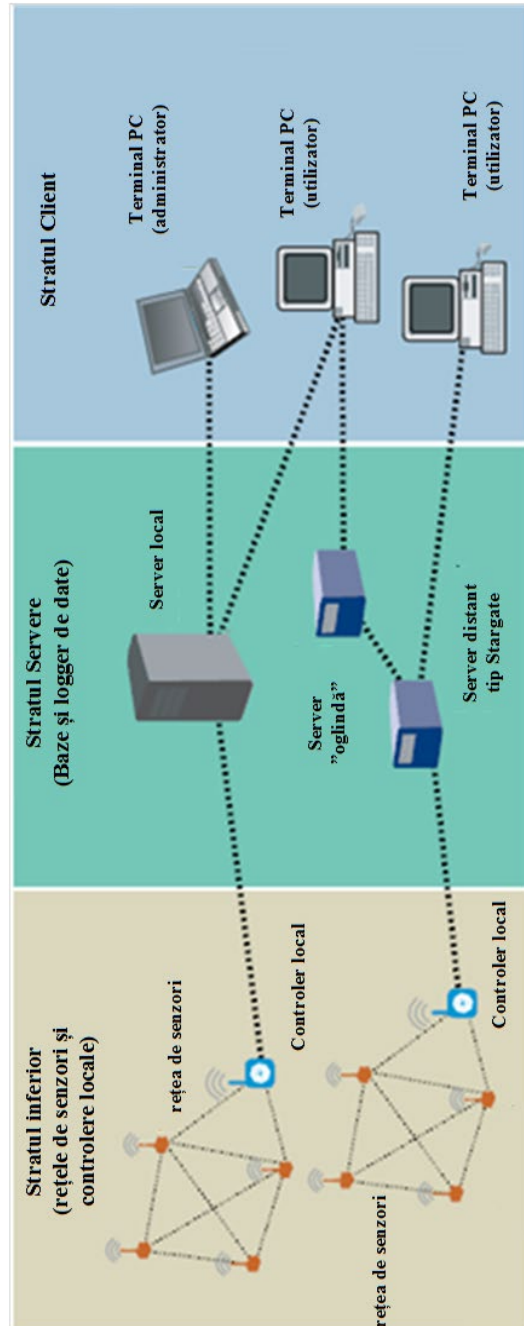


Fig. 4.25. Model de interacțiune a sistemelor ierarhice prin diverse rețele de comunicații, recomandat pentru teleghidarea instalațiilor de irigare.

coordonarea comunicării dintre modulele de nivel inferior și servere.

Pentru comunicarea dintre nivelul mediu și cel superior s-a propus modalitatea de interconectare în baza GPRS. În cazul operațiunilor GPRS, conexiunea se produce direct prin Internet, iar modemul GPRS reprezintă o interfață de rețea IP socket. Nu există un canal de date rezervat pentru partajarea datelor între doi abonați, în schimb resursele sunt alocate dinamic la cerere, iar datele schimbate sunt de obicei ambalate în TCP/IP. În acest caz, viteza maximă de transfer poate fi mult mai mare decât în modulul CSD GSM.

Această abordare are avantaje în proiectarea aplicației de conexiune GPRS – modemul conectat direct pe Internet, aflat încontinuu în așteptare de a fi accesat virtual geografic de oriunde. De asemenea, productivitatea pe GPRS, de fapt, „*facturarea*” conexiunii GPRS, se bazează pe volumul de date schimbate (numărul de pachete transferate), independent de momentul conectării active. Prin urmare, este posibil ca aplicația de control să rămână mereu conectată și gata în așteptare să primească/să trimită date la cerere, în timp ce plata se face numai pentru datele cu adevărat modificate. Dezavantajul conexiunii GPRS constă în faptul că cererea de control trebuie să aibă propria stivă de protocoale TCP/IP încorporată, pentru a decoda pachetele care sosesc din GPRS și ulterior pentru a le codifica pe cele care urmează să fie trimise prin Internet.

Există câteva considerații tehnologice care trebuie să fie luate în calcul în legătură cu specificul conexiunilor GPRS:

- Viteza conexiunii cu un dispozitiv GPRS multislot este asimetrică, de 3 sloturi cu timp de recepție (43200 bps max) și 2 sloturi cu timp de expediere (28.800 bps max) sau 4 sloturi în timp de recepție (57600 bps max) și 1 slot de timp de expediere (14400 bps max).

- Aplicația de control al modulelor necesită un software TCP/IP stack PPP la interfața modemului GPRS.

- Programul de control al modemului trebuie să se bazeze pe un ISP care să poată a fi operatorul rețelei SIM, pentru a furniza conexiune GPRS la Internet.

- Programul de recepție trebuie să aibă mai întâi acces la Internet, și apoi la expeditor.

- Pornind de la faptul că comunicarea se bazează pe pachete TCP/IP,

este posibil de a comunica cu mai mulți abonați.

- În caz de necesitate, securitatea datelor pe Internet poate fi asigurată prin protocoale de securitate în afara protocoalelor TCP/IP, care trebuie gestionate prin intermediul aplicației de control.

Modulul GPRS le permite utilizatorilor să contacteze un abonat pe Internet și să stabilească un flux de date „brut” între GPRS și Internet. Această posibilitate poate fi apreciată ca o modalitate de a obține o conexiune serială „virtuală” între software-ul aplicației pe computerul serverului Internet și controlerele de nivel inferior cu modulul GPRS, indiferent de toate stivele de software. Un exemplu de protocol stack implicat în dispozitive este prezentat în figura 4.26. Pentru a realiza acest mod de funcționare, se stabilesc apriori parametrii inițiali ai conexiunii, cu identificarea parametrilor de context.

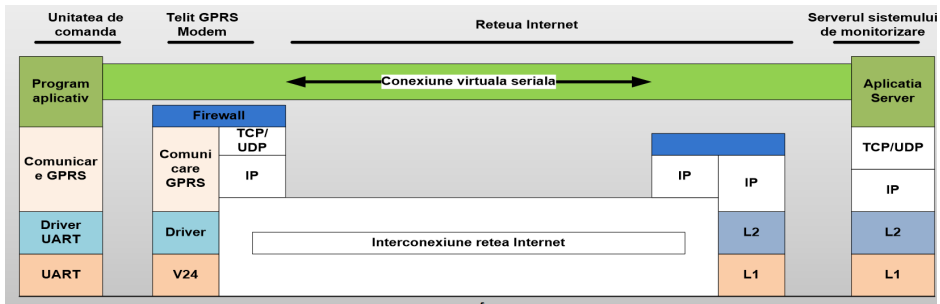


Fig. 4.26. Stiva protocoalelor pentru interconectarea GPRS.

Parametrii de context reprezintă un volum de informații pentru identificarea interfeței punctului de intrare în Internet furnizat de ISP. Cu ajutorul acestor parametri de rețea GPRS se identifică ISP-ul care va fi utilizat pentru a avea acces la Internet și definește adresa IP a dispozitivului GPRS odată conectat.

4.2.7. Nivelul superior al subsistemului de control al procesului de irigare

Ținând cont de particularitățile sistemelor de irigare, s-a propus arhitectura nivelului superior de control cu un bloc informatic pe două servere cu destinație diferită. Primul server, numit „fundal”, este organizat pe tehnologia IOT (Internet of Things) și este destinat pentru comunicarea intensă cu toți controlorii locali ai instalațiilor de irigare.

Avantajul sistemului constă în asigurarea funcționării cu o mulțime de date brute, fără formatare specială. Primul server este accesibil numai pentru administrator, nu și pentru utilizatorii finali. Al doilea server, denumit „server public”, are rolul de a stoca datele despre plantațiile agricole, despre sistemul de irigare și asigurarea unei interfețe prietenoase pentru utilizatorii finali. A fost dezvoltată și realizată structura bazei de date a sistemului de monitorizare, ce reflectă toate componentele necesare: plantații întregi sau parcele, regulile de irigare, compoziția și starea instalațiilor amplasate pe ambele servere (fig. 4.27 - 4.29).

Conceptual, structura bazelor de date este similară, însă structura logică și cea fizică este diferită. S-a dezvoltat o aplicație pentru gestionarea datelor pentru baza de date publică a serverului și unele aplicații pentru vizualizarea grafică a datelor curente din sistemul de irigare.

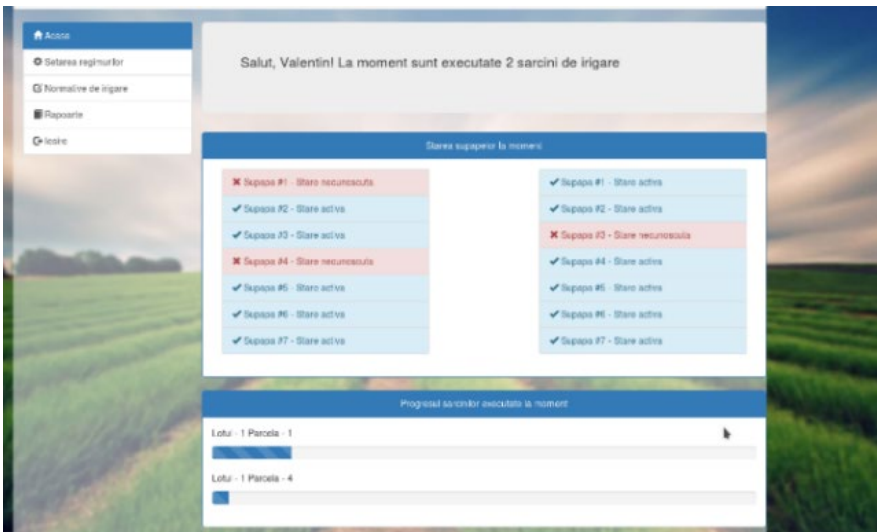


Fig. 4.28. Exemplu de interfață de aplicație pentru utilizatorul final pe serverul public.

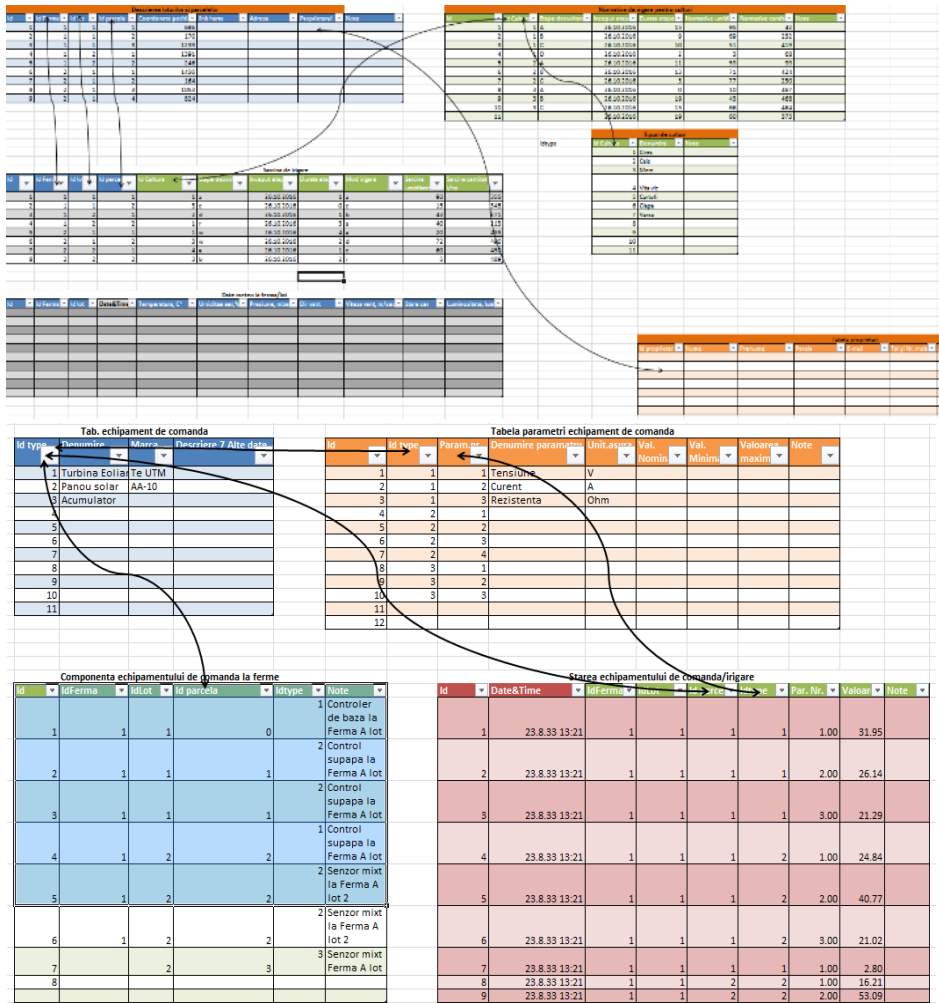


Fig. 4.27. Exemple de tabel din baza de date privind sistemul de irigare.

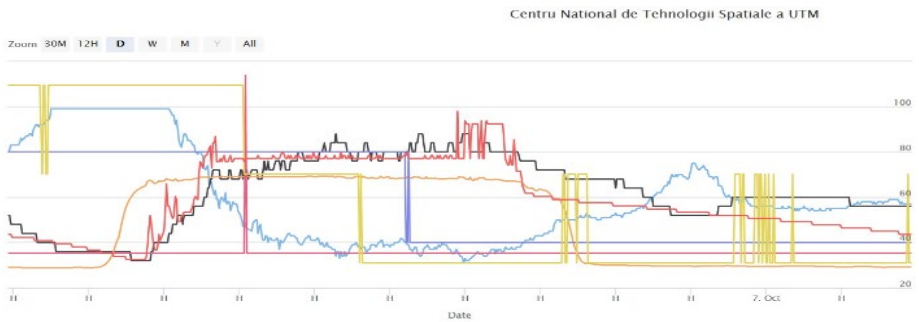


Fig. 4.29. Exemplu de interfață de aplicație pentru utilizator pe serverul de fundal.

4.2.8. Planificarea și controlul procesului de irigare

Analiza mai multor sisteme de control al procesului de irigare are diferite abordări [93 - 95], în funcție de competențele agronomice ale utilizatorilor:

- de la automatizarea completă la diferite modalități mixte, care au scopul de a scuti utilizatorul de efort suplimentar privind monitorizarea procesului de irigare a plantațiilor, astfel substituind automatizarea completă care, în ansamblu, nu întotdeauna este cea eficientă. Motivul scăderii eficienței poate fi ignorarea apriori a unor factori în procesul de optimizare – simplificare, care să fie bine înțeles de către utilizator;

- planificarea automată și controlul / reglementarea „*buclă închisă*”;

- planificarea semiautomată și controlul / reglementarea „*buclă deschisă*” (varianta A);

- planificarea manuală și controlul / reglarea „*buclă deschisă*” (varianta B).

De obicei, sunt utilizate două tipuri generale de reglare automată a proceselor de irigare: cu „*buclă deschisă*” și cu „*buclă închisă*”. Diferența dintre acestea este că „*buclă închisă*” va avea feedback de la senzori pentru a lua decizii automate și a le aplica în sistemul de irigare. Totodată, sistemele cu „*buclă deschisă*” aplică o acțiune de irigație temporizată, prestabilă de operator [95].

Fiecare dintre cele două tipuri de reglări au avantajele și dezavantajele lor. Primul tip asigură o operare automată pură și optimizează consumul de apă, iar al doilea necesită intervenția factorului uman. Aceste două tipuri de control și reglare a consumului de apă sunt descrise mai jos, ceea ce permite consumătorului să aleagă regimul de irigare adecvat situației.

4.2.9. Planificarea automată și controlul / reglarea cu „*buclă închisă*”

Sensul acestei abordări este de a planifica procesul de irigare în baza datelor normative de irigare a plantațiilor pe anumite soluri, cu posibilitatea de a intervine în ajustarea acestor norme. În acest caz procesul de control / reglare se face cu „*buclă închisă*” pe baza datelor obținute de la senzorii inteligenți de urmărire a umidității și a temperaturii pe anumite parcele (fig. 4.30).

În sistemele de comandă cu „*buclă închisă*”, circuitul de comandă necesită obținerea datelor de mediu (umiditatea solului, radiația, viteza vântului etc.), inclusiv a parametrilor din sistem (presiunea, debitul etc.) prin utilizarea mai multor senzori – feedback – „*buclă închisă*”, fiind utilizată pentru blocul de decizie. Utilizatorul stabilește doar strategia de control, iar sistemul informațional determină deciziile detaliate privind

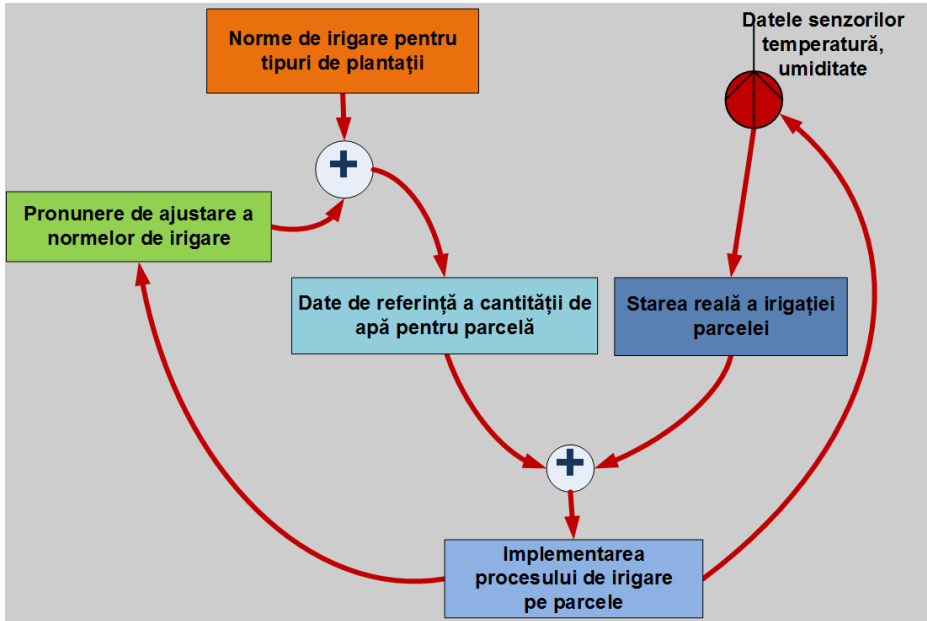


Fig. 4.30. Reglarea automată a proceselor de irigare („*buclă închisă*”).

timpul și volumul de irigare, acțiunile care se efectuează pe baza datelor primite de la senzori. Feedbackul și controlul sistemului sunt efectuate în mod continuu și automat.

Scopul acestei abordări este de a elibera utilizatorul de anumite sarcini, de a completa parametrii de automatizare și de a economisi timp pentru utilizator. Totodată, această abordare ia în considerare precipitațiile naturale, adăugate fără intervenția utilizatorului. Dezavantajele acestei abordări sunt legate de necesitatea instalării senzorilor pe fiecare parcelă controlată, în caz contrar se poate produce efectul irigației neuniforme a parcelei.

4.2.10. Planificarea semi-automată și controlul / reglarea cu „buclă deschisă” (varianta A)

Această abordare este mai complicată și constă atât în planificarea procesului pe baza datelor normative de irigare a plantațiilor concrete pe anumite soluri, cât și în necesitatea adaptării acestor norme în funcție de mai mulți factori: date reale provenite de la senzorii instalați pe plantație, cantitatea efectivă de precipitații în perioada respectivă. Procesul de reglare este realizat cu o „buclă deschisă”, care nu se bazează pe datele obținute de la senzorii inteligenți de umiditate, temperatură pe parcela respectivă, dar pe cantitatea de apă livrată prin contoare speciale pe fiecare parcelă (fig. 4.31).

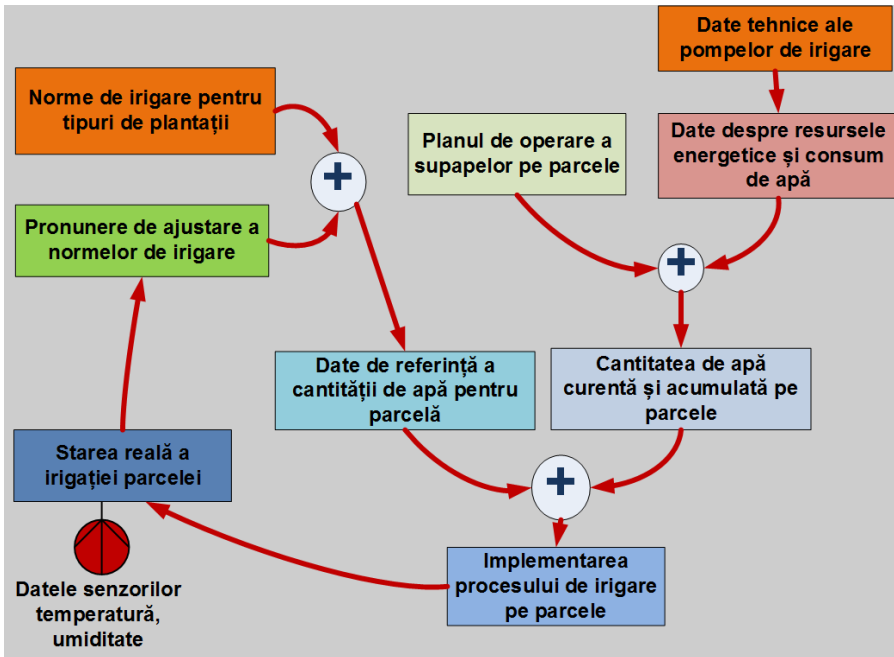


Fig. 4.31. Reglarea semi-automată a proceselor de irigare („buclă deschisă”, varianta A).

În acest caz, parametrii de bază de control, și anume periodicitatea și cantitatea apei pentru irigare, sunt determinați cu controloare ce folosesc cronometre (ceasuri electronice) pentru a porni și a opri irigarea după aplicarea unui volum dat.

Avantaje. Sistemele de control cu „buclă deschisă” (varianta A) sunt simple, ușor accesibile și asigură multe variații ale dispozitivelor fabricate,

cu grade diferite de flexibilitate în raport cu numărul de parcele și nu necesită senzori pe fiecare parcelă, ci un număr limitat pe întreaga plantație.

Dezavantaje. Aceste sisteme nu răspund automat la schimbarea condițiilor din mediu și necesită o resetare frecventă de către operator, pentru a atinge un nivel ridicat de eficiență a irigației. Astfel, eficiența depinde de factorul uman, de experiența operatorului / utilizatorului.

4.2.11. Planificarea manuală și controlul / reglarea cu „*buclă deschisă*” (varianta B)

Ideea acestor abordări este foarte simplă și constă în planificarea procesului nu pe baza datelor normative de irigare a plantațiilor pe anumite soluri și adaptarea acestor norme fără a ține cont de mai mulți factori: de date reale provenite de la senzorii instalați în plantație, de proprietățile concrete ale solului, de cantitatea de precipitații în anumite perioade și intervale de timp. Astfel, procesul de reglare este realizat cu o „*buclă deschisă*”, care nu se bazează pe datele obținute de la senzorii inteligenți de umiditate, de temperatura în parcelă sau cantitatea de apă livrată pe fiecare parcelă, ci pe timpul de irigare la fiecare parcelă (fig. 4.32).

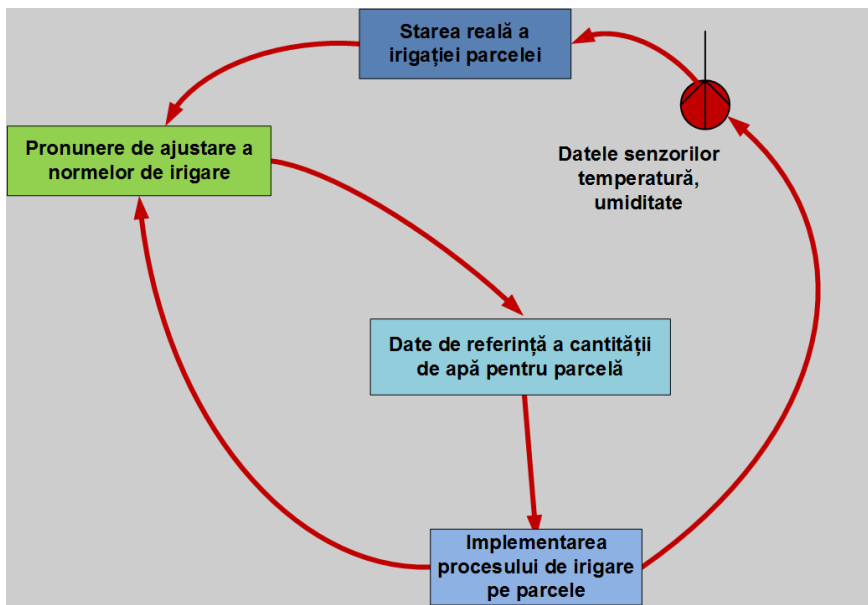


Fig. 4.32. Reglarea semiautomată a proceselor de irigare („*buclă deschisă*”, varianta B).

Avantaje. Sistemele de control cu „*buclă deschisă*” (varianta B) sunt simple, ușor accesibile și nu necesită senzori instalați pe fiecare parcelă, ci un număr limitat pe plantație sau chiar lipsa totală a senzorilor.

Dezavantaje. Acest sistem are un mare dezavantaj (ca în varianta A) – nu răspunde automat la schimbarea condițiilor din mediu și necesită o resetare frecventă de către operator, pentru a atinge un nivel ridicat de eficiență a irigației. Astfel, eficiența depinde în totalitate de experiența operatorului / utilizatorului.

Descrierea și realizarea acestor trei abordări îi va permite utilizatorului să aplice una dintre ele care, în condiții concrete, este considerată mai eficientă.

BIBLIOGRAFIE

1. <https://www.wago.com/ro/inginerie-electric%C4%83> Accesat: 13.09.2022.
2. <https://www.eu4civilsociety.md/storage/resources-publications/August2021/XzhyHZSdfFKxK3v7AIx8.pdf>. Accesat: 13.09.2022.
3. <https://www.eea.europa.eu/ro/themes/energy/intro>. Accesat: 13.09.2022.
4. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ro_annual_report_2018_ro.pdf. Accesat: 09.09.2022.
5. <https://www.bursa.ro/cota-energiei-regenerabile-in-consumul-de-electricitate-din-ue-s-a-dublat-in-12-ani-88180434>. Accesat: 06.09.2022.
6. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistici_privind_energia_din_surse_regenerabile#Ponderea_energiei_din_surse_regenerabile_a_crescut_de_aproape_doua.C4.83_ori_.C3.AEntre_2004_.C8.99i_2018. Accesat: 18.08.2022.
7. <https://www.bursa.ro/pentru-atingerea-obiectivului-de-neutralitate-a-emisiilor-ey-este-nevoie-de-investitii-in-electrificarea-transporturilor-si-sistemelor-de-incalzire-04285830>. Accesat: 18.08.2022.
8. <https://adevarul.ro/stil-de-viata/tehnologie/solutia-huawei-digital-power-prezentata-la-cop26-2130603.html>. Accesat: 16.06.2022.
9. <https://www.energobit.com/ro/al-doilea-val-de-regenerabile-se-bazeaza-pe-proiecte-fotovoltaice/>. Accesat: 16.06.2022.
10. <https://www.thepatent.news/2019/12/17/smartflower-solar-panel/>. Accesat: 16.06.2022.
11. <https://www.weforum.org/agenda/2016/10/wind-turbine-that-looks-like-a-tree/>. Accesat: 16.06.2022.
12. DULGHERU V., ZAPOROJAN S., LARIN V., MANOLI I., MUNTEANU E., RABEI I. Cerere de brevet de invenție nr. S 2022 0030 MD. CIB *F03D 11/00*, *F03D 7/02*, *F03D 1/00*, *G08B1/08*. Metodă și dispozitiv de monitorizare predictivă a stării turbinei eoliene și de implementare a contramăsurilor. UTM. 2022.05.18.
13. VOLKMER P. International Application nr. PCT/DE01/04936. Method and device for monitoring the state of rotor blades on wind turbines. Publication nr. WO 2002/053910. 11.07.2002. Applicant IGUS

Ingenieurgesellschaft Umweltschutz mess und Verfahren-technik GMBH, DE.

14. CASTRO J. G. International Application nr. PCT/US2014/031190. System and method for detecting ice on a wind turbine rotor blade. Publication nr. WO 2014/168745 A1. 16.10.2014. Applicant: GENERAL ELECTRIC COMPANY, US.

15. MARTINEZ M.J., GONZALES J. I. L. International Application nr. PCT/ES04/00502. Monitoring data processing equipment for wind turbines and predictive maintenance system for wind turbine stations. Publication nr. US 2007/0140847 A1. 21.06.2007.

16. XIA, Q., ZHANG, T., LIEW A. EP 2472103 B1. A wind turbine maintenance system and method of mentenance therein. 22.04.2015. VESTAS WIND SYSTEMS A/S.

17. BOSTAN I., BOSTAN V., DULGHERU V., GUȚU M. BI nr. 1127 (MD). Int. Cl. F03D7/02. Pală a rotorului turbinei eoliene. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. deposit S 2016-0086; Data deposit 27.06.2016. Publ.: BOPI nr. 2/2017.

18. BOSTAN V., BOSTAN I., DULGHERU V., DUMITRESCU C., CIOBANU O., CIOBANU R., GUȚU M. BI nr. 4487 (MD). Int. Cl. F03D1/00. Turbină eoliană cu ax orizontal. Universitatea Tehnică a Moldovei, Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică, București. Nr. deposit S 2016-0092. Data deposit 2016.08.01. Publ.: BOPI nr. 5/2017.

19. BOSTAN V., DULGHERU V., TOACĂ A. BI nr. 1553Y (MD) CIB F03D 1/00, F03D 7/04. Turbină eoliană cu ax orizontal cu control automat al puterii / Universitatea Tehnică a Moldovei., – Nr. depozit s 2020 0067. Data depozit: 2020.06.22. Publ.: BOPI nr. 7/2021.

20. BOSTAN I., DULGHERU V., BOSTAN V., SOBOR I., SOCHIREANU A. BI nr 4219 (MD). CIB F03D1/00 // F03D 7/04. Turbină eoliană cu ax orizontal / Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. 2012 0073 ; Decl. 06.09.2012; Publ.: BOPI Nr 4/2013.

21. BOSTAN I., VIȘA I., DULGHERU V., CIUPERCĂ R. MI 3847(MD) CIB F03D 3/00 // F03D 3/06. Turbină de vânt cu ax vertical (variante). Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. deposit 2007 0134. Data deposit 11.05.2007; Publ.: BOPI nr 2/2009.

22. BOSTAN I., VIȘA I., DULGHERU V., CIUPERCĂ R. BI nr. 127909 (RO), CIB F03D 3/02; F16H 48/08; F16H 48/14. Turbina eoliană cu ax vertical combinată. Universitatea Tehnică a Moldovei – Universitatea Transilvania din Brașov. Nr. depozit: 2008- 00360; Decl. 14.05.2008; Publ.: BOPI. Nr 11/2013.

23. BOSTAN V., BOSTAN I., DULGHERU V., CIOBANU O., CIOBANU R. BI nr. 1151 (MD). CIB F03D1/00. Instalație de conversie a energiei eoliene. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit S2016 0137 MD. Data deposit 28.11.2016. BOPI nr. 5/2017.

24. BOSTAN V., BOSTAN I., DULGHERU V., CIOBANU O., CIOBANU R., GUȚU M. BI nr. 1261Y. CIB F03D 3/02. Turbină eoliană cu ax vertical (variante). Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. deposit S 2017-0142; Data deposit 2017.12.28. 2018.06.30. BOPI nr. 6/2018.

25. DULGHERU V., RABEI I., GUȚU M. BI nr. 1616Y. Turbine eoliene cu ax vertical cu control al puterii. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit: s 2021 0047. Data depozit: 2021.06.08. Publ.: BOPI nr. 4/2022.

26. BOSTAN V., DULGHERU V., RABEI I. B.I. nr. 1519 Y (MD) CIB F03D 3/02 (2006.01). Turbină eoliană cu ax vertical. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit s 2020 0021. Data depozit: 2020.03.06. Publ.: BOPI nr. 4/2021.

27. DULGHERU V., DUMITRESCU C., DUMITRESCU L., CRISTESCU C., BLEJAN M. Cerere de brevet de invenție nr. A/00580 RO. Procedeu și sistem inteligent de curățare a panourilor fotovoltaice. OSIM, România, INOE_IHP, București. 10.08.2018.

28. Dispozitiv de curățare a heliostatului. BI nr. CN103071634A. 2016-01-20.

29. POTTER S., POTTER D. Sistem automat de curățare a suprafețelor de generare a energiei. Brevet US8756739B1. Eliberat: 2012-10-01.

30. MELLER M., MELLER E. Sistem de curățare a panourilor solare și metodă. Brevet US nr. 8771432. Eliberat: 8 iulie 2014. Solicitant: Ecoppia Scientific, Ltd.

31. BOSTAN V., BOSTAN I., DULGHERU V., GUȚU M. BI nr. 4787 (MD). CIB *H02S 10/00; H02S 20/00; H02S 20/30; H02S 20/32.*

Instalații de orientare a panourilor fotovoltaice. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit: a 2020 0021. Data depozit: 2020.03.06. Publ.: BOPI nr. 1/2022.

32. DULGHERU V., DUMITRESCU C., DUMITRESCU L., CRISTESCU C. Cerere de brevet de invenție RO 133233 A2. CIB *H02S 30/10; F24S 50/20*. Instalație fotovoltaică tip „*Floarea Soarelui*”. OSIM, România, INOE_IHP, București. Nr. depozit: A100619. Data depozit: 06.09.2017. Publ.: BOPI nr. 3/2019.

33. BOSTAN I., DULGHERU V., MALCOCI IU., RUSU E. BI nr. 3810 (MD). CIB *B64G 1/44; H01L 31/00; F24J 2/42*. Panou solar pliant. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. Deposit a 2007 0309. Data depozit: 2007.11.07. Publ.: BOPI nr. 1/2009.

34. BOSTAN I., DULGHERU V., DUMITRESCU C., CIOBANU O., CIOBANU R. BI nr. 4401 (MD). CIB *B60K 16/00 ; F24J 2/54*. Sistem de orientare a panourilor fotovoltaice. Universitatea Tehnică a Moldovei, INOE_IHP, București. Nr. Deposit a 2015 0093. Data depozit: 2015.09.30. Publ.: BOPI nr. 2/2016.

35. BOSTAN I., VIȘA I., DULGHERU V., DICUSARĂ I., CIOBANU R., CIOBANU O. BI nr. 3600 (MD) CIB *B60K 16/00, F24J 2/42, F02G 1/044, F03G 6/06*. Instalație solară cu motor Stirling. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. Deposit a 2005 0309. Data depozit: 2005.10.28. Publ.: BOPI nr. 5/2008.

36. BOSTAN I., DULGHERU V., CIOBANU R., CIOBANU O. BI nr. 1052 Y (MD). CIB *F24J2/38*. Sistem de orientare biaxială a unui panou fotovoltaic. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. deposit s 2015-0154. Data depozit 16.11.2015. Publ.: BOPI nr. 6/2016.

37. BOSTAN I., DULGHERU V., DUMITRESCU C., CIOBANU R., CIOBANU O., COZMA I. BI nr. 4419 (MD). CIB *B60K 16/00*. Sistem de orientare a panourilor fotovoltaice / Universitatea Tehnică a Moldovei., Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică, București – Nr. deposit a 2015-0114; Data depozit 16.11.2015. Publ.: BOPI nr. 5/2016.

38. BOSTAN I., VIȘA I., DULGHERU V., DICUSARĂ I. NB 3975(MD) CIB *B60K 16/00 // F24J 2/54 // F03G 6/06*. Sistem de orientare a instalației solare paraboloidale (variante). Universitatea Tehnică a

Moldovei. Nr. deposit a 2007 0310. Data deposit. 07.11.2007. Publ.: BOPI nr. 11/2009.

39. JIANG Z., HU W., DONG W., GAO Z., REN Z. Structural Reliability Analysis of Wind Turbines: A Review. *Energies* 2017, 10(12), 2099. <https://doi.org/10.3390/en10122099>. Accesat: 13.09.2022.

40. ZHU C., LI Y. Reliability Analysis of Wind Turbines. In „*Stability Control and Reliable Performance of Wind Turbines*”. London, UK, IntechOpen, 2018. <https://www.intechopen.com/chapters/59756> doi: 10.5772/intechopen.74859. Accesat: 13.09.2022.

41. BANGERT P. Failures of Wind Power Plants. http://www.algorithmica-technologies.com/en/case_studies/failures-of-wind-power-plants. Accesat: 13.09.2022.

42. REZAMAND M., KORDESTANI M., CARRIVEAU R., TING D. S-K., ORCHARD M. E., SAIF M. Critical Wind Turbine Components Prognostics: A Comprehensive Review. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 12, 2020, pp.9306-9328. doi: 10.1109/TIM.2020.3030165.

43. MISHNAEVSKY L. Jr. Root Causes and Mechanisms of Failure of Wind Turbine Blades: Overview. *Materials*. 2022, 23 p. <https://doi.org/10.3390/ma15092959>. Accesat: 13.09.2022.

44. CHEN X. Fracture of wind turbine blades in operation - Part I: A comprehensive forensic investigation. *Wind Energy* 2018; 21: 1046–1063. <https://doi.org/10.1002/we.2212>. Accesat: 13.09.2022.

45. McGUGAN M., MISHNAEVSKY L. Jr. Damage Mechanism Based Approach to the Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades. *Coatings* 2020, 10,1223. <https://doi.org/10.3390/coatings10121223>. Accesat: 13.09.2022.

46. Bladena Report, Cost and Risk Tool for Interim and Preventive Repair (CORTIR) EUDP. Bladena, Denmark: 2021. 302p. EUDP Project 64018-0507–Final Report.

47. ROBINSON C. M. E. Study and Development of a Methodology for the Estimation of the Risk and Harm to Persons from Wind Turbines. MMI Engineering Ltd., London, UK, 2013. 86 p.

48. MERIZALDE Y., HERNÁNDEZ-CALLEJO L., DUQUE-PEREZ O., ALONSO-GÓMEZ V. Maintenance Models Applied to Wind

Turbines. A Comprehensive Overview. *Energies* 2019, 12, 225. <https://doi.org/10.3390/EN12020225>. Accesat: 12.09.2022.

49. MURPHY K. P. Machine learning: A Probabilistic perspective. MIT Press, 2012, pp. 1067.

50. MÁRQUEZ F. P. G., TOBIAS A. M., PÉREZ J. M. P., PAPAELIAS M. Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods. *Renewable Energy* 2012, 46, pp.169–178. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2012.03.003>. Accesat: 12.09.2022

51. BENBOUZID M., BERGHOUT T., SARMA N., DJUROVIC S., WU Y., MA X. Intelligent Condition Monitoring of Wind Power Systems: State of the Art Review. *Energies* 2021, 14, 5967. <https://doi.org/10.3390/en14185967>. Accesat: 18.09.2022.

52. LAI J-P., CHANG Y-M., CHEN C-H., PAI P-F. A Survey of machine learning models in renewable energy predictions. *Applied Sciences* 2020, 10(17), 5975. <https://doi.org/10.3390/app10175975>. Accesat: 18.09.2022.

53. LOWENHAR E. P., BRADSHAW T., COLE P. T. Wind turbine blade monitoring systems. US Patent 11168668B2/09.11.2021.

54. <https://www.jeccomposites.com/news/mistras-receives-patent-on-its-innovative-senzoria-wind-blade-monitoring-technology>. Accesat: 18.09.2022.

55. SOPCIK P., O’SULLIVAN D. How Sensor Performance Enables Condition-Based Monitoring Solutions. *Analog Dialogue* 2019, vol. 53.

56. OCHIENG F. X., HANCOCK C. M., ROBERTS G. W., and KERNEC J. L. Optimal Design and Operational Monitoring of Wind Turbine Blades. In “*Design Optimization of Wind Energy Conversion Systems with Applications*”. London, UK. IntechOpen, 2020. <https://www.intechopen.com/chapters/70259> doi: 10.5772/intechopen.90258. Accesat: 16.09.2022.

57. KERSHRNANA S., RHEINL&NDE J., GABLERB H. Seawater reverse osmosis powered Tom renewable energy sources - hybrid wind/photovoltaic/grid power supply for small-scale desalination in Libya. *Desalination* 153 (2002) 17-23.

58. BOSTAN I., DULGHERU V., SOBOR I., BOSTAN V., SOCHIREAN A. Sisteme de conversie a energiilor regenerabile.

Universitatea Tehnică a Moldovei.- Ch.: Ed. „*Tehnica-Info*” SRL, (Tipografia BONS Offices). 2007. 592 p. ISBN 978-9975-63-076-4.

59. <http://www.maggo.rolenergiealternativa/sistem-hibrid-3kw-13800euro-10p.html>. Accesat: 21.09.2022.

60. www.Solarwindenergy.co.za/Solar-Wind-Contacts-Map.html
Accesat: 21.09.2022.

61. DEGHAN S., KIANI B., KAZEMI A., PARIZAD A. Optimal sizing of a hybrid wind/PV plant considering reliability indices. World Academy of Science, Engineering and Technology 56 2009.

62. LEE K.S., GEEM Z. W. A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice / Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 194, issues 36-38, pp.3902-3933, Sep. 2005.

63. CAISHENG W. Modeling and control of hybrid wind/photovoltaic/ fuel cell distributed generation systems. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering. Montana State University. Bozeman, Montana. July 2006.

64. KELLOGG W.D., NEHRIR M.H., VENKATARAMANAN G., GEREZ V. Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid wind/PV systems / IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, pp. 70 - 75, March, 1998.

65. GIPE P. Wind power: renewable energy for home, farm, and business. Chelsea Green Publishing Company, 2004.

66. GIVLER T., Lilienthal P. Using HOMER Software, NREL's Micropower Optimization Model, to explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems; Case Study: Sri Lanka Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, USA. 2005.

67. HOMER energy, „*About HOMER Energy LLC*”, 2016. [Online]. Available: <http://www.homerenergy.com/company.html>. Accessed 23 August 2016.

68. NREL, „*Getting started guide for HOMER legacy*”, National Renewable Energy Laboratory, Boulder, 2011.

69. Norwegian Energy Regulatory Authority „*Plusskunder*”, 04.02. 2021 [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndighet>

en/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/. Accesat: 21.09.2022.

70. MCDOWALL J. Taking Microgrids to the Next Level With Li-ion Energy Storage, *altenergymag*, 3 June 2018. [Online]. Available: <https://www.altenergymag.com/article/2018/03/taking-microgrids-to-the-next-level-with-li-ion-energy-storage/28049>. Accesat: 26.04.2022.

71. EL.KORDY M.N., BADR M.A. Economical evaluation of electricity generation considering externalities. *Renewable energy*. Vol. 25, pp.317-328. 2002.

72. MURALIKRISHNA M., LAKSHMINARAYANA V. Hybrid (solar and wind) energy systems for rural electrification / *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 3, No. 5, October 2008. ISSN 1819-6608 © 2006-2008. Asian Research Publishing Network (ARPN). www.arpnjournals.com. Accesat: 21.09.2022.

73. CELIK A.N. Optimization and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems / *Energy Conversion and Management*. Vol. 43, pp. 2453-2468. 2002.

74. <https://www.eenewspower.com/en/solid-state-battery-for-wind-turbine-blade-monitor>

75. PETRI D., CARBONE P., MARI L. Quality of Measurement Information in Decision-Making. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, 1003816, 2021, pp. 1-16, doi: 10.1109/TIM.2020.3047954.

76. WANG Z., TSAI G. C., CHEN Y. B. One-Way Fluid-Structure Interaction Simulation of an Offshore Wind Turbine. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 4, no. 3, 2014, pp. 127-137.

77. KELELE H. K. et al. Catchment Based Aerodynamic Performance Analysis of Small Wind Turbine Using a Single Blade Concept for a Low Cost of Energy. *Energies* 2020, 13, 5838. <https://doi.org/10.3390/en13215838>.

78. LACHANCE-BARRETT S., KEITH A. Fluent - Wind Turbine Blade FSI (Part 1). *Fluent Learning Modules*. <https://confluence.cornell.edu/>

79. PRASLICKA D., BLAZEK J., SMELKO M., HUDAK J., CVERHA A., MIKITA I., VARGA R., ZHUKOV A. Possibilities of Measuring Stress and Health Monitoring in Materials Using Contact-Less Sensor Based on Magnetic Microwires. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 49, no. 1, 2013, pp. 128-131. doi: 10.1109/TMAG.2012.2219854.

80. AKSENOV O. I., FUKS A. A., ARONIN A. S. Mechanical stress measurement sensor based on micro-wires with positive magnetostriction. RU 2746765 C9. Bul. № 16/07.06.2021.

81. LARIN V., ZAPOROJAN S., MUNTEANU E. et al. Senzor de deformare fără contact. Cerere de brevet de Invenție, nr. 7029. Nr. depozit a2022 0020, data depozit 2022.04.19.

82. BRIAN L. Clothier. Microwire temperature sensors constructed to eliminate stress-related temperature measurement inaccuracies and method of manufacturing said sensors. US 9212955 B2/15.12.2015.

83. MUNTEANU E., ZAPOROJAN S., DULGHERU V., SLAVESCU R. R., LARIN V., RABEI I. Intelligent Condition Monitoring of Wind Turbine Blades: A preliminary approach. In: Pre-proceedings of the IEEE 18th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP 2022), September 22-24, 2022, Cluj-Napoca, Romania, pp. 9-16. © 2022 by IEEE. ISBN: 978-1-6654-6436-9. IEEE Catalog Number: CFP2209D-USB

84. OLESEN J. F., SHAKER H. R. Predictive maintenance within combined heat and power plants based on a novel virtual sample generation method. *Energy Conversion and Management*, vol. 227, 113621, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113621>.

85. CESA-BIANCHI N., LUGOSI G. Prediction, learning, and games. Cambridge University Press, 2006, pp. 394.

86. ANDRIEȘ S., FILIPCIUC V. Eficacitatea irigației în condițiile Republicii Moldova. În: *Academos*, 2014, nr. 3. Ch.: Ed. „Știința”, p. 96-102.

87. MILLER R.F. et al. Drip application of nitrogen is efficient. *Calif. Agric.*, 76: 16-18. 1975.

88. MONDAL R.C. Pitcher farming: a simple low cost method of irrigation. *Appropriate Technology*, 1: 7-8. London, Intermediate Technology Publ. 1974.

89. MURATA M. et al. Development of small-scale irrigation using groundwater resources. 4th Int. Rept. Min. Lands Agr. & Water Dev., Zimbabwe and Inst. Hydrology, Wallingford, UK. 1995.

90. <https://www.lorenz.de>. Accesat: 16.06.2022

91. <https://net.grundfos.com>. Accesat: 16.06.2022

92. DASBERG S. & BRESLER E. Drip Irrigation Manual. Bet Dagan, Israel, Int. Irrig. Info. Ctr. 1985.

93. MERRIAM J.L. & KELLER J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Agr. and Irrig. Eng. Dept, Utah State University, Logan, USA. 1978.

94. HILLEL D. The efficient use of water in irrigation: principles and practices for improving irrigation in arid and semi-arid regions. Tech. Paper. No. 64. Washington, DC, World Bank. 1987.

95. SECRIERU N., LEVINETȚ N., CANDRAMAN S., ILCO V., GIRSCAN A., MARGARINT A. Remote control and monitoring of irrigation process operation and control system architecture. In: The 9th International Conference on Microelectronics and Computer Science & The 6th Conference of Physicists of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova, October 19-21, 2017. Pp. 155-161.