**Universitatea Naţională de Ştiinţă şi Tehnologie**
**POLITEHNICA Bucureşti**
**Facultatea de Inginerie Mecanică şi Mecatronică**
**Scoala Doctorala de Inginerie**
**Mecanica si Mecatronica**

# REZUMAT
# TEZĂ DE DOCTORAT

## CERCETĂRI TEORETICE ȘI APLICATIVE PRIVIND TRANSFORMAREA ȘI TRANSMITEREA ENERGIEI EOLIENE PRIN INTERMEDIUL SISTEMELOR CU MEDIU FLUID DE LUCRU / THEORETICAL AND APPLIED RESEARCH ON THE TRANSFORMATION AND TRANSMISSION OF WIND ENERGY USING FLUID-BASED SYSTEMS

**COORDONATOR ŞTIINŢIFIC**
**Prof.dr.ing. MIHAI AVRAM**

**DOCTORAND**
**Ing. BACIU IONELA MIHAELA**

**Bucureşti**
**2025**

# CUPRINS


**1. INTRODUCERE..... 5**
1.1. Considerații generale..... 5
1.2. Prezentarea obiectivelor tezei..... 9
1.3. Concluzii..... 10
**2. CONȚINUTUL TEZEI DE DOCTORAT..... 11**
**3. STADIUL ACTUAL DE DEZVOLTARE AL SISTEMELOR EOLIENE..... 14**
3.1. Energia eoliană..... 14
3.1.1. Domeniile de utilizare a energiei eoliene..... 19
3.1.2. Structura unei turbine eoliene în variantă clasică..... 26
3.1.3. Caracteristicile tehnico-funcționale ale unei turbine eoliene..... 34
3.1.4. Exemple de turbine eoliene de mare putere..... 38
3.1.5. Turbine eoliene de mică putere..... 41
3.1.6. Concluzii..... 45
3.2. Subsisteme hidraulice folosite în structura sistemelor eoliene..... 46
3.2.1. Sisteme hidraulice de amortizare a vibrațiilor..... 46
3.2.2. Sisteme hidraulice de acționare folosite pentru orientarea nacelei..... 47
3.2.3. Sisteme hidraulic de acționare folosit pentru reglarea unghiului palei..... 52
3.2.4. Transmisie hidraulică a energiei generate..... 56
3.2.5. Concluzii..... 64
3.3. Sisteme eoliene folosite în aplicații rezidențiale..... 65
3.3.1. Considerații generale..... 65
3.3.2. Exemple de sisteme..... 67
3.3.3. Concluzii..... 71
3.4. Concluzii generale..... 72
**4. SOLUȚII PROPUSE PENTRU MODELELE DEZVOLTATE..... 74**
4.1. Descriere generală, schema de principiu..... 75
4.1.1. Transmisie hidraulică a energiei pentru sisteme cu mediu fluid de lucru..... 75
4.1.2. Transmisie hidraulică a energiei pentru sisteme de generare a energiei electrice..... 78
4.1.3. Transmisie hidraulică a energiei pentru sisteme de încălzire..... 79
4.2. Verificarea funcționalității modelelor propuse..... 81
4.3. Concluzii..... 98
**5. ANALIZA TEORETICĂ SI EXPERIMENTALĂ A MODELULUI PROPUS..... 100**
5.1. Considerații generale..... 100
5.2. Analiza teoretică a modelului propus..... 101
5.2.1. Stabilirea schemei de calcul..... 101
5.2.2. Stabilirea parametrilor constructivi și funcționali..... 103
5.2.3. Elaborarea modelului matematic..... 104
Pompa cu roți dințate..... 104
Supapă de siguranță..... 105
Drosel..... 107
Rezervor..... 110
Stabilirea temperaturii din sistem..... 112
5.2.4. Simularea funcționării sistemului..... 116
5.2.5. Concluzii..... 125
5.3. Analiza experimentală a modelului propus..... 126
5.3.1. Schema de principiu a modelului propus pentru validarea principiului de funcționare..... 128
5.3.2. Alegerea echipamentelor componente..... 129

5.3.3. Realizarea și instalarea sistemului testat..... 147
5.3.4. Concepția algorimilor de comandă..... 156
5.3.5. Rezultate experimentale..... 159
5.3.6. Concluzii..... 167
5.4. Analiza comparativă a rezultatelor obținute..... 167
5.5. Optimizarea sistemului propus..... 172
5.5.1. Direcții de dezvoltare..... 172
5.5.2. Rezultate anticipate..... 173
**6. CONSIDERAȚII FINALE..... 175**
6.1. Concluzii generale..... 175
6.2. Contribuții originale..... 176
6.3. Direcții ulterioare de cercetare..... 177
**BIBLIOGRAFIE..... 178**
**ANEXE..... 200**
**LISTĂ LUCRĂRI..... 216**

# Abstract

Lucrarea “Cercetări teoretice și aplicative privind transformarea și transmiterea energiei eoliene prin intermediul sistemelor cu mediu fluid de lucru” propune o abordare mai largă privind integrarea sistemelor cu mediu fluid de lucru în structura sistemelor de generare a energiei din resursa eoliană. Aceste sisteme sunt discutate și analizate, abordând realizările existente în literatura de specialitate, dar și brevetele de invenții care încearcă să rezolve anumite insuficiențe ale sistemelor de generare a energiei din resurse eoliene. Studiul literaturii de specialitate a condus către o serie de soluții și direcții de dezvoltare posibile. Analiza sistematică a lucrărilor de specialitate a condus către creionarea unor idei de soluții tehnice, precum și la selectarea celor mai bune 3 soluții. Pe baza acestora s-au realizat schemele de principiu ale unor posibile transmisii hidraulice, care să poată fi integrate în sistemele eoliene. Soluțiile propuse au urmărit transformarea energiei eoliene cu ajutorul unei transmisii hidraulice în alte forme de energie precum: energie electrică, hidraulică și termică. Cele 3 soluții propuse sunt circuite hidraulice distincte care pot fi integrate in sistemele eoliene, dar servesc unor utilizări diferite (asigurarea energiei hidraulice pentru o platformă de ridicare a autovehiculelor; generarea de energie electrică pentru rețea; tansformarea energiei eoliene în energie termică). Pe baza schemelor de principiu s-a realizat verificări de funcționalitate, care au condus către alegerea celei mai potrivite soluții pentru a fi implementată fizic. Prin conturarea ideii generale de plecare pentru realizarea modelului experimental, s-a trecut la crearea unei scheme de principiu a circuitului hidraulic al transmisiei, care să includă cei mai importanți parametrii, dar și alte variabile importante. Pe baza acestei scheme și a legilor fundamentale ale mecanicii fluidelor, dar și a fenomenelor fizice asociate s-au descris matematic comportamentele echipamentelor din sistem. Realizarea modelului matematic al echipamentelor a permis realizarea unor simulări numerice, care să ofere mai multe informații cu privire la comportamentul sistemului și la fenomenele asociate. Ca orice simulare numerică, pentru realizarea acesteia s-au introdus elemente simplificatoare, care pot afecta într-o anumită masură rezultatul final. Rezultatele obținute în urma simulării numerice a circuitului simplificat au indicat faptul că modelul de transmisie hidraulică propusă pentru a fi implementată pe o turbină eoliană, ar putea fi utilizată în scopul propus. Pentru a verifica veridicitatea rezultatelor, cercetarea a intrat în etapa realizării modelului experimental, ținând cont de rezultatele obținute și alegând echipamente cât mai apropriate ca specificații de cele obținute prin analiza teoretică. În realizarea modelului experimental au fost avute în vedere cerințele fiecărui echipament privind spațiul ocupat, tipul de comunicație, modul de montare, etc. Prin corelarea informațiilor din fișele de catalog ale echipamentelor alese cu datele teoretice, s-a trecut la realizarea arhitecturi de control, care a inclus tipul de comunicații folosite, modul de alimentare a echipamentelor, modul în care este facută achiziția de date, gestionarea datelor, limbajele de programare utilizate pentru realizarea programului de control, particularitățile fiecărui echipament. Datorită numărului mare de echipamente și senzori s-au utilizat mai multe microcontrollere care să poată controla fluxul de date și comenzi. În realizarea modelului experimental s-au utilizat tehnici noi pentru realizarea de piese unicat, care să permită optimizarea unor echipamente din circuit, dar și asigurarea unor mijloace de fixarea specifice standului de test. Modelul experimental a fost realizat etapizat pentru a permite testarea unor subansamble critice ale acestuia, în special a sistemului de control al motorului electric. Fiecare

etapă de realizare a standului a implicat verificării de montaj, conexiune electrica, etc. După asamblarea modelului experimental și pretestarea subansamblurilor acestuia, s-a trecut la testarea transmisiei hidraulice. Aceasta testare s-a făcut după o anumită metodologie, care a implicat stabilirea unor criterii ce țin de: numărul de teste efectuate; durata de timp pentru fiecare set de teste; pragurile de referință pentru debit, presiune, temperatură, dar și stările echipamentelor. Testările experimetale au confirmat ipoteza inițială, și anume transmsia hidraulică poate transmite și transnforma energia eoliena în energie termică. Rezultatele au fost confirmate atât prin achiziția de date de la senzori, cât și prin intermediul imaginilor realizate cu camera termică în timpul testelor. Pe parcursul testelor s-au observat și o serie de fenomene care apar la creșterea temperaturii într-un circuit hidraulic, scăderi de presiune și debit, care nu au dus la o afectare semnificativă a rezultatelor finale. Insuficienta izolare a echipamentelor electronice de mediul exterior a introdus zgomot în rezultatele obținute. Zgomotul a fost eliminat prin filtrarea semnalelor. Analiza rezultatelor obținute și a întregului proces care a pornit de la studiul literaturii de specialitate până la realizarea și testarea modelului experimental a condus către o serie de posibile dezvoltări ulterioare ale modelului experimental care include: îmbunătățirea arhitecturii de comandă și control pentru o mai bună coordonare a datelor și comenzilor, dar și pentru prevenirea zgomotului; înlocuirea echipamentelor hidraulice de reglare și control cu modele de înaltă performanță pentru creșterea rapidității răspunsului sistemului la semnalele de comandă; realizarea unui sistem auxiliar de recuperare a energiei, în condiții de viteze ale vântului peste valorile proiectate ale turbinei eoliene, care poate să aiba mai multe configurații fie să stocheze în acumulatoare, fie să dirijeze debitul suplimentar către un motor hidraulic care să antreneze un generator sau un alt echipament.

Soluția propusă prin prezenta lucrare oferă premisele promițătoare dezvoltării sistemelor cu mediu fluid de lucru în domeniul energiei eoliene pentru producerea de energie termică din resursă sustenabilă.

# Organizarea lucrării

Lucrarea de doctorat cuprinde 217 pagini. Din perspectiva conținutului științific, teza este structurată astfel: o introducere în care este prezentată motivația alegerii temei, un capitol dedicat expunerii generale a lucrării, trei capitole care abordează problemele fundamentale ale studiului și o secțiune finală de concluzii, ce include principalele contribuții științifice ale cercetării, organizate după cum urmează:

**Capitolul 1** intitulat, "Introducere" analizează contextul energetic în care se ne aflăm, subliniind necesitatea îmbunătățirii metodei de captare a energiei eoliene prin înlocuirea metodei clasice de transmitere a energiei, de la rotor la generator, cu o metodă care oferă mai multe posibilități de transmitere a energiei captate într-o manieră mai rapidă și cu mult mai multă ușurință [20].

Îmbunătățirea soluțiilor existente de transformare și transfer al energiei existente a devenit o cerință tot mai pregnantă dată fiind necesitatea în creștere a energiei [1, 2, 20].

Înlocuirea transmisiei clasice aduce după sine avantaje precum: reducerea uzurii, prelungirea duratei de viață a transmisiei, diminuarea gabaritului, ușurarea procesului de realizarea întreținerii, controlabilitate și intervenție rapidă asupra turbinei [3, 4, 20].

Transmisiile hidraulice sunt prezente în subsistemele din alcătuirea turbinei pentru a orientarea nacelei, reglarea unghiului palelor și frânarea turbinei [5, 20].

Acest capitol vine și cu câteva sugestii privind pașii necesari obținerii potențialului maxim, iar aceștia sunt: alegerea unui amplasament bun; o bună proiectare a turbinei în concordanță cu caracteristicile zonei unde se dorește amplasarea; selecția sistemelor cu care se realizează transformarea și transmiterea energiei, dar și a celor care se ocupă cu poziționarea în cazul utilizării unei transmisii hidraulice pentru unul sau mai multe sisteme. Este necesară o atenție deosebită la caracteristicile funcționale ale echipamentelor [5, 6, 20]. Ca orice amplasament tehnic care este situat într-un spațiu vecin cu habitate naturale sau zone locuite, este necesară respectarea normativelor și reglementărilor în vigoare, care prevăd un anumit nivel de zgomot pentru a evita afectarea speciilor de animale, dar și a oamenilor. Un alt punct important este monitorizarea permanentă a instalației eoliene pentru evitarea și depistarea eventualelor probleme de funcționare [7, 8, 20].

În continuare sunt prezentate obiectivele tezei, care sunt concentrate în jurul unei teme centrale de studiu, și anume studiul și analiza sistemelor cu mediu fluid de lucru, cu aplicabilitate în domeniul energiilor regenerabile.

**Capitolul 2** este consacrat prezentării conceptelor generale din teză, punându-se un accent deosebit pe evidențierea elementelor de originalitate care sunt dezvoltate în capitolul 5 al lucrării [20].

**Capitolul 3** reprezintă analiza stadiului actual al dezvoltării sistemelor eoliene. În acest capitol au fost analizate studiile efectuate de specialiști în domeniu, în scopul identificării elementelor care pot fi îmbunătățite. În același timp, scopul acestuia a vizat și determinarea direcțiilor principale de studiu. Au fost identificate o serie de domenii de activitate care depind de alimentarea cu energie, și anume: industria alimentară, industria auto și consumul casnic [9, 20]. Au fost identificate o serie de soluții tehnice, atât simple, cât și complexe. Cele mai simple sunt constituite din una sau mai multe turbine eoliene care deservesc unul sau mai mulți

consumatori. În ceea ce privește soluțiile complexe, s-au remarcat soluțiile hibride de furnizare a energiei, datorită avantajelor pe care acestea le oferă. Se pot menționa următoarele avantaje: compensarea energiei și oferirea unui sistem de sprijin pentru asigurarea unei producții de energie stabile, indiferent de condițiile atmosferice [10, 20].

Au fost identificate domenii în care energia eoliană este utilizată pentru obținerea apei potabile prin procesul de desalinizare, pomparea apei potabile prin sistemele de irigații și alimentarea cu energie a instalațiilor de emisie-recepție aflate în zone izolate [11,12, 20].

În ceea ce privește obținerea energiei termice din resursa eoliană, au fost identificate o serie de aplicații care folosesc indirect această sursă de energie. Practic, energia electrică obținută din resursa eoliană este utilizată pentru încălzirea apei într-un boiler [13,17, 20].

În acest capitol au fost evidențiate elementele de structură ale unei turbine eoliene în varianta clasică, precum și caracteristicile tehnico-funcționale ale acesteia. Pe baza unei analize a celor mai mari producători de turbine eoliene, au fost alese câteva modele de turbine de la fiecare mare producător, cărora li s-au analizat specificațiile tehnice. În urma analizei au rezultat o serie de tendințe generale privind dezvoltarea acestor turbine; s-a observat, la toți producătorii, o tendință de creștere a dimensiunilor turbinelor pentru obținerea unei cantități mai mari de energie [10, 13, 20].

Deși avantajele turbinelor de dimensiuni mari sunt evidente (obținerea unei cantități mai mari de energie, stabilitate mai mare etc.), apar și o serie de dezavantaje, legate de efortul logistic generat de transporturile agabaritice speciale necesare pentru astfel de instalații. Transportul elementelor de structură și a componentelor turbinei este dificil, poate perturba traficul rutier, ridică dificultăți de manevrare pe anumite porțiuni de drum și poate necesita un timp relativ mare pentru transport și instalare [11,12, 13, 20].

Zonele în care sunt instalate turbinele pot suferi schimbări ale aspectului general pentru privitori, în special pentru locuitorii așezărilor apropiate, dar și pentru fauna locală, care poate fi deranjată de zgomotul și mișcarea de rotație a rotoarelor turbinelor [8,13,14, 20]. Un alt element analizat în Capitolul 3 a vizat turbinele eoliene de dimensiuni mici, în special cele de uz casnic/domestic. S-a constatat că, la nivel european, nu există o standardizare generală privind dimensiunile și nici o clasificare strictă a acestor turbine de mici dimensiuni. În cazul turbinelor de dimensiuni mici au fost prezentate principalele variante constructive și particularitățile lor funcționale. Au fost discutați factori care pot influența funcționalitatea turbinelor, aceștia ținând în special de poziția geografică și condițiile meteorologice [15, 16, 20]. Ținând cont de tema și obiectivele tezei, s-au analizat mai în detaliu subsistemele hidraulice folosite în structura sistemelor eoliene. Au fost analizate sistemele care se ocupă cu atenuarea vibrațiilor ce apar datorită variației vitezei vântului [17, 20].

Printre elementele discutate s-au numărat și sistemele eoliene utilizate în mediul domestic, a căror utilizare este într-o continuă creștere [18]. Au fost identificate o serie de modele de turbine eoliene ale căror specificații tehnice au fost analizate [19, 20].

**Capitolul 4,** „Soluții propuse pentru modele dezvoltate”, urmărește analiza a trei modele de transmisii hidraulice dezvoltate din punct de vedere teoretic și din punct de vedere al proiectării circuitului hidraulic. Modelele propuse au fost: sistem de acționare a unei platforme de ridicare a automobilelor pentru efectuarea lucrărilor specifice service-ului auto; sistem de conversie a energiei eoliene în energie electrică; sistem hidraulic care poate valorifica energia vântului în energie termică [20].

Pentru fiecare soluție au fost realizate schemele de principiu ale sistemelor propuse. Pe baza schemelor de principiu s-au analizat, din punct de vedere constructiv și funcțional, componentele fiecărui sistem. Pe baza analizei constructive, s-a ales pentru testarea funcțională sistemul cu cele mai mari șanse de implementare din punct de vedere fizic și cu caracterul cel mai inovativ. Sistemul ales pentru testarea funcțională a fost cel care transformă energia vântului în energie termică, iar pentru această testare a fost folosit un software specializat, care permite vizualizarea funcționării echipamentelor (FluidSim de la compania Festo) [20, 21]. Testarea funcțională oferă o imagine generală asupra fenomenelor care pot apărea pe parcursul funcționării echipamentelor din instalația hidraulică, permite verificarea compatibilității între echipamente și optimizarea dinamică a sistemului înainte ca acesta să fie implementat la nivel fizic [20].

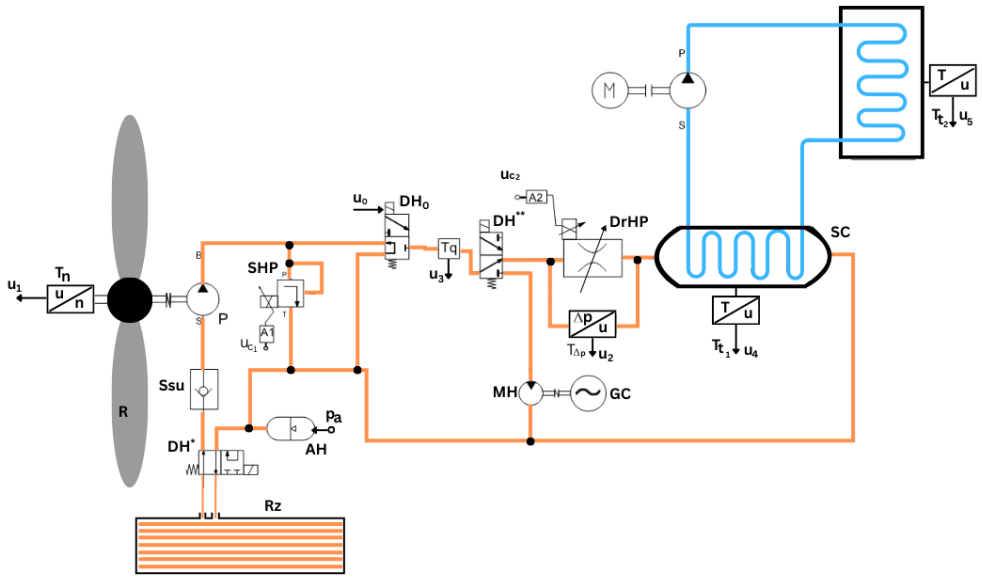



Figura 1. Schema de principiu a unei transmisii hidraulice a energiei și transformarea acesteia în energie termică [20]

Capitolul se încheie prin selectarea modelului de transmisie hidraulică care va fi analizat din punct de vedere teoretic și experimental. Soluția aleasă este prezentată în figura 1.

**Capitolul 5**, "Analiza teoretica si experimentala a modelului propus", este organizat pe subcapitole, care abordeaza aspecte diferite ce tin de metodologia de cercetare abordata pentru realizarea analizei teoretice si experimentale [20].

Primul subcapitol, "Consideratii generale" prezinta succint principalele etape necesare pentru analiza teoretica si experimentala a modelului propus de transmisie hidraulica. Etapele unei analize teoretice sunt [20, 21, 22, 23, 24, 25]:

- Analiza constructiv-functionala a modelului de transmisie hidraulica din care rezulta, in final, o schema de principiu, care evidentiaza parametrii de interes ai sistemului analizat.
- Identificarea parametrilor important si variabilele relevante.
- Adoptarea unor ipoteze simplificatoare, care să reducă efortul de calcul;
- Determinarea modelului matematic pe baza ecuatiilor de functionare, dar si a legilor fundamentale din mecanica (respectiv mecanica fluidelor);

- Realizarea unor optimizări geometrice sau structurale în vederea îmbunătățirii randamentului modelului propus;
- Verificarea și validarea modelului propus prin simularea numerică a acestuia.

Analiza teoretică permite determinarea performanțelor modelului de transmisie hidraulica [20, 24, 25, 26].

Cel de-al doilea subcapitol urmarește etapele descrise anterior. Acesta debuteaza cu schema de principiu a sistemului, în care apar schitate principalele echipamente, dar și parametrii relevanți ai acestora (figura 2). Sunt puse în evidență rolul fiecărui echipament și particularitatile sale. Pentru fiecare echipament s-au determinat parametrii constructivi și funcționali, prin consultarea literaturii de specialitate și a foilor de catalog [20, 26].

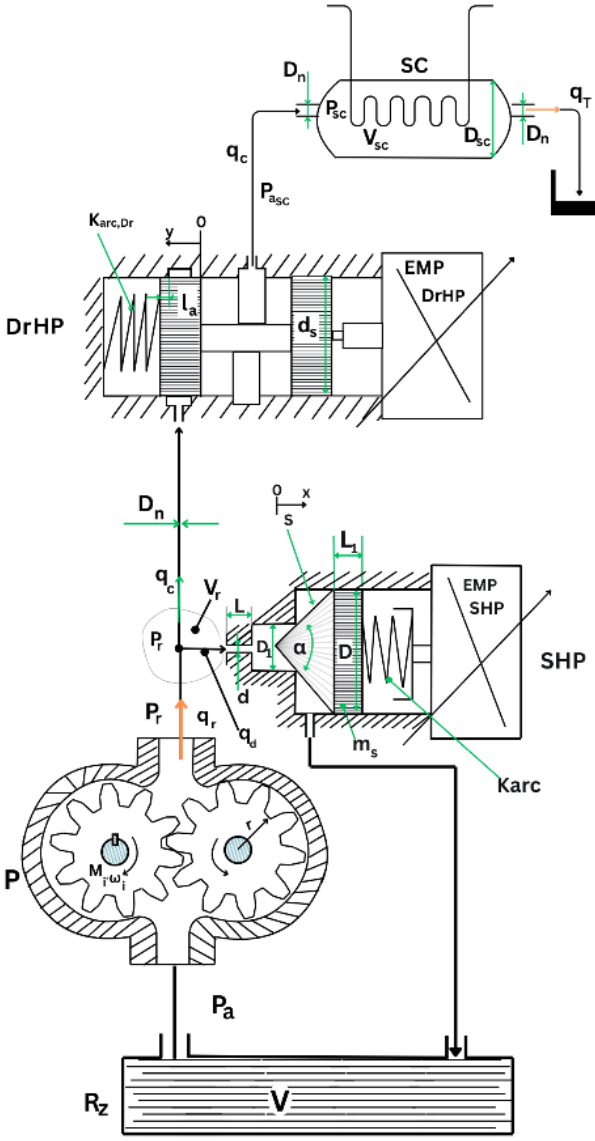



Figura 2. Schema de principiu a transmisiei hidraulice [20]

Corelând legile fundamentale ale mecanicii fluidelor și ecuațiile de mișcare ale elementelor mobile ale echipamentelor, a fost determinat modelul matematic al transmisiei hidraulice propuse [20, 23]. În modelul matematic au fost luate în considerare și pierderile care

apar în sistem, acestea fiind foarte relevante pentru aplicația în care este integrată transmisia hidraulică [24, 25, 26].

Validarea funcționării modelului matematic al transmisiei propuse s-a realizat în două medii diferite de simulare: Simcenter Amesim (varianta student) și Matlab-Simulink. Cele două medii permit simularea numerică a modelelor matematice și crearea mai multor scenarii de funcționare, facilitând determinarea caracteristicilor modelului sau modelelor analizate. Simularea numerică a modelului de transmisie hidraulică a urmărit monitorizarea parametrilor relevanți pentru determinarea potențialului energetic, oferind posibilitatea de a aduce îmbunătățiri și validând totodată modelul matematic [20].

Simularea numerică a presupus modelarea unei pompe hidraulice cu cilindree de 6 $cm^3$, turatie nominală de 1500 rot/min și debit maxim refulat de 9 l/min. Au fost modelate și elemente de reglare și control, precum droselul și supapa de presiune, aceasta din urmă având o valoare limită a presiunii de 60 bar. Semnalul de intrare în modelul matematic este variația vitezei vântului, care este transformată în viteză unghiulară și turatie. Acest semnal a fost ales pentru o perioadă a anului 2022 [20].

Modelul matematic al transmisiei hidraulice a fost validat prin compararea rezultatelor obținute. Deși există mici diferențe între rezultate, acestea se datorează configurărilor diferite ale soft-urilor de simulare. S-a observat că, în ambele modele, temperatura fluidului tinde să crească și prezintă o ușoară inerție termică la scăderea intensității vitezei vântului [20].

Cel de-al treilea subcapitol se referă la analiza experimentală a modelului de transmisie hidraulică propus. Subcapitolul începe cu reiterarea scopului principal al modelului transmisiei, și anume transformarea energiei eoliene în energie termică și transmiterea acesteia către alte sisteme. Modelul de transmisie propus a fost conceput sub forma unui stand de testare în condiții de laborator, pentru mai multe variante constructive de turbine eoliene, prin varierea parametrilor funcționali ai motorului electric cu rol de rotor eolian [20].

Realizarea modelului fizic al transmisiei hidraulice pornește de la reprezentarea schematică a sistemului propus. Instalația propusă este prezentată în contrast cu varianta clasică, pentru a evidenția diferențele fundamentale dintre acestea. În varianta clasică a turbinei eoliene, nacela acesteia continuă atât transmisia, cât și generatorul, ceea ce duce la dimensiuni mari de gabarit. Varianta propusă contribuie la reducerea dimensiunilor și a masei nacelei, rămânând în nacelă doar pompa hidraulică [20].

Soluția propusă aduce și alte avantaje, precum flexibilitatea și modularitatea transmisiei și eficiența ridicată, având ca principal dezavantaj necesitatea unui control electronic complex. Sistemul electronic de control gestionează toate procesele de funcționare, monitorizare și autoreglare [20].

Înaintea implementării fizice a modelului propus de transmisie hidraulică, au fost schițate principalele sarcini pe care aceasta trebuie să le îndeplinească. Astfel, s-a realizat o arhitectură simplificată a instalației de transformare a energiei, care permite stabilirea caracteristicilor ce urmează a fi implementate la nivelul programului de comandă. Ținând cont de necesitatea accesului de la distanță la instalație, din motive de siguranță (pentru efectuarea testelor) și de accesibilitate limitată la zonele în care sunt instalate astfel de turbine eoliene, sistemul a fost conceput să funcționeze și „on site” [20].

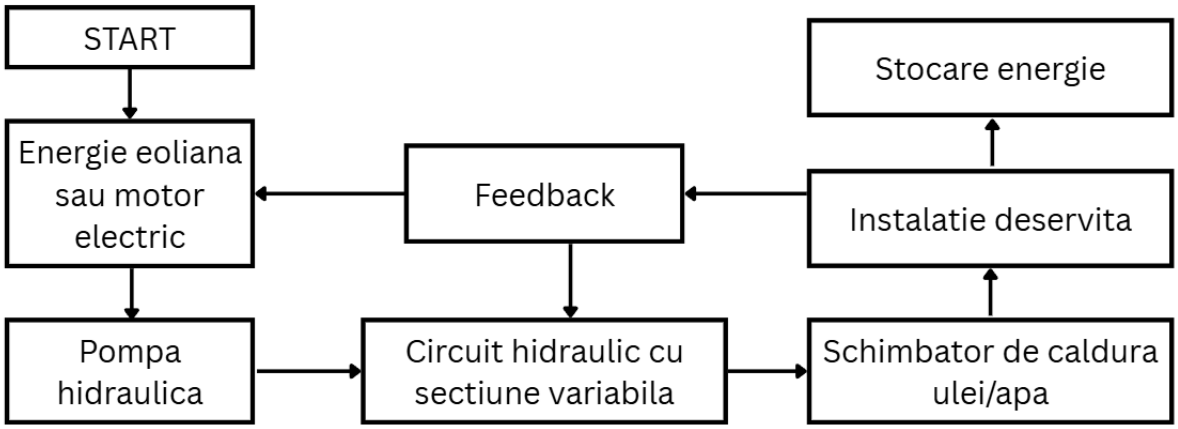



Figura 3. Arhitectura simplificată a instalației de transformare a energiei [20]

În figura 3 este prezentată arhitectura simplificată a instalației de transformare a energiei eoliene în energie hidraulică și mai departe în energiei termică. Instalația funcționează după următorul mod de funcționare: se pornește motorul de antrenare al pompei hidraulice, fie se antreneaza direct de un rotor eolian; prin mișcarea de rotație de la nivelul arborelui pompei hidraulice se creează forțe care permit aspirația fluidului hidraulic din rezervor și pătrunderea acestuia în corpul pompei, precum și evacuarea acestuia prin orificiul de refulare; debitul de fluid refulat de pompă este transmis către un circuit hidraulic cu secțiune variabilă, care permite reglarea atât manuală, cât și automată a secțiunii de curgere, iar ulterior acesta va trece printr-un schimbător de căldura aer-apă. Prin varierea secțiunii de curgere se vor genera forțe de frecare, care au ca efect secundar creșterea temperaturii fluidului de lucru. Energia pierdută prin căldură (temperatura crescută a uleiului) este recuperată prin intermediul schimbătorului de căldură, care preia această energie și o cedează către alt circuit de recirculare a apei, în acest mod este asigurată atât protecția circuitul hidraulic la supraîncălzire și în același timp, căldura este utilizată pentru a încălzi anumite spații, nefiind pierdută. Atât instalația de apă, care preia energia termică, cât și cea de generare a energiei termice din resursă eoliană funcționează în buclă închisă, cu posibilitatea efectuării reglajelor parametrilor chiar în timpul funcționării [20].

Alegerea componentelor din circuitul hidraulic s-a bazat atât pe rezultatele obținute în urma verificării de funcționalitate, dar și pe baza analizei teoretice a modelului matematic. Echipamentele alese din cataloage au fost selectate astfel încat să aiba valori apropriate de rezultatele determinate prin analiza teoretică. Electronica de comandă și control a fost aleasă pe baza specificațiilor și cerintelor echipamentelor din circuit, dar și a senzorilor. O parte din senzori, dar și din echipamente au necesitat circuit electronice de adaptare a semnalelor, iar acestea au fost realizate în laborator [20].

Pentru determinarea poziției ficărui echipament în sistem, dar și pentru validarea principiului de funcționare s-a realizat o schemă de principiu a standului experimental, cuprinzând întreaga instalație (figura 4) [20].

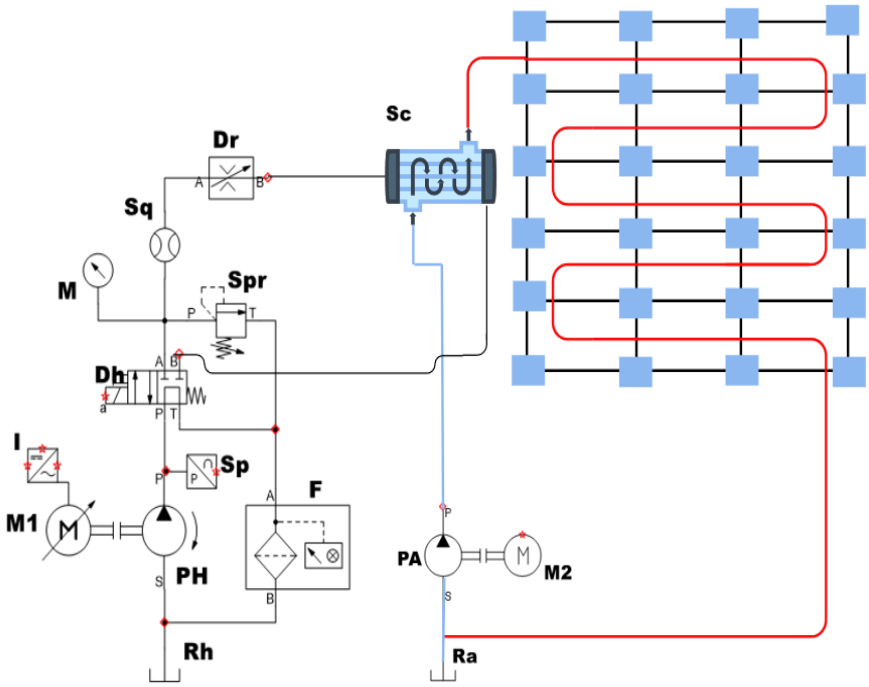



Figura 4. Schema de principiu a standului experimental [20]

Modelul transmisiei hidraulice este compus din : Rh – rezervor de ulei; PH – pompă hidraulică; M1 – motor electric; I – convertizor de frecvență; Sp – senzor de presiune; Dh - distribuitor hidraulic 4/2 cu comandă electrică; M – manometru; Spr – supapă de reglare a presiunii; Sq – debitmetru; Dr – drosel hidraulic; F – filtru de retur [20].

Sistemul de recirculare a apei este format din următoarele echipamente: Ra – rezervor de apă; PA – pompă hidraulică pentru apă; M2 – motor electric; SC – schimbător de căldura ulei – apă; Ci – circuit de încălzire [20].

Pentru monitorizarea temperaturii la nivelul modelului experimental au fost integrați o serie de senzori de temperatură în punctele critice și pe echipamente. Alegerea echipamentelor din componența transmisiei hidraulice, dar și a circuitului de recirculare au avut la bază alegerea prealabilă a puterii maxime pe care o poate genera turbina eoliana și anume 2.2 kW. Ținând cont de valoarea limită impusă pentru puterea generată, a fost ales un motor electric cu o putere maximă apropiată. Urmând specificațiile tehnice ale motorului electric, a fost aleasă o pompă hidraulică compatibilă atât din punct de vedere al turației de antrenare, dar și din punct de vedere al elementelor care realizează conexiunea între aceste două echipamente. A fost identificată pompa hidraulică cu roți dințate a cărei specificații complete se pot găsi în ANEXA X. Pompa aleasă a venit sub forma unui kit care includea atât elementele de conectare dintre flanșa motorului electric și cea a pompei, dar și cuplajul care conecteaza arborii celor doua echipamente [20]. Pompa hidraulică aleasă are ca principale specificații tehnice: o capacitate de 6 $cm^3$; o presiune maxima de lucru de 250 bar; o turație de 1500 rot/min [20].

Pentru a putea modifica turația motorului electric astfel încât variațiile introduse să reproducă variațiile de viteză ale vântului, a fost ales un convertizor de frecvență a cărui specificații se regăsesc în ANEXA XI. La alegerea acestui conevertizor s-au avut în vedere: compatibilitatea cu motorul electric, metodele de control pe care acesta le permite (open loop sau close loop), precum și protocoalele de comunicație pe care acesta le folosește pentru

comunicarea cu alte dispozitive sau echipamente (de exmplu: MODBUS; HTTP; RS485). Distribuitorul utilizat pentru a direcționa fluxul de fluid generat de pompa hidraulică a fost ales într-o configurație care să permită funcționarea în gol a pompei și deversarea fluxului de fluid refulat înapoi în rezervor. Această configurație oferă mai multe avantaje: protecția circuitului hidraulic la suprapresiune; deconectarea circuitului de pompă pentru schimbarea unor echipamente, dar și testarea funcționării ansamblului format din motorul electric și pompa hidraulică. Pe lângă configurația camerelor și a orificiilor distribuitorului, au mai fost luate în considerare și: tipul de comandă, iar pentru această aplicație se impunea ca comanda sa fie cel puțin electrică; debitul maxim care poate trece prin acesta, dar și presiunea maxima. Specificațiile complete ale acestui echipament sunt detaliate în fișa de catalog, ANEXA IV [20]. Conectarea distribuitorului în circuit a presupus montarea pe o placă de distributie de tip CETOP, a cărei specificații se găsesc în ANEXA III. Această placă de distribuție integrează o supapă de presiune care are rolul de a proteja circuitul în cazul unor sarcini mari. Placa de distribuție are un orificiu special unde poate fi montat un manometru sau un senzor de presiune.

Pentru varierea secțiunii de curgere s-a ales un drosel cu construcție simplă, care să reziste la presiunea maximă din circuitul hidraulic al transmisiei. Specificațiile complete ale acestui echipament pot fi găsite în ANEXA V [20].

Suplimentar, pentru a largi domeniul de reglaj al presiunii din circuit, s-a ales o supapă de presiune care oferă un interval de reglare mai mare. Pe langa aceasta supapă, a fost ales un arc de compresiune care să poată înlocui arcul cu care vine supapa de presiune din fabrică, astfel intervalul de reglaj al presiunii poate fi scăzut la valori mai mici decât cele uzuale, folosite în circuitele hidraulice. Asigurarea unui reglaj corect al presiunii la nivelul acestei supape este dată de un manometrul cu tub Bourdon, montat în blocul în care este integrată supapa [20].

Rezervorul pentru uleiul hidraulic a fost ales astfel încât să respecte volumul minim admis pentru a asigura alimentarea continuă cu fluid a circuitului hidraulic. Acesta este dotat cu următoarele accesorii: aerisitor; filtru de retur; indicator de nivel al uleiului hidraulic [20].

În ceea ce privește fluidul hidraulic utilizat, s-a ales un ulei cu proprietatile fizico-chimice de întaltă calitate. Acesta își păstrează viscozitatea la temperaturi mari, la valori care să nu genereze pierderi. Ținând cont de puterea maximă generată de sistem, s-a ales un schimbător de căldură care să poată disipa până la 6 kW de căldură. Detaliile cu privire la elementele de racordare ale acestuia în cele două circuite sunt descrise pe larg în ANEXA IX [20].

Pentru determinarea debitului de fluid ce trece prin circuit a fost ales un debitmetru cu trubină cu ieșire în cuadratură, iar pentru determinarea variațiilor de presiune din circuitul hidraulic al transmisiei a fost ales un traductor de presiune. După alegerea tuturor echipamentelor din circuitul transmisiei s-a trecut la conceperea arhitecturii de comandă și control. Aceasta cuprinde electronica de comandă implicată atât în transmiterea semnalelor de comandă pentru echipamentele hidraulice dar și electronica care se ocupă cu achiziția semnalelor de la senzori. În figura 8 este prezentată arhitectura de comandă și control, se poate observa că legatura dintre echipamentele electronice de control (de exemplu Raspberry Pi) este una bidirecțională, bazată pe feedback [20].

Elementul central al sistemului electronic de control este reprezentat de un mini-computer cu procesor ARM CortexA72, cu memorie de 8 GB și suport SD pentru sistemul de

operare (modelul Raspberry Pi). Acesta are rolul de a gestiona comunicațiile și sarcinile dintre și între microcontrolerele din sistem [20].

Datorită complexității standului experimental, a fost necesară utilizarea unui numar mare de microcontrolere, prin intermediul cărora să se implementeze toate funcțiile specifice de: citire a semnalelor; comunicații prin protocoale diferite; trimiterea semnalelor de comandă. Microcontrolerele utilizate sunt: ESP32, Arduino Uno, Arduino Mega [20].

Pentru determinarea valorilor de temperatură din sistem, s-au montat un numar de 16 senzori de temperatură de tip termistor. Principala caracteristică a acestora este scăderea rezistenței la creșterea temperaturii. Căderea de tensiune masurată prin intermediul acestora este transformată de programul de comandă în valori de temperatură, pe baza caracteristicilor tehnice descrise de fișa de catalog [20].

Reglarea presiunii în circuitul hidraulic al transmisiei s-a facut prin doua abordări diferite. O prima abordare a presupus utilizarea reglării manuale a droselului din circuit și indirect a presiunii, ca efect a îngustării secțiunii de curgere. Cea de-a doua variantă a presupus automatizarea acționării droselului, prin acționarea acestuia de la distanță cu un motor pas cu pas [20].

Procesul de automatizare al droselului a implicat crearea unor elemente de legatură între motorul pas cu pas și drosel. Aceste elemente au fost proiectate în programul de proiectare Inventor Autodesk și realizate fizic prin tehnologii aditive de printare 3D. În figura 5 este prezentat modelul 3D al ansamblului de acționare a droselului. Acest ansamblu este format din: droselul hidraulic; cuplaj de prindere a rozetei droselului cu arborele motorului pas cu pas; sistem de suport, care oferă rigidizarea întregului ansamblu, piesa este formată din două bucăți care permit prinderea flanșei motorului și a corpului droselului. În figura 6 se poate observa modelul fizic obținut [20, 38].



Figura 5. Modelul 3D al ansamblului de actionare a droselului [20, 38]

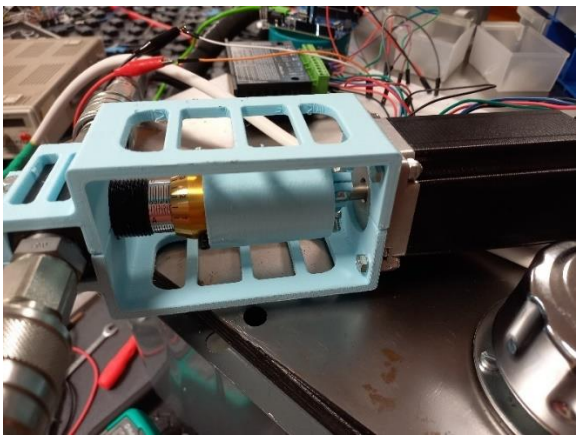


Figura 6. Modelul fizic al ansamblului de actionare la distanta a droselului hidraulic [20, 26, 38]

Realizarea și instalarea sistemului testat a presupus fixarea motorului electric, cu rol de rotor eolian, de masa standului experimental. Datorită particularităților constructive ale motorului, a fost necesară gasirea unei soluții de fixare, fără a afecta masa sau motorul. Soluția

identificată a fost înălțarea motorului electric pe două profile de aluminiu de tip U și prinderea acestora de masa cu 2 perechi de piese identice, proiectate special pe dimensiunile necesare și printate prin tehnologii aditive (figura 7) [20].

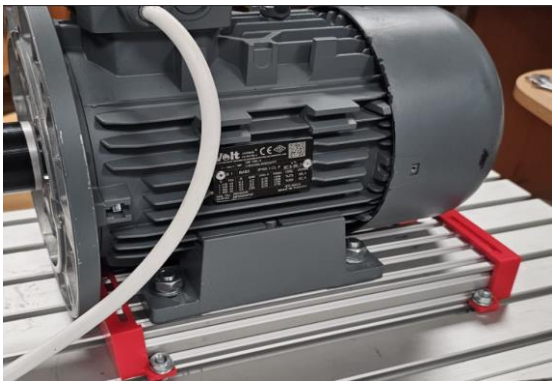


Figura 7. Sistemul de prindere al motorului electric de masa bancului de test [20]

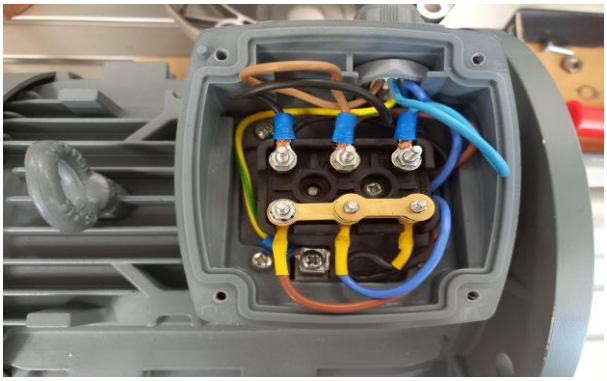


Figura 8. Conexiunile electrice ale fazelor motorului [20]

Au fost realizate conexiunile electrice ale fazelor motorului electric (figura 8). Ulterior, motorul a fost conectat la bornele convertizorului de frecvență. Pe lângă conectarea motorului, pentru convertizorul de frecvență s-au mai făcut o serie de conexiuni electrice, ce permit activarea sau dezactivarea infășurărilor motorului, dar și a comunicațiilor prin protocoalele de comunicație de tip MODBUS, prin montarea modulului Ethernet [20].

După realizarea conexiunilor dintre motor și convertizorul de frecvență, s-a montat cuplajul necesar pentru transmiterea mișcării de rotație de la motor la pompa hidraulică și flanșa care conectează corpul pompei hidraulice de flanșa motorului electric [20].

Pentru verificarea funcționării motorului, dar și a controlerului acestuia, s-a realizat o testare intermediara a acestui subansamblu. Această testare a presupus varierea turației motorului prin intermediul convertizorului și verificarea acesteia cu un tahometru, dar și verificarea conexiunii fizice dintre motor-pompa, precum și confirmarea vizuală că pompa nu este blocată. Validarea acestei conexiuni dintre echipamente a permis continuare asamblării celorlalte componente ale standului experimental. În figura 9 se poate observa traseul hidraulic al transmisiei formate din: furtune; echipamentele hidraulice de pe traseu și senzorii din circuit [20].

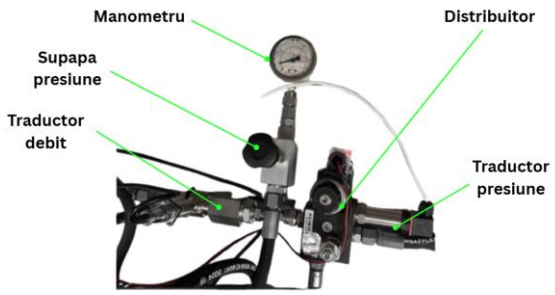



Figura 9. Traseul hidraulic format din furtune si echipamentele conectate [20]

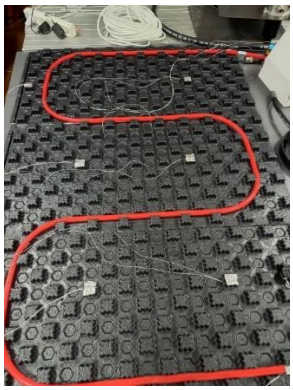


Figura 10. Traseul de recirculare a apei [20]

Pentru completarea întregii instalații s-a realizat circuitul de recirculare a apei (figura 10). Acest circuit este format din: motor electric; pompa hidraulică pentru apă; debitmetru; traseul tevii; elementele de conectare dintre echipamente; placa cu nuturi pentru fixarea tevi și izolarea termică a acesteia; sistemul electronic de comandă și de achiziție a datelor de la senzorii din circuit; senzorii de temperatură [20].

Validarea rezultatelor obținute de la senzorii de temperatură s-a realizat prin comparație cu datele citite de camera termică folosită [20].

Concepția algoritmilor de comandă a ținut cont de toate elementele din instalație. Algoritmi au fost creați astfel încât să permită trimiterea de comenzi electrice către echipamente; să achiziționeze și să salveze datele de la senzori; să permită oprirea de urgență a sistemului; să integreze modelulele de comunicații precum: TCP/IP; RS232; MODBUS. În figura 11 se poate observa arhitectura de comandă și control. Pentru protecția sistemului, dar și a operatorului în cazul apariției unei anomalii în funcționare, a unei defecțiuni sau al unui atac cybernetic, a fost conceput un sistem redundant de protectie împotriva acestor evenimente. Programul de control a fost realizat în două limbaje de programare Python și C++, pentru a eficientiza achiziția de date și controlul asupra instalației. Pentru a putea observa cu ușurință modificările apărute în sistem, dar și variațiile parametrilor a fost concepută o interfață grafică [20].

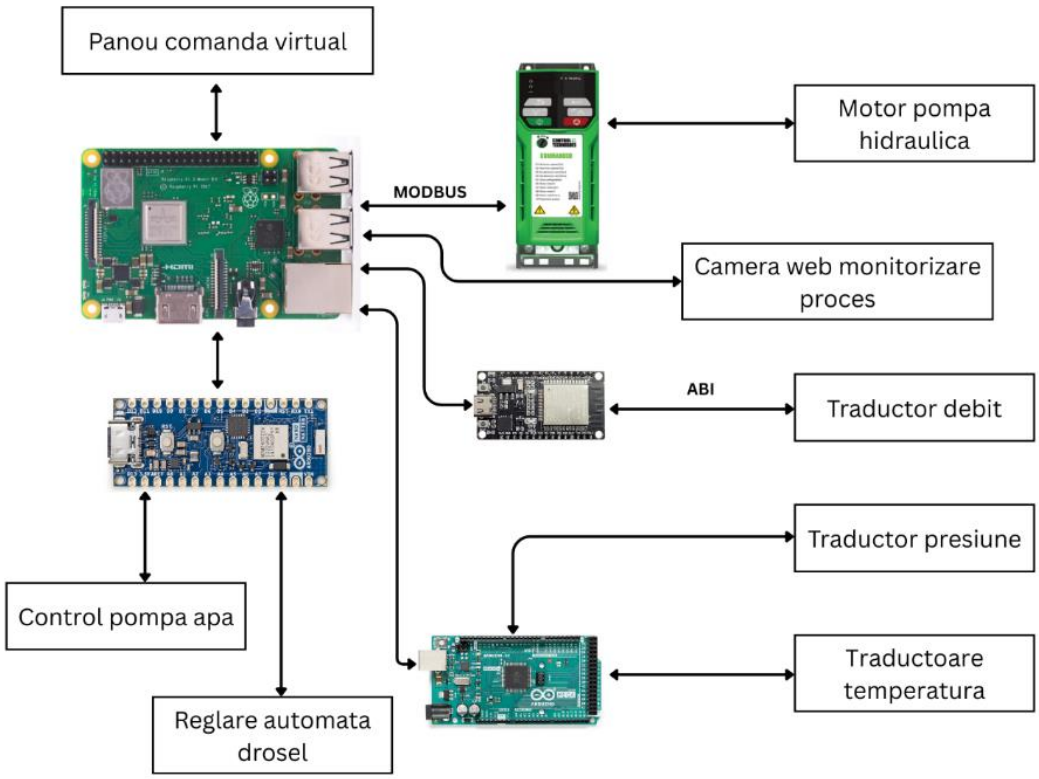



Figura 11. Arhitectura electronică de comandă și control [20]

Prin parcurgerea tututor pașilor menționați anterior s-a trecut la testarea experimentală a standului (figura 12 și figura 13).

În final, standul experimental este format din următoarele elemente: 1 – distribuitor hidraulic cu comandă electrică, placa de distribuție și traductor de presiune; 2 – traductorul de

debit; 3 – rezervorul de fluid hidraulic; 4 – drosel; 5 – convertizorul de frecvență; 6 – router; 7 – sursa de alimentare AC-DC; 8 – circuitul de control; 9 – camera web; 10 – pompa hidraulică; 11 – motor electric; 12 – pompa de apă, motor electric (nefigurat); 13 – circuit de recirculare a apei (nefigurat); 14 – debitmetru (nefigurat); 15 – senzori de temperatură (nefigurat); 16 – rezervor de apă (nefigurat) [20, 26].

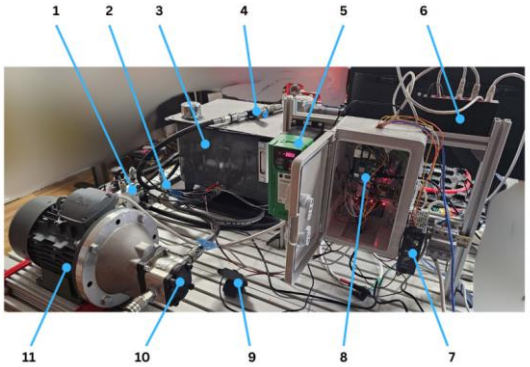



Figura 12. Transmisia hidraulica din cadrul standului experimental [20, 26]

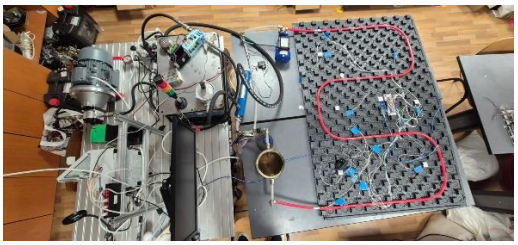


Figura 13. Vedere de sus a strandului experimental [20]

Pentru a reduce costurile de achiție a o parte din piesele destinate fixării echipamentelor, au fost realizate prin tehnologii aditive, chiar dacă temperatura echipamentelor ar crește, aceste materiale au un punct de topire mare, care permite folosirea lor în astfel de aplicații. Suplimentar, prin controlul temperaturii, echipamentele nu vor atinge niciodată o temperatură suficient de mare pentru a pune în pericol piesele de fixare. Încă de la primele testări au fost observate atât cu camera termică, dar și prin verificarea traseului și a echipamentelor, o creștere a temperaturii fluidului de lucru [20, 26].

Testele efectuate asupra transmisiei hidraulice a urmat următoarea metodologie de testare [20, 26]:

- Alegerea numărului de baterii de teste pentru fiecare configurație;
- Stabilirea intervalului de timp pentru efectuarea bateriilor de teste; intervalul de testare ales a fost de 30 min;
- Alegerea presiunilor de referință, pentru care să se facă testarea; în acest caz s-au ales următoarele presiuni: 0 bar; 10 bar; 20 bar și 50 bar.
- Alegerea turațiilor de referință; în acest caz s-au ales următoarele turații: 500 rot/min; 1000 rot/min și 1500 rot/min.
- Alegerea presiunilor de deschidere a supapei de siguranță;
- Alegerea pozițiilor de comutare pentru distribuitorul hidraulic (blocat sau deschis);
- Determinarea temperaturii inițiale a fluidului hidraulic pentru fiecare baterie de teste;
- Monitorizarea permanentă a temperaturii fluidului de lucru și determinarea temperaturii finale la care a ajuns acesta la finalul celor 30 de min;
- Determinarea presiunii reale din circuitul hidraulic al transmisiei;
- Determinarea debitului de fluid care străbate circuitul hidraulic.

S-au efectuat o serie de teste la presiuni de 10 bar, 20 bar si 50 bar, la turatii ale pompei hidraulice de 500 rot/min, 1000 rot/min si 1500 rot/min. Scopul principal al acestor teste a fost evaluarea si caracterizarea completa a sistemului, dar si a raspunsului termica in conditii de variatie a parametrilor acestuia. Un obiectiv secudar a fost si observarea feneomenelor

tranzitorii care apar pe parcursul efectuarii testelor, care apar de obicei in conditii de sarcina dinamica [20, 26].

Testarea transmisiei hidraulice la o presiune de 10 bar si o turatie a pompei de 500 rot/min a condus la obtinerea unui debit de fluid hidraulic constant de aproximativ 4,5 l/min (figura 14). Obtinerea presiunii dorite in circuit a presupus deschiderea distribuitorului si reglarea progresiva a sectiunii de curgere. In ceea ce priveste temperatura fluidului de lucru, s-a constatat o crestere a temperaturii acestuia de 8°C in timpul celor 30 de min de testare [20, 26].

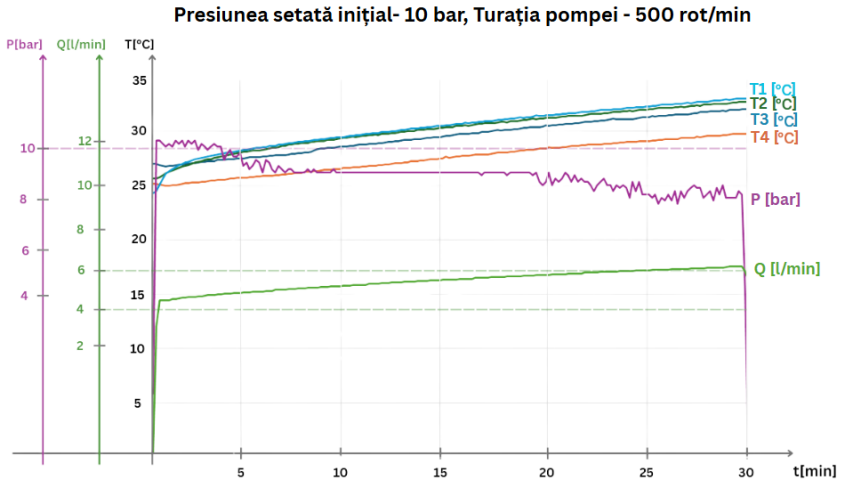



Figura 14. Testarea experimentală a transmisiei hidraulice pentru valori de referință ale presiunii de 10 bar și ale turației de 1500 rot/min [20, 26]

Urmatoarele baterii de teste au presupus pastrarea aceleasi presiunii de lucru de 10 bar si cresterea turatiei motorului electric la o valoare de 1500 de rot/min. Cresterea turatiei a avut un impact direct si rapid aupra volumului de fluid de lucru circulat prin sistem, debitul ajungand la o valoare de aproximativ 6 l/min (figura 15). Aceasta baterie de teste au implicat aceleasi manevre de reglaj ale echipamentelor hidraulice. La finalul bateriei de teste, s-a constatat ca fluidul hidraulic se apropia de temperatura de 15°C [20, 26].

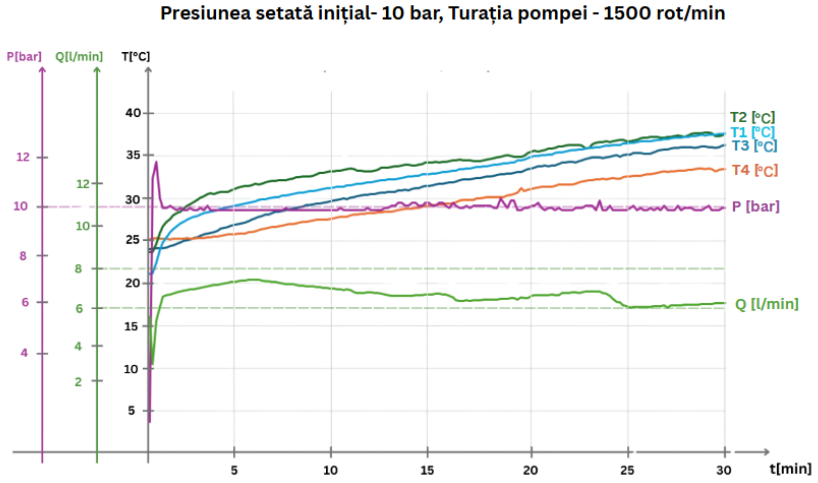



Figura 15. Testarea experimentală a transmisiei hidraulice pentru valori de referință ale presiunii de 10 bar și ale turației de 1500 rot/min [20, 26]

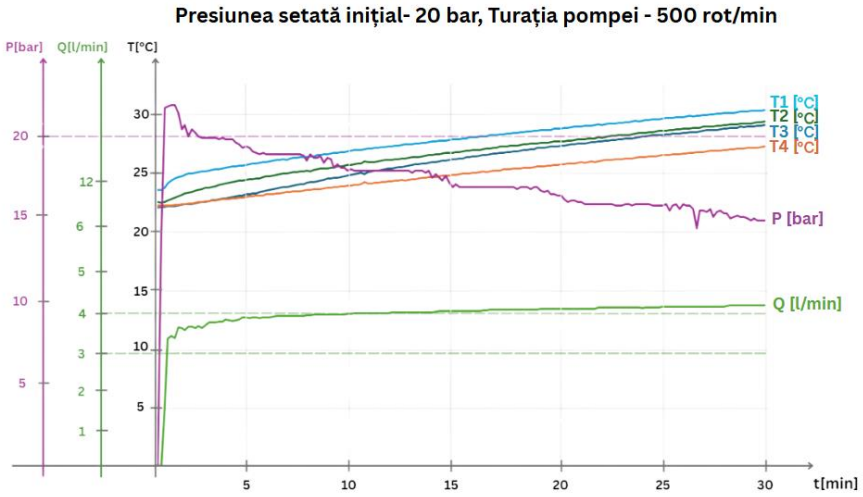



Figura 16. Testarea experimentală a transmisiei hidraulice pentru valori de referință ale presiunii de 20 bar și ale turației de 500 rot/min [20, 26]

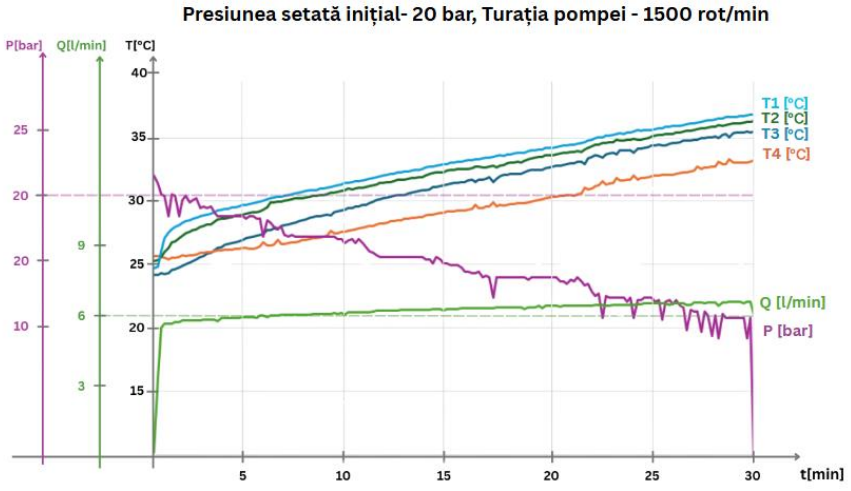



Figura 17. Testarea experimentală a transmisiei hidraulice pentru valori de referință ale presiunii de 20 bar și ale turației de 1500 rot/min [20, 26]

Pe parcursul efectuarii acestori baterii de teste, s-a observant o tendinta de scadere a presiunii asociata cu o scadere neglijabila a debitului. Acest fenomen este characteristic in conditii de temperatura crescuta a fluidului de lucru. Testele effectuate la presiunea de 20 bar si turatiile de 500 rot/min si 1500 rot/min au condus catre rezultate similar (figura 16 și figura 17). La obtinerea acestor rezultate au contribuit si caracteristicile intrinseci ale pompei hidraulice [20, 26].

In final s-au efectuat o serie de teste asupra transmisiei hidraulice la presiunea de lucru de 50 bar si turatiile de 500 rot/min si 1500 rot/min (figura 18 și figura 19). Pentru primul set de teste in aceasta configuratie s-a inregistrat o crestere a temperaturii fluidului de circa 15°C, iar pentru al doilea set de teste cu cea de-a doua configuratie, cresterea temperaturii a fost mult

mai semnificativa de aproximativ 43ºC. In ceea ce priveste testarea circuitului pentru turatii ale pompei de 1000 rot/min, nu s-au inregistrat variatii semnificative pentru a se putea continua si cu aceste baterii de teste, rezultatul fiind redundant [20, 26].

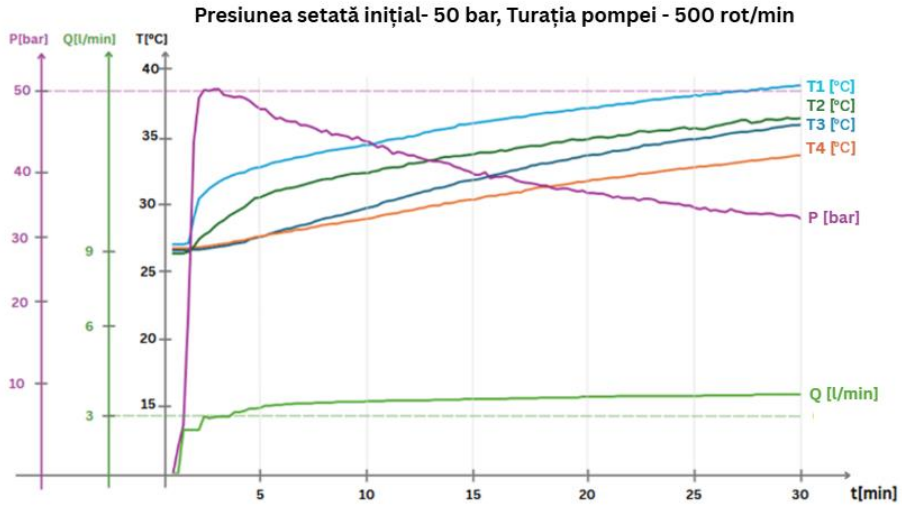



Figura 18. Testarea experimentală a transmisiei hidraulice pentru valori de referință ale presiunii de 50 bar și ale turației de 500 rot/min [20, 26]

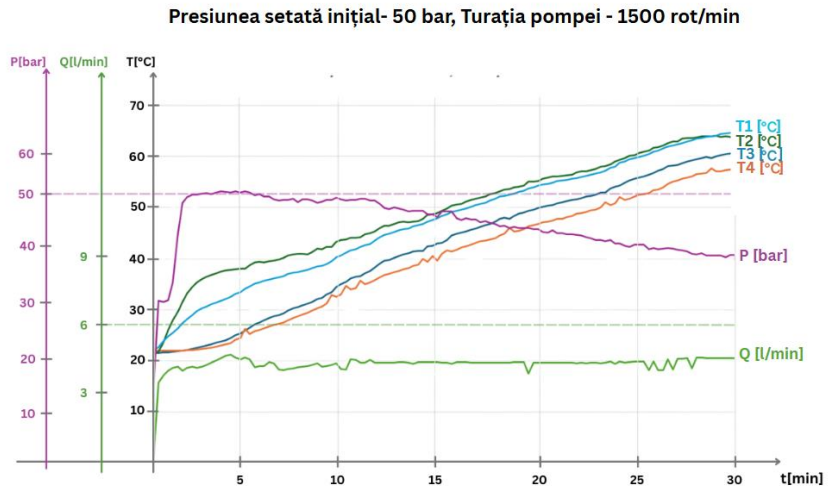



Figura 19. Testarea experimentală a transmisiei hidraulice pentru valori de referință ale presiunii de 50 bar și ale turației de 1500 rot/min [20, 26]

Pe parcursul intervalului de testare circuitul hidraulic al trasmisiei, a fost monitorizat atât prin intermediul programului de control, cât și cu o cameră termică, care a permis captarea valorilor de temperatura maxime și minime la nivelul fiecărei componente din sistem, dar și la nivelul traseului hidraulic [20, 26].

În continuare sunt prezentate câteva din caputrile suprinse cu camera termică (figurile 20 – 21) în care se pot observa temperaturile atinse de transmisia hidraulică pe parcursul efectuării testelor [20, 26].

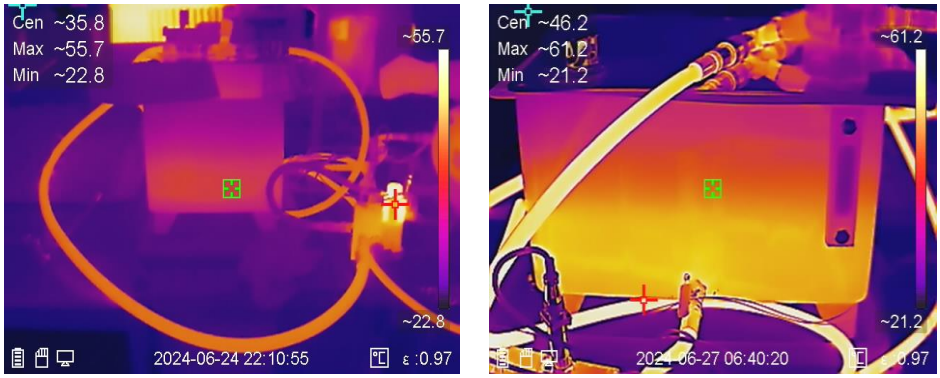



Figura 20. Temperatura rezervorului hidraulic [20, 26]

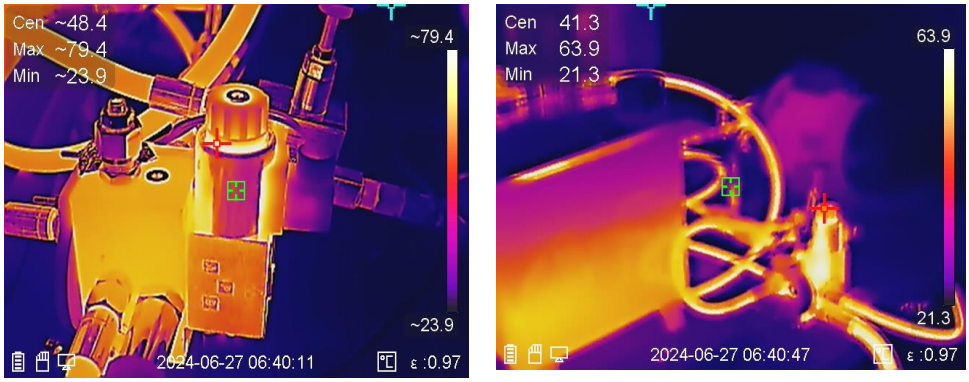



Figura 21. Temperatura electromagnetului de la distribuitor și a traseului hidraulic [20, 26]

Concluziile generale rezultate în urma testării experimentale au indicat urmatoarele aspecte [20, 26]:

- Deși rezultatele de laborator sunt îmbucurătoare, este necesară o testare în condiții reale de funcționare a sistemului pentru a completa imaginea completă a fenomenelor care apar pe parcursul funcționării, dar și pentru optimizarea și îmbunătățirea transmisiei din punct de vedere hardware și software.
- Este necesară o atenție deosebită asupra arhitecturii de control pentru sincronizarea tipurilor de comunicații, de achiziții de date, precum și de transmitere a semnalelor de comandă.
- S-a mai constatat ca o izolarea deficitară a comonentelor electronice poate introduce zogomot printre valorile citite. S-a impus filtrarea semnalelor pentru eliminarea zgomotului.
- Efectuarea testelor experimentale asupra transmisiei hidraulice a fost îngreunată de folosirea reglajului manual, în detrimentul celui automatizat, pentru o parte din echipamentele hidraulice.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute a urmărit compararea rezultatelor teoretice cu cele obținute experimental, dupa cum urmează [20]:

- Analiza teoretică nu poate să surprindă fenomenele aparute în timpul funcționării modelului experimental (de exemplu: zgomotul sau alte elemente perturbatoare,

independente de transmisiei în sine). Aceste fenomene pot fi determinate experimental și introduse ulterior în modelul de simulare.

- Analiza teoretică nu poate reuni în același model numeric informații despre comportamentul static sau dinamic al sistemului și modificările la nivel structural apărute în materialul din care sunt realizate echipamentele.
- Testarea experimentală oferă o imagine clară asupra fenomenelor și comportamentelor echipamentelor din sistem.
- Modelul experimental contrazice punctual modelul numeric în ceea ce privește inerția temică a sistemului, fiind mult mai mare fața de rezultatele obținute teoretic.

Optimizarea sistemului propus vizează direcțiile ulterioare de dezvoltare și rezultatele anticipate pentru acestea. Posibilele dezvoltări ulterioare ale instalației în întregime ar putea viza recuperarea energiei pierdute de transmisie în perioadele cu viteze ale vântului peste valorile de proiectare al turbinei eoliene. Surplusul de energie generată ar putea fi stocată într-o baterie de acumulatoare, și eliberată în perioadele cu viteze reduse ale vântului [20, 26].

O altă direcție de dezvoltare ar putea fi înlocuirea echipamentelor hidraulice cu comandă manuală sau electrică cu echipamentele cu comandă proporțională [20, 26].

O a treia posibilitatea de dezvolatare este recuperarea energiei pierdute și transformarea acesteia în energie electrică prin intermediul unui motor hidraulice auxiliar, folosind un regulator de debit cu 3 căi , care să dirijeze fluidul hidraulice către motorul hidraulic auxiliar [20, 26].

Având în vedere rezultatele deja obținute prin testarea modelului experimental, aceste dezvoltări ar putea fi implementate împreună pentru asigurarea unei funcționării optime a sistemului în care s-a dorit să se facă testarea transferului de caldură în mod particular, sistemului de încălzire prin pardoseală [20, 26].

Rezultatele anticipate prin propunerile de optimizarea a sistemului se bazează pe îmbunătățirile propuse și pe automatizarea reglării unor parametrii ai modelului experimental. Sunt așteptate îmbunătățiri ai timpilor de răspuns ai sistemului, datorită înlocuirii echipamentelor cu comandă clasică cu cele cu comandă proporțională. Datorită echipamentelor cu control proporțional și temperaturii fluidului de lucru, energia termică transferată sistemului deservit va fi reglată mai precis. Îmbunătățirea arhitecturii de control poate crește performanțele modelului experimental al transmisiei, printr-o creștere a capacității de procesare a datelor citite și a comenzilor către echipamente [20, 26].

**Capitolul 6,** "Considerații finale", acest capitol rezumă pe scurt elementele studiate și rezultatele obținute pe baza unei metodologii trasate însăși prin obiectivele specifice ale tezei [20].

În continuarea acestui capitol sunt evidențiate elementele de originalitate aduse de autor prin lucrarea sa. Contribuțiile originale ale autorului sunt reflectate prin rezultatele experimentale obținute în urma testării standului experimental al modelului de transmisiei hidraulică propusă. Un alt element de originalitate îl reprezintă metodologia de testare urmată de autor, dar și concepția circuitului hidraulic al transmisiei și alegerea echipamentelor pentru acesta [20].

O altă contribuție importantă este adusă prin arhitectura de control a intregului sistem, care permite integrarea acestuia în sistemle IoT. Un lucru important de subliniat este dorința autorului de a valorifica cercetarea sa, atât pentru dezvoltarea unor noi tehnologii și sisteme

aplicate în domeniul energiilor regenerabile. Teza de doctorat poate contribui prin informațiile pe care le oferă la creșterea nivelul de cunoștințe la disciplinele de profil a urmatoarelor generații de studenți, care pot duce mai departe cercetarea in aceasta zona abordata de autor [20].

În ceea ce privesc direcțiile ulterioare de cercetare, autorul doreste să dezvolte modelul experimental al transmisiei hidraulice astfel încât transmisia să poată fi testată în condiții reale de funcționale, pe o turbină eoliană. Deasemenea, autorul dorește să dezvolte o interfață mai prietenoasă, cu un grad crescut de accesibilitate a personalelor cu deficiențe senzoriale, dar și a utilizatorilor mai puțini familiarizați cu acest tip de sistem [20].

**Diseminarea cercetării doctorale**

Cercetările efectuate parcursul stagiului doctoral au fost diseminate în cadrul conferințelor științifice internaționale, a jurnalelor de specialitate, dar și a saloanelor de invenții.

Principalele lucrări diseminate sunt:

1. Constantin, V.; **Popescu, I**.; **Avram**, M., „Mechatronic Test Bench Used to Simulate Wind Power Conversion to Thermal Power by Means of a Hydraulic Transmission”, *Technologies*, vol. 13, nr. 6, art. 236, 2025, indexat **SCOPUS**, **Web of Science (Q1)**, Open Access,DOI:10.3390/technologies13060236. **WOS:001514647700001**
2. **Popescu, I.-M.; Avram, M.**; Kadirova, S.; Stănescu, V.-A.; Vasilescu, A.-G.; Baboianu, G., „Mechatronic System and Method of Determining Internal Volume of Hydraulic Geared Pumps”, în: Machado, J.; Trojanowska, J.; Soares, F.; Rea, P.; Butdee, S.; Grămescu, B. (eds.), *Innovations in Mechatronics Engineering IV*, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, pp. 470–480, 2025, indexat **SCOPUS**, DOI: 10.1007/978-3-031-94223-5_40.
3. **Popescu, I.-M**.; Popescu, V.-Ș.; Vasilescu, A.-G.; Constantin, V.; **Avram, M**., „STATE OF THE ART OF CONVENTIONAL WIND TURBINES DEVELOPMENT”, *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, vol. 1, nr. 19, 2025, indexată Google Scholar, **SCOPUS**, DOI: 10.17683/ijomam/issue19.
4. **Baciu, I.-M**.; Vasilescu, A.-G.; **Avram, M.;** Grămescu, B.; Constantin, V.; Moraru, E., „A Review of Additive Technologies Applied to Gear Transmission”, în: *Innovations in Mechanical Engineering III*, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, pp. 44–55, 2024, indexat **SCOPUS**, DOI: 10.1007/978-3-031-62684-5_5.
5. **Popescu, I.-M.;** Constantin, V.; Moraru, E.; Stănescu, V.-A.; Nica, I.-C.; Baboianu, G., „Design and Simulation of a Smart Hydraulic Throttle”, în: *Proceedings of the IEEE International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control (EEAE)*, pp. 1–6, 2025, indexat **IEEE Xplore**, DOI: 10.1109/EEAE65901.2025.11273700.
6. **Popescu, Ionela Mihaela**; Victor Constantin; Daniel Nanca. “Aspects Regarding Methods for Hydraulic Cylinders Synchronization.” Hidraulica (Magazin de Hidraulică, Pneumatică, Tribologie, Ecologie, Sensorică, Mecatronică), nr. 3 (2025): 66-72.

7. **Popescu, I.-M**.; **Avram, M.**; Constantin, V.; Vasilescu, A.-G.; Grămescu, B., „Theoretical aspects regarding the development of a method for internal volume determination of externally geared pumps”, *Proceedings of 2024 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX*, pp. 68–75, 2024, neindexat.
8. Chiriță, A.-P.; Șefu, Ș.-M.; **Baciu, I.-M**.; Rădoi, R.-I.; Popescu, A.-M., „Power control of a wind turbine using an electrohydraulically controlled active pitch control mechanism”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1262, nr. 1, 2022, neindexat, DOI: 10.1088/1757-899X/1262/1/012078.
9. **Baciu, I.-M**.; **Avram, M**.; Grămescu, B.; Constantin, V., „Experimental Analysis of an Open/Closed Hydraulic System”, *Proceedings of 2023 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX*, pp. 31–36, 2023, indexată Google Scholar, EBSCO.
10. Șefu, Ș.-M.; Tudor, B. A.; Dumitrescu, L.; **Baciu, I.-M**., „Recycling and Reuse of Hydraulic Components and Materials, Component Principles of the Circular Economy”, *Proceedings of the 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2022: Energy and Clean Technologies*, vol. 22, nr. 4.1, pp. 225–230, 2022, DOI: 10.5593/sgem2022/4.1/s18.29, neindexat.
11. Dumitrescu, C.; Chiriţă, A.-P.; Șefu, Ș.-M.; **Baciu, I.-M**.; Rădoi, R.-R., „Elimination of disturbances due to changes in air flow in a wind turbine with hydrostatic transmission”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1262, nr. 1, 2022, neindexată.
12. **Baciu, I.-M**.; Chiriță, Al.-P.; Rădoi, R.-I.; Drumea, P.; Voicea, I., „Improving the energy efficiency of wind turbines using hydraulic drive”, *Proceedings of the International Symposium ISB-INMA TEH' – Agricultural and Mechanical Engineering*, București, România, pp. 592–601, 2021, neindexat.

## BIBLIOGRAFIE


1. Ang, Tze-Zhang, Mohamed Salem, Mohamad Kamarol, Himadry Shekhar Das, Mohammad Alhuyi Nazari, and Natarajan Prabaharan. 2022. *"A Comprehensive Study of Renewable Energy Sources: Classifications, Challenges and Suggestions" Energy Strategy Reviews* 43 (2022). https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939.
2. Owusu, Phebe Asantewaa, and Samuel Asumadu-Sarkodie. 2016. *"A Review of Renewable Energy Sources, Sustainability Issues and Climate Change Mitigation" Cogent Engineering* 3 (1). doi:10.1080/23311916.2016.1167990.
3. Mohtasham, Javid. *"Review Article – Renewable Energies" Energy Procedia* 74 (2015): 1289–1297. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.774.
4. Liu, Keyi, Wei Chen, Gexin Chen, Dandan Dai, Chao Ai, Xinwang Zhang, și Xin Wang. „Application and Analysis of Hydraulic Wind Power Generation Technology." *Energy Strategy Reviews* 48 (2023): 101117. https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101117.
5. Boboraim Urishev, Rumiya Beytullayeva, Asror Umirov, și Oybek Almardonov, „Hydraulic Energy Storage of Wind Power Plants," *E3S Web of Conferences* 264 (2021): 04053, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404053.
6. Mihai Avram, Actionari Hidraulice si Pneumatice, Echipamente si sisteme clasice si mecatronice, Editura Universitara, Bucuresti, 2005.
7. Sheng, Yingkun, Daniel Escobar-Naranjo, and Kim A. Stelson. 2023. "Feasibility of Hydrostatic Transmission in Community Wind Turbines" *Actuators* 12, no. 11: 426. https://doi.org/10.3390/act12110426.
8. Agence Nationale de la Recherche (ANR). "Research on the Impacts of Wind Turbine Noise on Humans: sound, perception, health (RIBEolH)." *ANR – Agence Nationale de la Recherche*. https://anr.fr/Project-ANR-19-CE36-0009.
9. Jung, Christopher. 2024. "Recent Development and Future Perspective of Wind Power Generation" *Energies* 17, no. 21: 5391. https://doi.org/10.3390/en17215391
10. Arefin, S. S., & Ishraque, M. F. (2023). Wind energy and future trends. In *Elsevier eBooks* (pp. 207–216). https://doi.org/10.1016/b978-0-323-93940-9.00090-6
11. Gøthesen, S., Haddara, M., & Kumar, K. N. (2023). Empowering homes with intelligence: An investigation of smart home technology adoption and usage. *Internet of Things*, *24*, 100944. https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100944
12. Gilley, J. R., Martin, D. L., & Clark, R. (1985). Potential use of wind power for pumping irrigation water. *Energy in Agriculture*, *4*, 133–146. https://doi.org/10.1016/0167-5826(85)90012-9
13. Muhammad Usman, Habib & Mahmud, Muhammad & Sulaiman Yahaya, Madaniyyu & Saminu, Sani. (2024). WIND-POWERED AGRICULTURE: ENHANCING CROP PRODUCTION AND ECONOMIC PROSPERITY IN ARID REGIONS. eLEKTRIKA. 16. 10-19. 10.26623/elektrika.v16i1.8999.
14. Greco, Francesca, Sebastiaan G. J. Heijman, and Antonio Jarquin-Laguna. 2021. "Integration of Wind Energy and Desalination Systems: A Review Study" *Processes* 9, no. 12: 2181. https://doi.org/10.3390/pr9122181

15. Heagle, A., Naterer, G., & Pope, K. (2011). Small wind turbine energy policies for residential and small business usage in Ontario, Canada. *Energy Policy*, *39*(4), 1988–1999. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.028
16. Ji, Q., He, H., Kennedy, S., Wang, J., Peng, Z., Xu, Z., & Zhang, Y. (2022). Design and evaluation of a wind turbine-driven heat pump system for domestic heating in Scotland. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *52*, 101987. https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.101987
17. Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications. *Results in Engineering*, *20*, 101621. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621
18. Brunner, E. J., Hoen, B., Rand, J., & Schwegman, D. (2023). Commercial wind turbines and residential home values: New evidence from the universe of land-based wind projects in the United States. *Energy Policy*, *185*, 113837. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113837
19. Bensalah, Amina & Barakat, Georges & Amara, Yacine. (2022). Electrical Generators for Large Wind Turbine: Trends and Challenges. Energies. 15. 10.3390/en15186700.
20. Baciu, Ionela-Mihaela. *CERCETĂRI TEORETICE ŞI APLICATIVE PRIVIND TRANSFORMAREA ŞI TRANSMITEREA ENERGIEI EOLIENE PRIN INTERMEDIUL SISTEMELOR CU MEDIU FLUID DE LUCRU / THEORETICAL AND APPLIED RESEARCH ON THE TRANSFORMATION AND TRANSMISSION OF WIND ENERGY USING FLUID-BASED SYSTEMS***,** Teză de doctorat, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, Școala Doctorală Inginerie Mecanică și Mecatronică.
21. https://www.festo.com/us/en/e/technical-education/digital-learning/virtual-simulation-and-modeling/fluidsim-id_1663056/
22. FL. Ionescu, D. Catrina, Al. Dorin, *Mecanica fluidelor si actionari hidraulice si pneumatice*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1980.
23. Constantin Turcanu, Nicolae Ganea, Pompe Volumice, Teorie, Calcul si Constructie, Editura Tehnica, Bucuresti, 1963.
24. Mihai Avram, Hidronică şi pneutronică, note de curs Moodle, 2025.
25. Sârbu, Valerian-Emanuel. *Grupuri de generare a energiei hidraulice în concepție mecatronică / Hydraulic Power Units Envisioned as Mechatronic Systems*. Teză de doctorat, Universitatea „Politehnica" București, Școala Doctorală Inginerie Mecanică și Mecatronică, 2021. https://docs.upb.ro/wp-content/uploads/2021/05/REZUMAT-TEZA_Sarbu_RO.pdf
26. Constantin, V.; **Popescu, I**.; **Avram**, M., „Mechatronic Test Bench Used to Simulate Wind Power Conversion to Thermal Power by Means of a Hydraulic Transmission", *Technologies*, vol. 13, nr. 6, art. 236, 2025, indexat **SCOPUS**, **Web of Science (Q1)**, Open Access,DOI:10.3390/technologies13060236. **WOS:001514647700001**
27. **Popescu, I.-M.; Avram, M.**; Kadirova, S.; Stănescu, V.-A.; Vasilescu, A.-G.; Baboianu, G., „Mechatronic System and Method of Determining Internal Volume of Hydraulic Geared Pumps", în: Machado, J.; Trojanowska, J.; Soares, F.; Rea, P.; Butdee, S.; Grămescu, B. (eds.), *Innovations in Mechatronics Engineering IV*, *Lecture*

*Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, pp. 470–480, 2025, indexat **SCOPUS**, DOI: 10.1007/978-3-031-94223-5_40.

28. **Popescu, I.-M**.; Popescu, V.-Ș.; Vasilescu, A.-G.; Constantin, V.; **Avram, M**., „STATE OF THE ART OF CONVENTIONAL WIND TURBINES DEVELOPMENT", *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, vol. 1, nr. 19, 2025, indexată Google Scholar, **SCOPUS**, DOI: 10.17683/ijomam/issue19.
29. **Baciu, I.-M**.; Vasilescu, A.-G.; **Avram, M.;** Grămescu, B.; Constantin, V.; Moraru, E., „A Review of Additive Technologies Applied to Gear Transmission", în: *Innovations in Mechanical Engineering III*, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, pp. 44–55, 2024, indexat **SCOPUS**, DOI: 10.1007/978-3-031-62684-5_5.
30. **Popescu, I.-M**.; **Avram, M.**; Constantin, V.; Vasilescu, A.-G.; Grămescu, B., „Theoretical aspects regarding the development of a method for internal volume determination of externally geared pumps", *Proceedings of 2024 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX*, pp. 68–75, 2024, neindexat.
31. Chiriță, A.-P.; Șefu, Ș.-M.; **Baciu, I.-M**.; Rădoi, R.-I.; Popescu, A.-M., „Power control of a wind turbine using an electrohydraulically controlled active pitch control mechanism", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1262, nr. 1, 2022, neindexat, DOI: 10.1088/1757-899X/1262/1/012078.
32. **Baciu, I.-M**.; **Avram, M**.; Grămescu, B.; Constantin, V., „Experimental Analysis of an Open/Closed Hydraulic System", *Proceedings of 2023 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX*, pp. 31–36, 2023, indexată Google Scholar, EBSCO.
33. Șefu, Ș.-M.; Tudor, B. A.; Dumitrescu, L.; **Baciu, I.-M**., „Recycling and Reuse of Hydraulic Components and Materials, Component Principles of the Circular Economy", *Proceedings of the 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2022: Energy and Clean Technologies*, vol. 22, nr. 4.1, pp. 225–230, 2022, DOI: 10.5593/sgem2022/4.1/s18.29, neindexat.
34. Dumitrescu, C.; Chiriță, A.-P.; Șefu, Ș.-M.; **Baciu, I.-M**.; Rădoi, R.-R., „Elimination of disturbances due to changes in air flow in a wind turbine with hydrostatic transmission", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1262, nr. 1, 2022, neindexată.
35. **Baciu, I.-M**.; Chiriță, Al.-P.; Rădoi, R.-I.; Drumea, P.; Voicea, I., „Improving the energy efficiency of wind turbines using hydraulic drive", *Proceedings of the International Symposium ISB-INMA TEH' – Agricultural and Mechanical Engineering*, București, România, pp. 592–601, 2021, neindexat.
36. Popescu, Ionela Mihaela; Victor Constantin; Daniel Nanca. "Aspects Regarding Methods for Hydraulic Cylinders Synchronization." *Hidraulica* (Magazin de Hidraulică, Pneumatică, Tribologie, Ecologie, Senzorică, Mecatronică), nr. 3 (2025): 66-72.
37. Bogoevici, Nicolae. *Electrotehnica și măsurări electrice*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1979.
38. Ionela-Mihaela Popescu, Victor Constantin, Edgar Moraru, Vlad-Andrei Stănescu, Ionut-Cosmin Nica, și George Baboianu, „Design and Simulation of a Smart Hydraulic Throttle," în *Proceedings of the 10th International Conference on Energy Efficiency & Agricultural Engineering (EE&AE 2025)*, 5–7 noiembrie 2025, Starozagorski Bani, Bulgaria.