



Inginerie industrială

TEZA DE DOCTORAT

-REZUMAT-

INVESTIGAREA ȘI DEZVOLTAREA UNUI MODUL INTELIGENT PENTRU A SIMULA TRANSPIRAȚIA UMANĂ

Doctorand:
Ing. Ioan Turcin

Conducător de doctorat:
Prof. dr. ing. Nicolae Bâlc

Comisia de examinare:

Președinte: Prof. dr. ing. **Corina Bîrleanu** – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Conducător de doctorat: Prof. dr. ing. **Nicolae Bâlc** – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Membri:

Prof. dr. ing. **Gabriel Racz** - Universitatea Lucian Blaga din Sibiu

Prof. dr. ing. **Radu Țarcă** - Universitatea din Oradea

Prof. dr. ing. **Marian Borzan** - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

- Cluj-Napoca -
2023

MOTIVAREA ALEGERII SUBIECTULUI ȘI REALIZĂRII CERCETĂRII DOCTORALE

Această teză de doctorat urmărește să investigheze procesele ingineresti asociate cu producția de piese industriale complexe, cu accent pe îmbunătățirea eficienței într-un cadru competitiv. În mod specific, aceasta implică dezvoltarea unui modul conținând glande sudoripare (prescurtat SGM pentru Sweat Glands Module din varianta pe engleză) folosind fabricarea aditivă și integrarea acestuia cu sistemele Internet of Things (IoT). Teza subliniază importanța acestui modul în replicarea scenariilor de transpirație umană, în special în sectoare precum textilele, aviația și sportul.

Teza analizează etapele de producție a pieselor industriale, inclusiv formularea conceptului, execuția proiectului, selecția tehnologiei de producție, implementarea modelului de testare, fabricarea și procedurile de testare. De asemenea, ia în considerare factorii care au impact asupra costurilor, calității, inovației și tipului de producție. Într-un mediu competitiv de dezvoltare a produselor, teza explorează modalități de accelerare a procesului de creare și de producție.

Obiectivul principal este de a dezvolta un prototip al unui „modul conținând glande sudoripare”, care să imite cu precizie distribuția transpirației pe o suprafață, monitorizând în același timp temperatura, umiditatea, nivelurile de lichid și ajustând fluxul de lichid în funcție de necesități. Acesta abordează limitarea manechinelor de transpirație costisitoare, în special pentru întreprinderile mici și mijlocii (IMM-uri).

Sistemul dezvoltat este format din trei componente: modulul cu glandele sudoripare (proiectat 3D și echipat cu senzori), o unitate IoT de control (cu sisteme de încălzire și pompare) folosind comunicarea printr-un cloud system și un software de simulare a condițiilor de transpirație umană (figura 1).

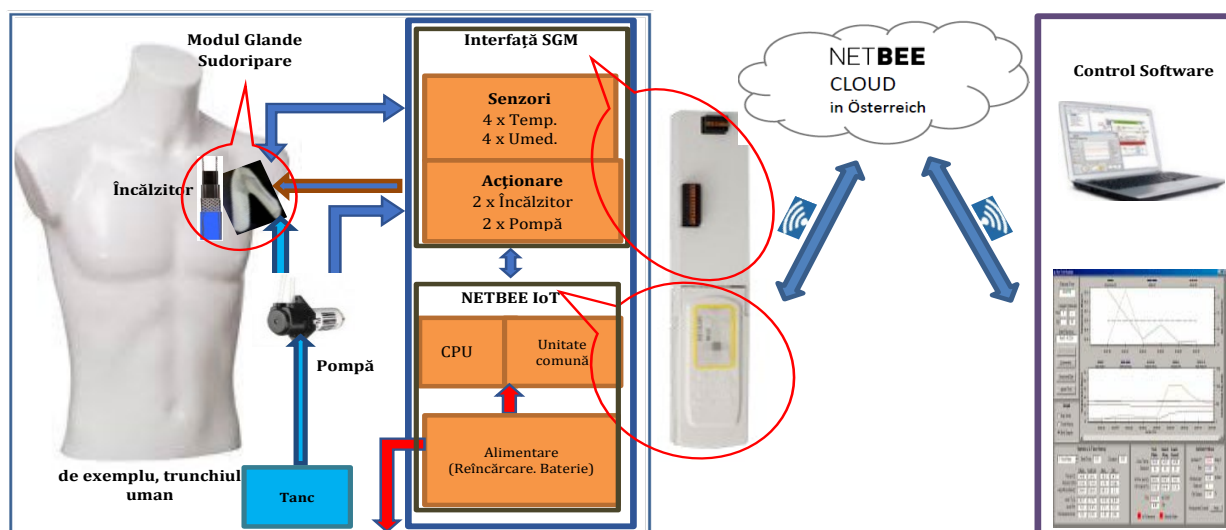


Fig.1: Schemă a prototipului modului pentru glandele sudoripare dezvoltat pe

Este subliniată importanța unui software de control ușor de utilizat pentru reglarea termică, identificarea defecțiunilor, personalizare și calibrare. Această abordare integrată permite o evaluare precisă a caracteristicilor materialelor, în special în cazul textilelor, reprezentând un progres semnificativ în caracterizarea materialelor și analiza termică.

Teza de doctorat a adoptat o metodologie practică, bine organizată și analitică, încorporând feedback-ul din partea conducătorului de doctorat pentru a menține rigurozitatea și calitatea în faza de elaborare a acesteia.

OBIECTIVELE SPECIFICE ALE CERCETĂRII

Teza de doctorat are ca obiectiv general crearea unui modul nou, potrivit pentru fabricarea aditivă. Acest lucru implică mai multe etape, inclusiv selectarea materialelor, analiza formei, proiectarea sistemului electronic cu senzori și comenzi și asamblarea prototipului. Dovada conceptului se concentrează pe dezvoltarea unui modul anatomic complex de glande sudoripare (SGM) pentru subsuoara umană.

Obiectivele specifice ale cercetării sunt următoarele:

- 1.) Revizuirea cuprinzătoare a cercetărilor anterioare privind simularea condițiilor și sistemelor de transpirație, cuprinzând o examinare a literaturii și tehnologiilor existente pentru a identifica o tehnologie adecvată pentru avansarea prototipului.
- 2.) Selectarea materialelor și dezvoltarea unei structuri noi, implicând sarcini precum evaluarea materialelor, determinarea proprietăților mecanice, proiectarea experimentelor și colectarea de date privind caracteristicile structurii de suprafață.
- 3.) Dezvoltarea de hardware și software pentru monitorizarea prototipului, ceea ce implică proiectarea structurală, alegerea componentelor, fabricarea unei plăci de circuite imprimate (Printed Circuit Board - PCB) și dezvoltarea de software pentru colectarea și monitorizarea eficientă a datelor.
- 4.) Efectuarea de investigații experimentale pentru a evalua contribuțiile teoretice, inclusiv crearea unui caz experimental practic, proiectarea unei interfețe software ușor de utilizat, efectuarea de teste fizice, examinarea aplicațiilor IoT și analiza rezultatelor testelor.

Printre rezultatele anticipate se numără selectarea materialelor adecvate, prototip bine conceput, placă de circuite imprimate funcțională și software eficient pentru monitorizare. Cercetarea își propune să contribuie la domeniul sistemelor de termoreglare a transpirației, în special în aplicațiile industriale.

STRUCTURA TEZEI

Capitolul de deschidere servește drept ghid pentru întreaga disertație, prezentând structura acesteia, stabilind necesitatea, semnificația și potențialele domenii de aplicare a acestei cercetări. Această parte pregătește terenul, identificând lacunele din cercetările existente și explicând de ce este important acest studiu.

Capitolul 2 oferă o examinare extinsă a literaturii de specialitate existente și a tehnologiilor actuale, cuprinzând nu numai abordările convenționale de proiectare a modului pentru glandele sudoripare, ci și principiile fundamentale ale tehnologiilor de fabricație aditivă, cum ar fi stereolitografia (SLA) și modelarea prin depunere topită/fabricarea cu filament topit (FDM/FFF). Acest capitol compară, de asemenea, cele două tehnologii și discută soluțiile cloud existente pe piață, cu un accent deosebit pe dispozitivul NETBEE IoT pus la dispoziție de compania austriacă NET-Automation din Zeltweg. De asemenea, sunt elaborate instrumentele software și teoriile specifice legate de ratele de transpirație și dinamica fluidelor.

Capitolul 3 se concentrează pe obiectivele specifice ale cercetării, susținute de o metodologie bine definită. Acest capitol servește ca plan de lucru pentru experimentele și dezvoltările care urmează.

Cel de-al patrulea capitol reprezintă nucleul tezei, detaliind procesele de proiectare și de fabricare a SGM. Acesta începe cu crearea unui distribuitor de fluid variabil, urmată de proiectarea inițială a SGM. Sunt discutate diverse iterații și îmbunătățiri, inclusiv utilizarea

tehnologiei FDM pentru imprimare și încorporarea componentelor electronice în modulele imprimate 3D.

Capitolul 5 explorează următorii pași în dezvoltarea SGM, concentrându-se asupra noilor materiale și echipamente pentru o simulare mai realistă a procesului de transpirație. De asemenea, se discută despre revizuirile aduse conceptului inițial pentru a-i îmbunătăți funcționalitatea.

În cel de-al șaselea capitol, accentul se pune pe integrarea modulului SGM cu dispozitivul NETBEE IoT. Aceasta include dezvoltarea unei interfețe, a unui software pentru controlul în cloud și a principiului general de funcționare a prototipului integrat.

Al șaptelea capitol detaliază cercetarea experimentală efectuată pentru a testa și valida întregul concept. Aici se întâlnesc aspectele teoretice cu cele practice, furnizând dovezi empirice pentru a susține obiectivele și ipotezele inițiale ale cercetării.

Ultimul capitol încheie teza, rezumând principalele constatări și detaliind contribuțiile aduse de această cercetare. De asemenea, acesta privește în perspectivă, sugerând căi de cercetare viitoare în acest domeniu interdisciplinar interesant.

CAPITOLUL 1 INTRODUCERE

Capitolul 1 al acestei teze de doctorat, capitolul introductiv, urmărește optimizarea dezvoltării obiectelor tehnice prin implementarea unor procese inginerești eficiente și rentabile. Obiectivul principal al acestui capitol este de a aborda provocările asociate cu costul ridicat al echipamentelor de simulare a transpirației umane. Acesta propune dezvoltarea unui prototip cunoscut sub numele de "Modulul pentru simularea glandelor sudoripare" (SGM), conceput pentru a reproduce cu acuratețe condițiile de transpirație. Cercetarea se străduiește să realizeze acest lucru prin investigarea metodelor de reducere a costurilor și prin integrarea senzorilor și a sistemelor de control în prototip. Obiectivul general este de a permite efectuarea de măsurători precise în diverse industrii.

Subcapitolul 1.1 oferă o prezentare cuprinzătoare a structurii tezei, subliniind capitolele care constituie întreaga lucrare. Subcapitolul 1.2 aprofundează necesitatea, semnificația și aplicațiile potențiale ale sistemului modular în curs de dezvoltare, care își are rădăcinile într-o abordare de tip "proof-of-concept" (demonstrarea conceptului).

CAPITOLUL 2 ANALIZA STADIULUI ACTUAL AL TEHNOLOGIEI

Capitolul 2 explorează pe larg stadiul actual al producției de produse tehnice, cu scopul de a oferi o înțelegere cuprinzătoare a diferitelor aspecte relevante pentru dezvoltarea rapidă a acestor produse. Capitolul cuprinde o examinare structurată a literaturii de specialitate, a metodologiilor, a sistemelor, a cadrelor teoretice, a tehnicilor de proiectare, a proceselor de fabricație, a unităților de control, a instrumentelor software și a dinamicii fluidelor din cadrul acestui domeniu, după cum urmează:

- Subcapitolul 2.1: servește ca bază cu o analiză aprofundată a literaturii de specialitate privind producția de produse tehnice, unde majoritatea studiilor au investigat manechinele termice existente și simularea transpirației, discutând capacitățile, limitările și performanța acestora. Aceste studii pot fi folosite ca surse pentru a înțelege stadiul actual al tehnicii în tehnologia și designul manechinului termic.

- Subcapitolul 2.2: evaluează metodele și sistemele, identificând punctele forte și punctele slabe.
- Subcapitolul 2.3: explorează metodele practice de proiectare.
- Subcapitolul 2.4: evaluează tehnicile de fabricație, cum ar fi imprimarea 3D.
- Subcapitolul 2.5: oferă o imagine de ansamblu asupra cloudurilor existente pe piață.
- Subcapitolul 2.6: evidențiază atributele dispozitivului NETBEE IoT.
- Subcapitolul 2.7: explorează sistemul de control eficient.
- Subcapitolul 2.8: se axează pe software-ul și metoda utilizată.
- Subcapitolul 2.9: studiază ratele de transpirație și dinamica fluidelor.
- Subcapitolul 2.10: sintetizează principalele constatări, îmbunătățind înțelegerea generală.

În încheiere, se rezumă principalele constatări rezultate din această analiză cuprinzătoare.

În acest capitol, rezultatele cercetării au fost comparate în mod sistematic pentru a stabili o bază solidă de cercetare, introducând o abordare unică de investigare care nu se regăsește în literatura existentă. Sistemele de simulare a transpirației sunt esențiale pentru evaluarea îmbrăcăminte și a echipamentelor în medii fierbinți, oferind avantaje în ceea ce privește controlul, reproductibilitatea și rentabilitatea. Aceste sisteme reproduc condițiile din lumea reală, asigurând siguranța, confortul și performanța. Cu toate acestea, este nevoie de repere stabilite pentru materialele și proiectarea sistemelor în sistemele de simulare a transpirației. Cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe crearea unui sistem economic, versatil și ușor de utilizat, adaptat pentru uz industrial. În concluzie, glandele sudoripare, manechinele și sistemele de simulare sunt esențiale pentru condiții de transpirație controlate, oferind instrumente fiabile pentru evaluarea produselor și potențialul de a îmbunătăți textilele și produsele pentru a răspunde mai bine nevoilor consumatorilor.

CAPITOLUL 3 OBIECTIVELE CERCETĂRII DOCTORALE

Capitolul 3 începe cu subcapitolul 3.1. care se ocupă de obiectivele specifice prin sintetizarea simulărilor anterioare, selectarea materialelor, proiectarea hardware și software și efectuarea de cercetări experimentale pentru a evalua contribuțiile teoretice. Rezultatele anticipate implică selectarea materialelor, prototip bine conceput, PCB funcțional și software de monitorizare eficient.

Subcapitolul 3.2. descrie metodologia de cercetare conform ciclului empiric al lui A.D. de Groot, care constă în șase etape: Observația, Inducția, Deducția, Testarea, Evaluarea și Revizuirea. Această abordare sistematică asigură o cercetare empirică riguroasă și fiabilă, ajutând cercetătorii să dezvolte explicații solide ale fenomenelor. Ciclul de cercetare empirică este utilizat pentru a investiga și a dezvolta un prototip cu costuri reduse pentru simularea transpirației termoregulatorie pentru aplicații industriale. Procesul de cercetare începe cu o trecere în revistă a literaturii, observarea și formularea întrebărilor de cercetare. Se derivă ipoteze, iar experimentele sunt concepute pentru a reproduce condițiile din lumea reală. Testarea și evaluarea sunt efectuate utilizând parametrii din literatura de specialitate și din experimentele de teren. Odată ce criteriile sunt îndeplinite, proiectul experimental trece la etapa de prototip pentru potențiale aplicații în lumea reală. Implementarea pe teren duce la identificarea de noi lacune în cercetare, inițiind un proces iterativ.

CAPITOLUL 4

CERCETARE PRIVIND PROIECTAREA ȘI FABRICAREA MODULULUI GLANDELOR SUDORIPARE

Capitolul 4 marchează începutul contribuțiilor personale ale autorului, concentrându-se pe proiectarea și fabricarea modulului pentru simularea glandelor sudoripare (SGM). Acesta cuprinde mai multe subcapitole:

- Subcapitolul 4.1.: Proiectarea și fabricarea unui distribuitor de fluid variabil , fără a fi nevoie de structuri de susținere în canale.
- Subcapitolul 4.2.: Proiectarea și fabricarea SGM-ului inițial, în cazul în care partea imprimată ar putea acomoda contururi complexe ale corpului direct în cadrul proiectului, sporind și mai mult robustețea și versatilitatea modulului.
- Subcapitolul 4.3.: Studiul experimental pentru proiectarea unui trunchi uman s-a concentrat pe modelarea regiunii axilare pentru a se asemana cât mai mult cu anatomia umană, unde a fost schițat un contur exterior solid și a fost extrasă o porțiune din acesta pentru a crea o formă a corpului, ceea ce a permis integrarea modulului inițial al glandelor sudoripare în regiunea axilară.
- Subcapitolul 4.4.: Modelarea și fabricarea unei subsoare anatomice SGM cu senzori integrați - Dispozitivul proiectat îndeplinește cerințe specifice, cum ar fi prevenirea suprapunerilor în găuri și canale și asigurarea alinierii corecte a pieselor de prelucrat pe o platformă de lucru, incluzând mai multe etape de cercetare și a avut ca rezultat un dispozitiv care seamănă foarte mult cu o subsuoară la scară reală, complet cu peste 400 de glande de ieșire și senzori de umiditate și temperatură integrați.
- Subcapitolul 4.5.: SGM imprimat cu ajutorul tehnologiei FDM, concluzionând că modulul complex ar trebui imprimat cu ajutorul tehnologiei SLA, dar cu un material diferit de rășina folosită inițial (rășină clară).
- Subcapitolul 4.6.: Cercetarea experimentală privind încorporarea componentelor electronice în piesele imprimate 3D, axată pe două exemple practice care ilustrează potențialele aplicații ale acestei integrări.

Capitolul se ocupă de proprietățile și selecția materialelor, explorând metodele avansate de fabricație pentru integrarea rentabilă a canalelor de curgere a fluidelor. Acesta oferă o prezentare cuprinzătoare a proiectării și fabricării modulului cu glande sudoripare cu ajutorul tehnicilor SLA/FDM, punând accentul pe potențialul acestora pentru progrese viitoare.

Dovada conceptului se bazează pe crearea unui SGM precis din punct de vedere anatomic la subsuoară, cu senzori de umiditate și temperatură, o pompă reglată electronic și peste 400 de glande de ieșire. Cercetarea evidențiază avantajele fabricării aditive, în special SLA, pentru a obține o distribuție uniformă a fluidelor în cadrul rețelei complicate de canale. Au fost efectuate teste practice pentru a valida predicțiile teoretice.

Rezultatele sugerează că tehnologia SLA cu un material diferit este optimă pentru imprimarea modulului complex. Studiul explorează, de asemenea, integrarea componentelor electronice, deschizând uși către potențiale aplicații.

Fluxul de lucru modular permite integrarea pas cu pas a modulelor într-un manechin, ceea ce poate duce la dezvoltarea unui manechin complet pentru simulări de transpirație în diverse aplicații industriale.

CAPITOLUL 5

EVOLUȚIA ULTERIOARĂ A PROTOTIPULUI MODULULUI GLANDELOR SUDORIPARE, PENTRU O FUNCȚIONALITATE SPORITĂ

Capitolul 5 marchează o etapă importantă în dezvoltarea prototipului modulului glandelor sudoripare (SGM), concentrându-se pe creșterea funcționalității acestuia pentru simularea precisă a procesului de transpirație anatomică. Acest capitol cuprinde mai multe subcapitole:

- Subcapitolul 5.1.: Cercetările experimentale asupra unui nou design și material elastic, în care elasticitatea dorită a fost atinsă cu succes prin procedurile utilizate prin imprimarea a două părți și lipirea acestora împreună, rezultatele au validat în continuare ipoteza testată conform căreia un material elastic poate fi manipulat eficient, prin aplicarea unor componente specifice. niveluri de presiune, pentru a facilita evacuarea controlată a lichidului într-o zonă desemnată, asigurând o distribuție uniformă.
- Subcapitolul 5.2.: Echipament experimental suplimentar pentru simularea îmbunătățită a procesului de transpirație, include o pompă cu diafragmă de 6VDC, fittinguri push-in și două recipiente de 500 ml pentru manipularea lichidelor. Este portabil și poate fi ambalat într-o valiză. Cu toate acestea, prototipul realizat din rășină elastică 50 A a avut preocupări cu privire la durabilitate, deoarece pereții modulului au eșuat după aproximativ 60 de teste, făcându-l nepotrivit pentru mai multe teste.
 - Subcapitolul 5.3.: Revizuirea conceptului și alegerea unui material diferit, rășină flexibilă 80A, după ce modulele inițiale din rășină elastică 50A nu au putut suporta testele riguroase. Acest nou material a fost întărit pentru durabilitate în timpul mai multor teste. Ambele materiale au fost imprimate 3D pentru comparație, iar rășina flexibilă 80A a demonstrat suprafețe mai netede și o mai mare robustețe. Testele ulterioare au avut ca scop evaluarea caracterului practic și a eficienței designului SGM îmbunătățit.

Capitolul abordează mediul de simulare și evaluarea SGM, punând un accent deosebit pe importanța testării fizice pentru a asigura crearea unui prototip practic și funcțional.

Obiectivul principal al studiului a fost de a îmbunătăți funcționalitatea SGM, prin intermediul unei serii sistematice de etape. Au fost explorate, construite și tipărite 3D diverse modele folosind două materiale diferite. A fost dezvoltat un dispozitiv experimental pentru a îmbunătăți acuratețea simulării transpirației anatomice.

Testele au arătat că modulul imprimat cu rășina flexibilă 80A prin metoda SLA are suprafețe mai netede, o mai mare robustețe și își păstrează flexibilitatea similară cu cea a unui material elastic.

În urma acestor progrese, au fost efectuate teste suplimentare pentru a evalua și valida viabilitatea și eficiența practică a SGM îmbunătățite. Această fază de experimentare a fost esențială pentru a determina aplicabilitatea în lumea reală a designului îmbunătățit al modulului pentru glande sudoripare.

CAPITOLUL 6

INTEGRAREA MODULULUI GLANDELOR SUDORIPARE CU NETBEE IOT

Capitolul 6 al acestei teze de doctorat este dedicat definirii cerințelor hardware, conceptului și structurii sistemului mecatronic, fiind alcătuit din următoarele subcapitole:

- Subcapitolul 6.1.: Dezvoltarea unei interfețe pentru conectarea SGM cu dispozitivul IoT, a implicat fabricarea plăcii de circuite imprimate (PCB-ului), asamblarea lui precisă, efectuarea de teste riguroase pentru a asigura funcționalitatea și performanța și încheierea procesului de dezvoltare cu PCB-ul finit.
- Subcapitolul 6.2.: Integrarea interfeței dezvoltate (PCB) în dispozitivul NETBEE IoT existent.
- Subcapitolul 6.3.: Dezvoltarea software-ului necesar pentru a controla SGM prin cloud - Software-ul a fost dezvoltat în Python și include o reprezentare vizuală simplă a unei părți a corpului. Această reprezentare permite integrarea ușoară a modulelor suplimentare în viitor, cum ar fi o a doua axilă, piept sau spate. Această abordare demonstrează modularitatea, flexibilitatea, extensibilitatea și selecția software-ului.
- Subcapitolul 6.4.: Principiul de funcționare a prototipului de simulare a procesului de transpirație.

Capitolul prezintă în detaliu crearea plăcii cu circuite imprimate (PCB) pentru unitatea de control, urmată de asamblarea unui sistem format din tuburi flexibile, pompe și un rezervor de apă. Acest sistem a fost integrat cu prototipul SGM pentru a simula procesul de transpirație.

Odată ce interfața a fost încorporată în modulul NETBEE IoT, a fost dezvoltat un software bazat pe Python pentru a controla SGM prin intermediul cloud-ului. Software-ul include o interfață de utilizator intuitivă care oferă configurarea sistemului, calibrarea, detectarea defecțiunilor, afișarea datelor în timp real, controlul termic, înregistrarea și stocarea datelor.

Prototipul oferă operatorilor posibilitatea de a defini condiții de testare și criterii de toleranță personalizate prin intermediul testelor definite de utilizator. S-a efectuat o analiză statistică în timp real a datelor de testare, iar componentele hardware și software sunt supuse evaluării. Acesta constă într-un modul pentru glandele sudoripare (SGM) echipat cu senzori integrați pentru monitorizarea temperaturii și a umidității. Acesta include prevederi pentru conectarea la o interfață și la o configurație de programare, cu un element de încălzire pentru a imita temperatura corpului uman de bază.

Interfața permite conexiuni pentru până la patru senzori de temperatură și umiditate, precum și pentru două actuatoare (încălzitor și pompă). Un dispozitiv IoT extrage datele de la senzori și reglează actuatoarele. Acest dispozitiv IoT se conectează la o aplicație bazată pe cloud, accesibilă printr-o interfață web, permițând utilizatorilor să controleze sistemul. Aplicația oferă, de asemenea, un API pentru extragerea datelor.

Secvența operațională implică recuperarea datelor, analiza și modularea dispozitivelor de acționare într-un mediu care reproduce condițiile care induc transpirația umană. Datele senzorilor au fost transmise către cloud prin intermediul interfeței și al modulului NETBEE IoT, cu stocare la intervale predefinite. Software-ul menține o conexiune cu cloud-ul și, atunci când este necesară simularea transpirației, declanșează actuatorii, cum ar fi pompa, pentru a introduce lichid în SGM.

CAPITOLUL 7

CERCETAREA EXPERIMENTALĂ PENTRU TESTAREA ȘI VALIDAREA CONCEPTULUI

În cadrul acestei cercetări experimentale din capitolul 7, a fost examinat un sistem de transport al fluidelor, care cuprinde furtunuri, o minipompă cu membrană și un modul de presare a sudorilor (SGM) cu 400 de găuri (a se vedea figura 2). Sistemul urmărește să inducă presiune pentru a elibera picături de apă prin găuri, simulând producerea de transpirație.

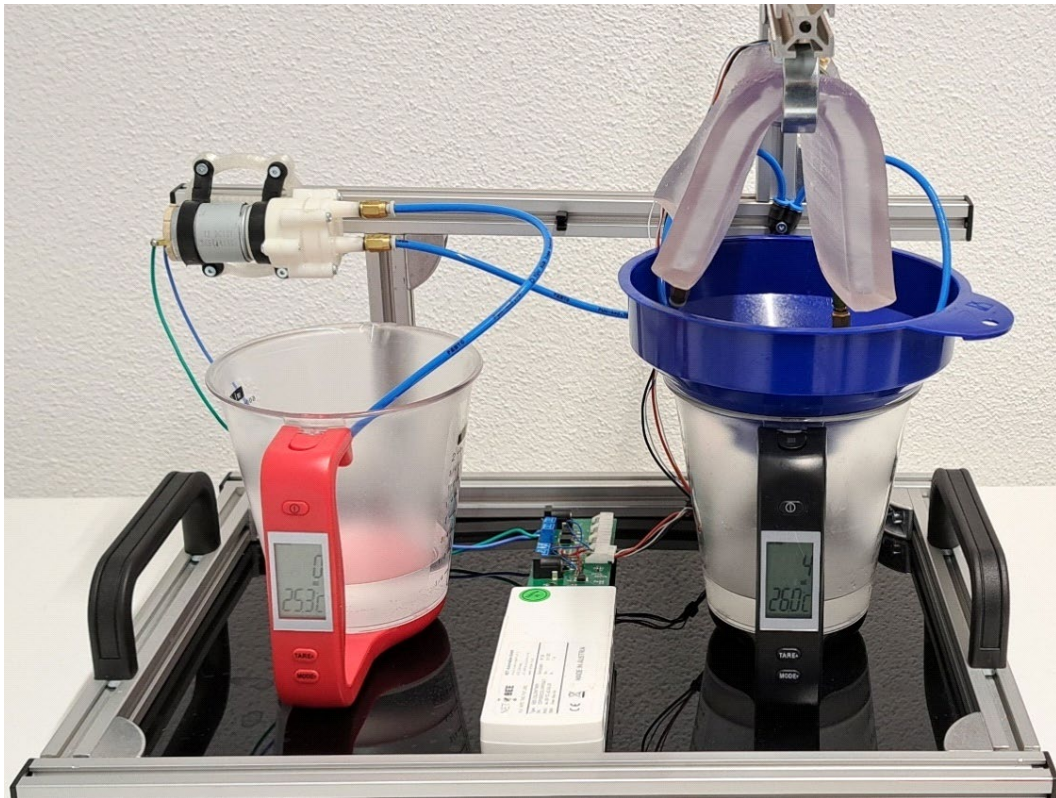


Fig. 2: Configurația experimentală a modului pentru glandele sudoripare

Experimentul presupune investigarea dinamicii fluidelor în cadrul sistemului, inclusiv a debitelor, a presiunilor și a comportamentului apei. Un modul IoT este utilizat pentru a controla temperatura, umiditatea și pompa, facilitând eliberarea picăturilor de sudoare prin găurile SGM-ului. Cercetarea oferă informații despre termoreglarea și transpirația umană în diferite condiții.

Fluxul de lucru prezentat în figura 3 începe cu umplerea modului cu lichid pentru glandele sudoripare, transmiterea datelor senzorilor către depozite la distanță și utilizarea software-ului pentru a controla elementul de încălzire și pompa cu membrană. Încercările iterative stabilesc parametrii operaționali pentru timpul țintă și activarea pompei. Pompa cu membrană creează presiune, extinzând materialul flexibil din rășină de 80 A și dilatând deschiderile de ieșire, permițând lichidului să simuleze formarea de perle de sudoare, imitând transpirația. Procesul a fost supus mai multor iterații de simulare pentru a obține volumele de lichid dorite, obținând informații valoroase din această cercetare experimentală.

Fig. 3: Diagrama fluxului de lucru al procesului de configurare experimentală

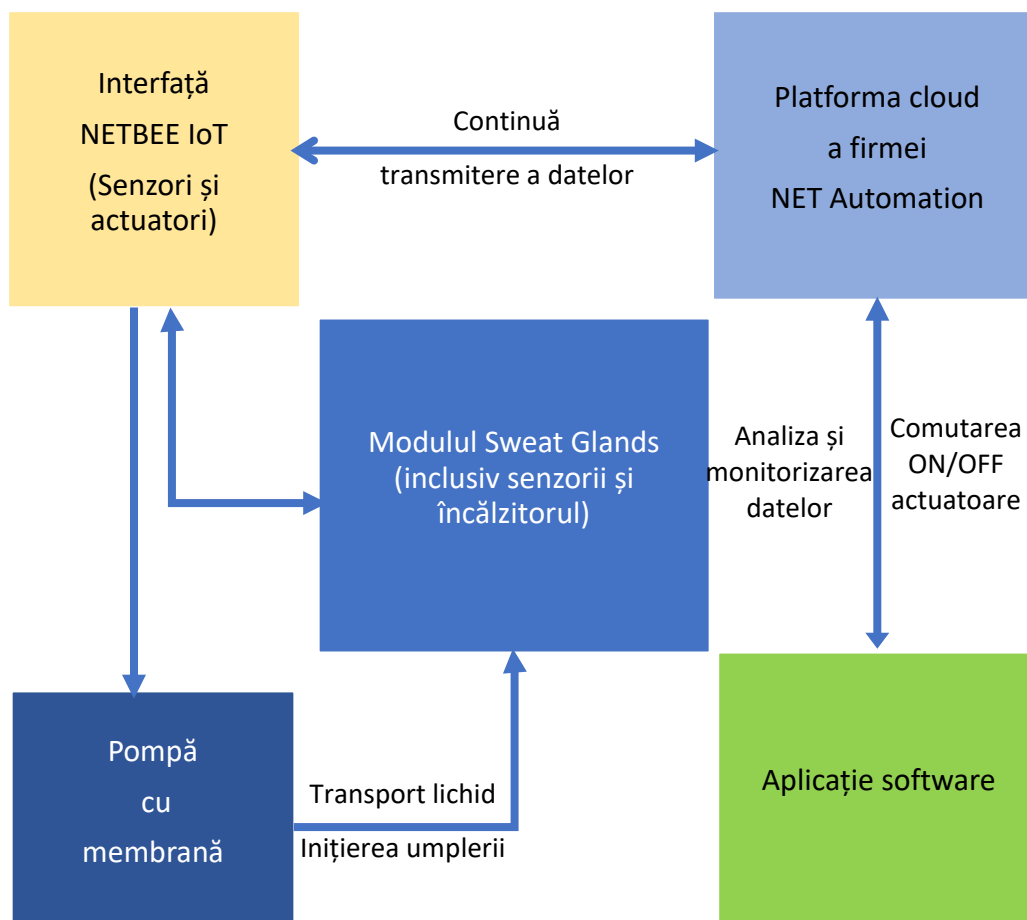


Fig. 3: Diagrama fluxului de lucru al procesului de configurare experimentală

Această cercetare experimentală, axată pe testarea și validarea conceptului propus, a dat rezultate semnificative. O scurtă încercare în Flow Simulation, integrată în SolidWorks 2022, a fost utilizată pentru a efectua o analiză folosind un model simplificat care reflectă dimensiunile prototipului testat. Rezultatele simulării au scos la iveală modele hidrodinamice complexe, inclusiv o bifurcație notabilă a fluxului inițial de apă, care a condus la două traiectorii distincte - una inferioară și una superioară. Aceste traiectorii au întâlnit suprafețe interioare verticale, provocând reflexie și o divizare suplimentară la ajungerea la orificiile de ieșire.

În plus, această cercetare pune bazele dezvoltării viitoare, inclusiv a cererilor de brevet și a producției în masă a modulelor de simulare a glandelor sudoripare. În special, capacitatea sistemului de a reproduce fidel condițiile din lumea reală permite cercetătorilor să investigheze variațiile în producția de transpirație în funcție de factorii de mediu și de nivelurile de activitate fizică.

CAPITOLUL 8

CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE VIITOARE DE CERCETARE

Capitolul 8 încheie această cercetare prin rezumarea principalelor constatări, recunoașterea contribuțiilor personale și identificarea unor potențiale direcții de cercetare.

Această cercetare de doctorat a urmărit să stabilească o bază solidă pentru studierea și îmbunătățirea sistemelor de simulare a transpirației, în special pentru aplicații în medii fierbinți. Aceste sisteme, inclusiv manechinele de transpirație și camerele climatice, joacă un rol crucial în dezvoltarea produselor pentru astfel de condiții, oferind control, reproductibilitate și rentabilitate față de testele pe oameni sau animale.

Studiul evidențiază beneficiile și versatilitatea manechinelor care simulează transpirația în diverse industrii, inclusiv în domeniul îmbrăcăminte sportive, al echipamentelor de protecție, al refrigerării și al echipamentelor de protecție personală. Deși aceste manechine nu pot reproduce în totalitate transpirația umană, ele oferă rezultate fiabile pentru testele relative. Absența unor materiale standardizate, a unor modele de sisteme și a unor analize ale rezultatelor reprezintă o provocare, subliniind necesitatea unor cercetări viitoare privind dezvoltarea unui sistem de simulare a transpirației accesibil și ușor de utilizat pentru aplicații industriale.

Cercetarea subliniază, de asemenea, importanța selecției materialelor și a tehnicilor de imprimare 3D în crearea unor module de glande sudoripare durabile pentru simulări precise. Integrarea componentelor electronice și un flux de lucru modular sporesc funcționalitatea sistemului.

În plus, studiul introduce un sistem experimental care simulează cu succes transpirația umană prin intermediul tehnologiei IoT și al analizei dinamicii fluidelor. Acest sistem oferă aplicații potențiale în știința sportului, în monitorizarea sănătății și în dezvoltarea de tehnologii purtabile.

Cercetarea prezintă diferite contribuții personale, inclusiv sinteza literaturii, selecția materialelor, proiectarea hardware, imprimarea 3D, integrarea electronică, proiectarea interfeței, dezvoltarea de software și simularea fluxului. Colaborarea cu partenerii din industrie a îmbogățit proiectul și a evidențiat importanța colaborărilor dintre industrie și mediul academic.

Cercetările viitoare se pot baza pe aceste constatări pentru a rafina modelele, a explora materialele și a valida aplicațiile practice. Printre domeniile potențiale de explorare se numără întruchiparea geamănului digital, integrarea inteligenței artificiale și extinderea domeniului de aplicare a simulărilor anatomice. Natura modulară a sistemului permite o integrare ușoară în manechinele existente, facilitând îmbunătățirile continue.

În concluzie, această cercetare pune bazele unor progrese ulterioare, inclusiv cereri de brevete și producția în masă a modulelor de glande sudoripare. Eforturile de standardizare și cercetarea continuă în acest domeniu vor contribui la îmbunătățirea designului și a performanțelor produselor în diverse medii, asigurând siguranța, confortul și funcționalitatea în mediile fierbinți.