

**UNIVERSITATEA „ȘTEFAN CEL MARE” SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ ȘI ȘTIINȚA
CALCULATOARELOR**

**STUDIUL UNOR SISTEME DIGITALE DESTINATE
EVALUĂRII STĂRILOR EMOȚIONALE**

Coordonator Științific:
Prof. univ. dr. ing. Dan Laurențiu MILICI

Doctorand:
Mihai CENUȘĂ

Suceava
-2019-

CUPRINS

Introducere.....	5	5
Capitolul 1		
Metode de cercetare în bioecologie.....	9	9
1.1 Noțiuni introductive	9	9
1.2 Rolul și avantajele cercetării științifice	11	10
1.3 Metode și metodologia de cercetare	12	-
1.4 Cercetarea cantitativă, calitativă și mixtă	15	-
1.5 Tipuri de cercetare	18	-
1.6 Trendurile actuale ale cercetării	20	-
1.7 Concluzii	22	10
Capitolul 2		
Semnale biologice. Sistemul electrodermal	23	11
2.1 Noțiuni introductive	23	11
2.2 Proprietățile electrice a membranei celulare	24	11
2.3 Schema electrică echivalentă a celulei	29	-
2.4 Semnale electromagnetice utilizate în medicină	29	11
2.5 Anatomia și fiziologia pielii	35	-
2.6 Proprietățile electrofizice a pielii și a glandelor sudoripare	37	12
2.7 Modele ale sistemului electrodermal	38	-
2.8 Metode de măsurare a activității electrodermale	41	13
2.9 Electrocul biomedical	44	-
2.10 Concluzii	46	14
Capitolul 3		
Sisteme de monitorizare a biosemnalelor	47	15
3.1 Generalități privind sistemele de achiziție și monitorizare de date	47	15
3.2 Structura bloc a unui sistem de achiziție de date	48	15
3.3 Structura unei plăci de achiziție de date	51	-
3.3.1 Blocul de intrări/ieșiri numerice.....	53	-
3.3.2 Blocul de intrări analogice.....	54	-
3.3.3 Blocul de ieșiri analogice.....	55	-
3.4 Tipuri de sisteme analogice de achiziție de date	56	15
3.5 Dispozitive de monitorizare a semnalelor bioelectrice	58	-
3.5.1 Exemple de dispozitive de monitorizare a parametrilor vitali	58	-
3.5.2 Rețea de senzori pentru monitorizarea parametrilor vitali la conducătorii auto	60	-
3.5.3 Sistem portabil de monitorizare a sănătății bazat pe senzori integrați în material textil	62	-

3.5.4 Dispozitiv pentru monitorizarea respirației având la bază măsurarea inducției magnetice	64	-
3.5.5 Monitorizarea semnalului EOG pentru determinarea opțiunii pacientului	66	-
3.5.6 Interfață creier computer utilizând semnalul electrocorticografic la om ...	69	-
3.5.7 Sisteme de monitorizare a răspunsului electrodermal	70	-
3.6 Cercetări privind monitorizarea semnalelor bioelectrice dezvoltate în cadrul USV.....	75	16
3.6.1 Sistem de evaluare a stărilor emoționale	75	16
3.6.2 Sistem pentru evaluarea nivelului de concentrare de baza semnalului electroencefalografic (EEG)	77	-
3.7 Concluzii.....	78	16
Capitolul 4		
Studiul unui sistem de monitorizare a stărilor emoționale	80	17
4.1 Noțiuni generale	80	17
4.2 Studiul unui microsistem de monitorizare	81	17
4.3 Concluzii	88	18
Capitolul 5		
Contribuții la dezvoltarea unor dispozitive pentru monitorizarea nivelului de stres	89	19
5.1 Noțiuni generale	89	-
5.2 Microsistem de monitorizare a nivelului de stres	89	19
5.3 Testarea dispozitivului	92	20
5.4 Implementarea unor aplicații pentru monitorizarea stărilor emoționale	95	22
5.5 Concluzii	103	24
Capitolul 6		
Analiza și interpretarea datelor achiziționate cu sistemul de monitorizare a nivelului de stres	105	25
6.1 Noțiuni generale	105	25
6.2 Descrierea experimentului	106	25
6.3 Analiză comparativă și interpretarea datelor achiziționate	108	26
6.4 Concluzii	117	30
Capitolul 7		
Concluzii generale	118	31
Referințe bibliografice	122	35
Anexe	131	-

INTRODUCERE

Teza de doctorat abordează un domeniu de actualitate cu privire la studiul unor parametri biologici care pot da o măsură a nivelului și a evoluției stărilor emoționale cu scopul dezvoltării unor biodispozitive și are, în mod evident, un caracter multidisciplinar ce acoperă o gamă largă de domenii. Concepte din psihologie, medicină, achiziția și prelucrarea semnalelor au avut un rol definitoriu în conturarea lucrării.

O problemă actuală cu care ne confruntăm este stresul generat, în principal, de societatea și locul de muncă care pun un nivel de presiune fără precedent asupra oamenilor. Stresul pe care îl trăim în fiecare zi este, în esență, cauzat de mai multe fenomene care sunt inerente societății de astăzi, printre care enumerăm: intensificarea volumului de muncă pentru creșterea câștigurilor de productivitate; căutare constantă pentru perfecțiune; obsesia față de concurență; dificultatea echilibrării muncii, a vieții personale și a vieții de familie; modificări majore ale valorilor și standardelor sociale. Un alt aspect este că această „boală” este molipsitoare în sensul că suntem ușor influențabili, iar mai devreme sau mai târziu, vom prelua din ”starea de spirit” a colegilor de la locul de muncă, a membrilor familiei sau a prietenilor. Semnele de stres sunt omniprezente, iar consecințele lor sunt numeroase.

Stresul este o reacție primară, o stare de alertă însoțită de o serie de modificări de adaptare funcțională la nivelul organismului, menite să-l pregătească să înfrunte un potențial pericol. Cel mai important rol în acest proces este jucat de glandele suprarenale prin secretarea hormonilor corticosteroizi, a adrenalinei și a noradrenalinei responsabile cu reglarea unor procese din organism: stimulează transportul sângelui oxigenat către mușchi și inimă, eliberează rezerve de acizi grași și glucoză în sânge. Un efect al reacției de stres, valorificat în această lucrare, este modificarea pronunțată a activității glandelor sudoripare aflate în zona palmelor și tălpilor.

Stresul provoacă daune, adesea subestimate, și este un fenomen social care trebuie examinat și evaluat îndeaproape. Printre problemele de sănătate ce sunt puse pe seama stresului putem enumera: anxietatea, depresia, probleme digestive, dureri de cap, boli de inimă, probleme de somn, creștere în greutate, deprecierea capacității de concentrare.

Principala etapă în diminuarea efectelor nefaste generate de stres este identificarea factorilor declanșatori, proces ce este realizat de psihologi și psihanaliști prin utilizarea metodelor specifice. Dezavantajul acestor analize este dat de faptul că momentul în care se aplică, după experimentarea emoțiilor provocate de stres, nu este întotdeauna cel mai oportun, astfel unii factori declanșatori pot fi omiși sau trecuți pe un plan secund. Din acest neajuns izvorăște interesul specialiștilor, din cele mai diverse domenii, în găsirea unor soluții viabile de monitorizare a emoțiilor, respectiv a nivelului de stres. Căutarea unei astfel de soluții a reprezentat obiectivul acestei teze care a fost atins prin dezvoltarea unui dispozitiv de monitorizare a nivelului de stres. Comunitatea științifică a primit foarte bine această propunere, lucru dovedit și prin rezultatele obținute la saloanele de invenții naționale și internaționale, printre care: Medalia de aur la *International Exhibition of innovations, Geneva, 2019*; Medalia

de aur la *International Exhibition of technical innovations, patents and inventions iunie 2018, Trinec, Czech Republic*; Medalia de argint la *Salonul de Invenții INOVA - BUDI UZOR, Croația 2018*; Medalia de argint la *International Invention and Innovation Show INTARG POLAND, 2018*; Medalia de bronz la *Salonul Internațional al Creativității și Inovării EUROINVENT Iași 2018*;

Teza de doctorat este structurată pe șapte capitole, o introducere, un capitol dedicat concluziilor finale și o listă cu referințe bibliografice consultate pe parcursul elaborării lucrării.

Primul capitolul, intitulat *Metode de cercetare în bio-ecologie*, prezintă o analiză efectuată de autor prin care sunt identificate, din multitudinea de tehnici, metode și metodologii de cercetare, pe cele ce se pretează cel mai bine subiectului temei de doctorat.

În capitolul al doilea, intitulat *Sisteme biologice. Sistemul electrodermal*, este realizat un studiu în scopul identificării acelor biosemnale utilizate în medicină care ar putea furniza informații legate de starea emoțională a unui individ. Biosemnalele electromagnetice iau naștere la nivelul celulei. Membrana celulară are o permeabilitate dirijată, parțial permeabilă la anioni și impermeabilă la cationi în stare de repaus, realizând la aceștia din urmă un gradient de concentrație. Membrana celulară are o structură neomogenă și prezintă o organizare poroasă cu sarcini electrice de suprafață. Datorită acestor proprietăți, celula se comportă ca un generator de tensiuni electromotoare. Biosemnale utilizate în practica medicală sunt achiziționate de la nivelul pielii. Aceasta este un analizor fizic de contact, un organ conjunctivo-epitelial care acoperă pe toată întinderea sa suprafața externă a corpului. Modificarea conductanței electrice a pielii este dată de activitatea glandelor sudoripare. O parte dintre acestea, care sunt situate pe frunte, palme și tălpi, se activează în situații de stres psihologic, independent de temperatură și de efortul muscular. Această proprietate a pielii a fost valorificată în lucrare.

În capitolul al treilea, intitulat *Sisteme de monitorizare a biosemnalelor*, sunt prezentate rolul, funcționalitatea și soluții constructive ale principalelor elemente componente care stau la baza proiectării unui sistem de achiziție și monitorizare a semnalelor electrice biologice. Un sistem de achiziție de date are astfel în componență următoarele elemente principale: senzori, circuitul de condiționare, canalul de transmisie, amplificatorul, multiplexorul, circuitul de eșantionare-memorare, convertorul analog-numeric și procesorul. O parte din funcțiile acestor componente sunt integrate în plăci de achiziție care pot fi de utilizare generală sau special concepute pentru anumite aplicații. În partea finală a acestui capitol sunt prezentate o serie de dispozitive de monitorizare a semnalelor bioelectrice, comercializate și care prezintă performanțe metrologice diferite.

Capitolul patru, *Studiul unui sistem de monitorizare a stărilor emoționale*, prezintă o analiză experimentală, comparativă, între datele obținute cu ajutorul unui sistem de monitorizare a stărilor emoționale ce are la bază achiziția și prelucrarea semnalului electrodermal, cu aplicativitate în domeniul medical și o soluție constructivă propusă de autor. Scopul acestor studii a fost de comparare a unor soluții constructive de achiziționare a semnalului electrodermal, cu costuri reduse și precizie ridicată, care vor putea fi integrate în sistemele de evaluare emoțională proiectate.

La realizarea acestui experiment au participat mai mulți subiecți la care s-a măsurat conductivitatea electrică a pielii. Prin compararea rezultatelor obținute, s-a constatat că diferența valorilor achiziționate cu sistemul proiectat și realizat, alcătuit din placa cu utilizare generală și un circuit adaptor, nu este mai mare de $\pm 4,9 \%$ față de valorile achiziționate cu sistemul de

monitorizare a biosemnalelor utilizat în domeniul medical. Acest lucru duce la concluzia că sistemul proiectat și realizat este potrivit pentru punerea în evidență a modificărilor semnalului electrodermal. Soluția tehnică proiectată, realizată și testată a fost utilizată în continuare în dezvoltarea dispozitivului pentru monitorizarea nivelului de stres.

Capitolul al cincilea, *Contribuții la dezvoltarea unui dispozitiv pentru monitorizarea nivelului de stres*, descrie în detaliu două variante constructive ale dispozitivului de monitorizare a nivelului de stres ce au fost proiectate și realizate. În prima variantă, dispozitivul a fost integrat într-un mouse orizontal iar în cea de a doua, într-unul vertical, cu o formă ce implică o poziție normală biologică a mâinii.

Aceste dispozitive măsoară valoarea conductivității electrice a pielii prin intermediul a doi electrozi montați pe fețele laterale ale mouse-ului, unde contactul cu pielea se face în zone în care concentrația de glande sudoripare activate de factorul psihologic este mare: degetul mare, degetul inelar sau podul palmei. Având în vedere că rezistența electrică măsurată este dependentă de forța de apăsare deget-electrod, sub unul dintre electrozi, a fost montat un senzor rezistiv de apăsare. Scopul utilizării senzorului de apăsare a fost de a elimina valorile achiziționate atunci când nu există un contact ferm între electrod și piele.

De asemenea, în cadrul acestui capitol, sunt prezentate și aplicațiile software dezvoltate de autor care împreună cu dispozitivul de monitorizare a nivelului de stres formează un instrument util atât utilizatorului cât și specialistului din domeniul sănătății.

Prima aplicație LabVIEW realizată și prezentată este un instrument ce va furniza specialiștilor din domeniul psihologiei variația răspunsului electrodermal a unei persoane ce a fost monitorizată o anumită perioadă de timp, cu ajutorul dispozitivului de monitorizare a nivelului de stres. Pe lângă această informație, aplicația realizată calculează și indicatorii statistici care sunt necesari pentru interpretarea datelor culese de dispozitivul de monitorizare și la identificarea factorilor stresori. Astfel pe panoul frontal al aplicației va fi afișat graficul de variație al răspunsului electrodermal și următorii indicatori statistici: valoarea maximă, valoarea minimă, amplitudinea absolută, amplitudinea relativă, media aritmetică, media pătratică, media geometrică, dispersia, abaterea standard, eroarea standard a mediei și coeficientul de variabilitate.

A doua aplicație a fost realizată cu scopul de a avertiza utilizatorul atunci când este atins un anumit nivel de stres. Aceasta rulează pe calculatorul utilizatorului și prelucrează, în timp real, datele preluate la dispozitivul de monitorizare. La atingerea unei valori prestabilite a nivelului de stres, pe panoul frontal al aplicației se va aprinde o lampă de culoare roșie, prin care utilizatorul este informat despre acest lucru. Pe lângă această funcție, pe panoul aplicației se vor afișa pulsul cardiac și saturația de oxigen din sânge, semnale achiziționate prin intermediul unui puls-oximetru montat pe dispozitivul de monitorizare al stărilor emoționale. Acest lucru este de o importanță deosebită deoarece monitorizarea zilnică a pulsului și a saturației de oxigen în sânge poate contribui la diagnosticarea, încă din faza de instalare, a unor afecțiuni.

În capitolul șase, *Analiza și interpretarea datelor achiziționate cu sistemul de monitorizare a nivelului de stres*, este realizată validarea funcționării dispozitivului de monitorizare prin intermediul datelor achiziționate și compararea acestora cu rezultate obținute prin intermediul aplicării unei metode psihologice de evaluare a nivelului de stres. Experimentul a avut loc, în cadrul disciplinei de *Grafică asistată de calculator*, pe un grup de 12 studenți ce urmau să susțină prima testare semestrială la care proba practică a constat în proiectarea

tridimensională a unei piese în aplicația AutoCAD. Metoda psihologică recomandată de specialiștii din cadrul Departamentului de Specialitate cu Profil Psihopedagogic, din cadrul Universității "Ștefan cel Mare" din Suceava, pentru a fi aplicată în această situație, a fost cea a chestionarului. Aceștia ne-au pus la dispoziție două baterii de teste și anume EMAS-S, test de evaluare multidimensională a anxietății și PDE, test de evaluare al profilului distresului emoțional, care au fost completate de studenți la începutul și finalul examenului. Pe parcursul desfășurării examenului aceștia au utilizat drept mouse, dispozitivul de monitorizare. Analizând datele obținute, s-a constatat că prin utilizarea dispozitivului propus se obțin rezultate concludente cu privire la mărimea variației nivelului de stres al unui individ, în condiții de solicitare intelectuală, identice cu cele obținute printr-o metodă psihologică. Avantajul major al utilizării dispozitivului prezentat este că acesta realizează o monitorizare continuă a nivelului de stres, fără ca subiectul să se simtă monitorizat, acest lucru ajutând la identificarea momentelor și a sarcinilor generatoare de stres.

Concluziile principale în legătură cu contribuțiile teoretice și experimentale ale tezei de doctorat și direcțiile de cercetare pentru viitor sunt prezentate în capitolul 7.

Teza de doctorat are în componență o bibliografie cu 123 poziții. De asemenea, este prezentată o listă cu 11 poziții specificând lucrările publicate de autor în domeniul de cercetare abordat și o listă de 22 lucrări la care doctorandul a participat în calitate de coautor în domenii conexe tezei, alături de cercetători din Centrul de cercetare EMAD al Universității din Suceava.

Anexele lucrării sunt în număr de 3 și cuprind aspecte teoretice, practice precum și rezultatele experimentale obținute, într-o formă detaliată.

Capitolul 1

METODE DE CERCETARE ÎN BIO-ECOLOGIE

[14], [15], [16], [17], [31], [32],

1.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Conform definiției dată în enciclopedie “cercetarea este un proces activ și sistematic pentru a descoperi, interpreta sau revizui fapte, evenimente, comportamente, teorii și pentru a realiza aplicații practice cu ajutorul lor” [31].

UNESCO definește cercetarea – dezvoltarea ca fiind ansamblul de: „activități sistematice strâns legate de producție, promovare, difuzie și aplicare a cunoștințelor științifice și tehnice în toate domeniile științei și tehnologiei”.

Organizația Națiunilor Unite emite următoarea definiție pentru cercetare-dezvoltare: „orice activitate sistematică creativă, întreprinsă cu scopul de a îmbogăți cunoașterea, inclusiv cunoașterea omului, culturii și societății și utilizarea acestor cunoștințe pentru a construi noi aplicații”.

Manualul Frascati [32] definește cercetarea și dezvoltarea experimentală ca fiind “înglobarea lucrărilor de creație făcute în mod sistematic în vederea îmbogățirii ansamblului de cunoștințe, inclusiv cunoașterea omului, a culturii și a societății, precum și utilizarea acestor cunoștințe pentru noi aplicații”. Termenul cercetare - dezvoltare acoperă trei activități: cercetarea fundamentală, cercetarea aplicativă și dezvoltarea experimentală.

1.2 ROLUL ȘI AVANTAJELE CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE

Cercetarea științifică este acel „loc” unde se pun întrebări și se caută răspunsuri la cele mai dificile și mai importante probleme din știință și tehnologie, cu un impact direct asupra bunăstării omenirii pe termen mediu și lung.

Sarcina principală a cercetătorului este de a îmbogăți bagajul de cunoștințe prin cercetare. Astfel cercetarea:

- extinde cunoștințele despre viața socială și mediul înconjurător;
- scoate la iveală informații care poate nu ar fi fost niciodată descoperite pe deplin în cursul vieții, fiind un factor cheie al cunoștințelor avansate în domenii importante;
- stabilește teorii și legi generale în diferite domenii importante;
- verifică și testează teorii existente, ajutând la îmbunătățirea cunoștințelor și abilităților pentru a rezolva probleme din zilele noastre;
- tinde să analizeze interrelațiile dintre variabile importante și dezvoltă explicații cauzale în domenii relevante;
- tinde să conceapă noi instrumente, concepte și teorii pentru studii profunde legate de fenomene necunoscute în domenii importante [16].

1.3 METODE ȘI METODOLOGIA DE CERCETARE

Metodele de cercetare pot fi înțelese ca toate acele metode ale cercetării care au de-a face cu scopul cercetării, cu natura problemei și alternativele adecvate pentru investigarea lor. Metoda științifică este un instrument folosit de cercetător pentru cunoașterea și rezolvarea unei probleme.

În tabelul 1.1 se prezintă distincția dintre metodele și metodologia cercetării [14], [15], [16].

Tabelul 1.1 Metode și metodologiile cercetării

<i>Metode</i>	<i>Metodologie</i>
O metodă științifică este un studiu sistematic al unui subiect bine limitat și definit.	Metodologia este procedura actuală de colectare și ordonare a datelor (experimentul, chestionarul, programa unei cercetări sociale).
Metodele sunt definitive: fiecare metodă are o cheltuială fixă și urmează pașii unei programe.	Metodologia este în schimbare.
Metoda este comună tuturor științelor. Are cinci faze: observarea, notarea, clasificarea, generalizarea și verificarea. În fiecare știință este urmărită aceeași ordine.	Metodologia nu este comună tuturor științelor.
Metoda este nederivată. Metoda este independentă de tehnică.	Metodologia este derivată. Tehnicile sunt dependente de metode.
Scopul metodei este complex și dominant. Scopul metodei științifice sunt cunoștințele sistematice despre un anumit subiect. Scopul metodei este mai vast și dominant și include în cadrul acestuia obiectivul tehnic.	Scopul metodologiei este limitat și folositor. Scopul metodologiei este doar de colectare și ordonare a faptelor. Scopul tehnicilor este limitat și util ca cel a metodelor.
Principalele tipuri de metode științifice sunt inducția, deducția, comparația, istoricul, structuralul și funcționalul.	Principalele tehnici ale cercetării sociale sunt: observația, chestionarul, programa și interviul, studiul documentar, etc.

1.7 CONCLUZII

- Un domeniu de foarte mare interes la nivel mondial este cercetarea care poate fi definită ca acea activitate întreprinsă în scopul de a găsi soluții la problemele societății sau de a răspunde la întrebările acesteia.
- Având în vedere importanța cercetării pentru societate, numeroase organizații internaționale (ONU, UNESCO, OCDE) acționează în direcția standardizării acestei activități.
- Cercetare reprezintă principalul element responsabil de dezvoltarea economică, socială și culturală a unei națiuni. Realizarea aplicațiilor practice cu ajutorul rezultatelor obținute din cercetare duce la progres tehnologic.
- Funcție de domeniul în care este realizată și de rezultatele care se urmăresc a se obține, cercetarea poate fi cantitativă, calitativă și mixtă. Fiecare din aceasta categorie se bazează pe metode specifice de cercetare.
- Cele mai reprezentative tipuri de cercetare sunt următoarele: experimentală, creativă, descriptivă, activă, istorică și exploratorie.
- Epistemologia, teoriile și metodele științifice se dezvoltă continuu. Înțelegerea viului, studiul indivizilor, al colectivităților, raporturile și transformările sociale, analiza fenomenelor cognitive, inteligența, emoțiile, implică găsirea unor noi mecanisme, care să minimizeze erorile de evaluare și să transforme datele și cunoștințele în cunoaștere.

Capitolul 2

SEMNALE BIOLOGICE. SISTEMUL ELECTRODERMAL

[2], [3], [20], [23]

2.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Celula este unitatea de bază, structurală și funcțională, a tuturor organismelor vii. Dimensiunea tipică celulei este de 10 μ m iar masa acesteia este de 1 nanogram, oamenii având aproximativ 100 bilioane de celule. Cea mai lungă celulă umană (neuronul) este de aproximativ 135 μ m și se găsește în cornul anterior din măduva spinării în timp ce celulele granulare din cerebel, cele mai mici, pot avea circa 4 μ m [3].

Componentele fundamentale ale celulei sunt: membrana, citoplasma și nucleul.

Celula se comportă ca un generator de tensiuni electromotoare. Membrana celulară are o permeabilitate dirijată: parțial permeabilă la anioni și impermeabilă la cationi în stare de repaus, realizând la aceștia din urmă un gradient de concentrație. Membrana celulară are o structură neomogenă și prezintă o organizare poroasă cu sarcini electrice de suprafață. Kollander considera că membrana celulară este formată din substanțe lipoproteice cu pori, prin care se vehiculează apă și electroliți. Cu ajutorul microscopelor electronice s-a evidențiat prezența a două straturi lipidice (de 50Å grosime) dispuse radial cu lanțurile hidrocarbonate în opoziție și cu grupările polare spre interiorul celulei. Membrana celulară se găsește într-o permanentă restructurare: astfel, un lanț lipidic poate ajunge în anumite momente în contact direct cu exteriorul celular, adăugând substanțe liposolubile. Prezența porilor în straturile lipidice determină clivarea straturilor proteice care acoperă astfel porii, permițând trecerea substanțelor hidrofile.

2.2 PROPRIETĂȚILE ELECTRICE ALE MEMBRANEI CELULARE

Din cercetările făcute până în prezent putem evidenția că membrana celulară poate prezenta proprietăți electrice pasive și active.

Dintre proprietățile electrice pasive putem enumera rezistența și conductibilitatea electrică, capacitatea electrică a membranei celulare și impedanța membranei. Explorarea membranei celulare cu ajutorul unei surse de curent evidențiază prezența unei rezistențe ohmice și a unei capacități electrice [2].

2.4 SEMNALE ELECTROMAGNETICE UTILIZATE ÎN MEDICINĂ

Majoritatea semnalelor biomedicale din lumea reală sunt fie imprevizibile (din punct de vedere al schimbării parametrilor) și zgomotoase, fie necunoscute, de aceea este destul de dificil a le clasifica. În îndeplinirea funcțiilor sale, organismul generează o multitudine de semnale electrice și magnetice. Aceste semnale sunt rezultatul activității electrochimice a anumitor celule.

Prin măsurarea selectivă a semnalelor dorite (fără a afecta organismul), se pot obține informații clinice utile despre funcții particulare ale organismului[2]:

- *Electroencefalograma (EEG).*
- *Magnetoencefalograma (MEG)*
- *Electrocardiograma (EKG)*
- *Vectocardiograma.*
- *Magnetocardiografia*
- *Electrooculograma*
- *Pletismografia de impedanță*
- *Electromiografia.*

2.6 PROPRIETĂȚILE ELECTROFIZICE ALE PIELII ȘI ALE GLANDELOR SUDORIPARE

Dacă un curent electric este aplicat unui țesut, cum ar fi pielea, acesta se comportă ca o rețea electrică formată din rezistențe și capacități. Modelul electric al pielii și al glandelor sudoripare poate fi realizat utilizând aceste elemente.

Ținând cont de proprietățile rezistive ale pielii și glandelor sudoripare, descrise mai sus, în figura 2.9 este prezentată o schemă echivalentă a sistemului electrodermal.

În figura 2.10 sunt prezentate componentele active ale sistemului electrodermal cu localizarea acestora. Sursa E_1 este localizată în zona secretorie a glandei sudoripare, E_2 corespunde cu potențialul din canalul epidermal de la nivelul stratului germinativ și E_3 este potențialul ce rezultă din interiorul stratului corneal. Potențialul sursei E_4 se datorează mecanismului de reabsorbție a sodiului iar E_5 datorită activității celulelor mioepiteliale [2], [23].

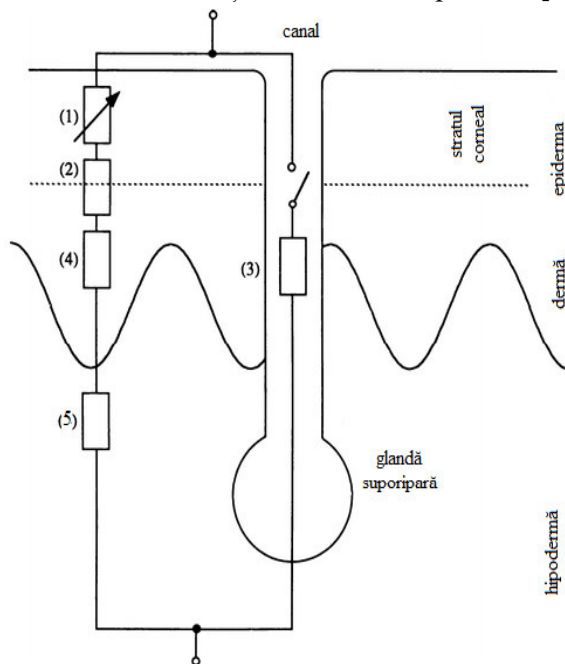


Fig. 2.9. Reprezentare schematică a căilor rezistive prin piele și glandele sudoripare [2]
 (1) – rezistență variabilă reprezentând stratul cornos; (2) – rezistența barieră dermă/epidermă;

(3) – rezistență șunt a canalului glandei sudoripare; (4) – rezistență epidermă; (5) – rezistență hipodermă

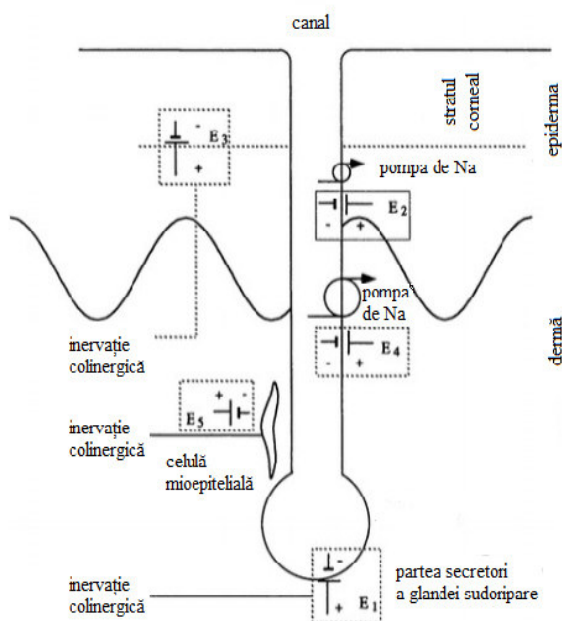


Fig. 2.10. Reprezentare schematică pentru localizarea proprietăților electrice active în piele și glande sudoripare [2]

2.8 METODE DE MĂSURARE A ACTIVITĂȚII ELECTRODERMALE

Măsurarea activităților electrodermale se poate realiza atât în curent continuu cât și în curent alternativ. Cele mai utilizate metode de măsurare în curent continuu se realizează prin intermediul unui divizor de tensiune sau a unui amplificator operațional [20].

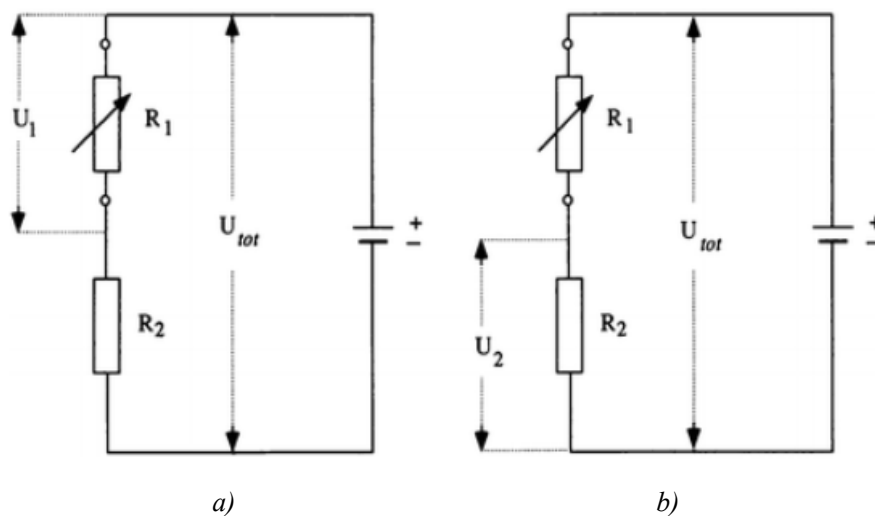


Fig. 2.14. Divizor de tensiune [2]

a) metoda curentului cvasi-constant; b) metoda tensiunii cvasii-constante

Pentru evitarea erorilor induse prin utilizarea metodei divizorului de tensiune Lowry (1977) propune pentru măsurarea activității electrodermale un circuit care se bazează pe un amplificator operațional, figura 2.15 [2].

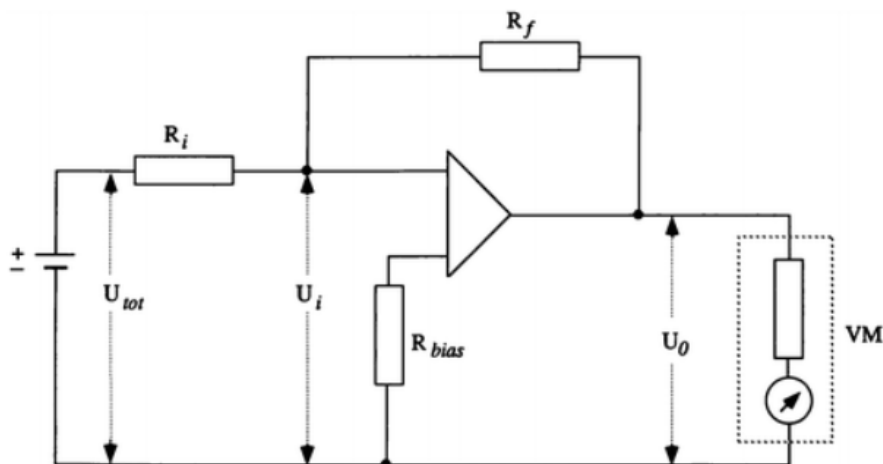


Fig. 2.15. Amplificator operațional pentru măsurarea activității electrodermale [2]

2.10 CONCLUZII

- Unitatea funcțională, structurală și morfologică a organismelor vii este celula. Membrana acestora prezintă proprietăți electrice pasive (rezistență, capacitate, impedanță, susceptanță) și active (potențialul de repaus, potențialul de acțiune, excitabilitatea și conductibilitatea excitatorie). Aceste proprietăți sunt rezultatul interacțiunilor între procesele biochimice la nivel celular și intracelular sub acțiunea substanțelor active (mediatori, stimuli, inhibitori).
- Biosemnalele utilizate în medicină pot fi împărțite în două categorii: neelectrice și de natură electrică. Din ultima categorie mai utilizate sunt: electroencefalograma, electrocardiograma, electrooculograma, electromiograma, magnetoencefalograma, magnetocardiograma, vectocardiograma. Achiziția acestor semnale se realizează neinvaziv, de la suprafața corpului sau direct de pe piele.
- Pielea este cel mai mare organ al corpului uman acoperindu-l în întregime. Proprietățile electrice (rezistență, conductanță) ale acesteia sunt datorate, în principal, activității anexelor cutanate: glandele sudoripare ecrine, sudoripare epocrine și sebacee.
- Variația rezistenței electrice a pielii, sub acțiune diferiților factori (interni și / sau externi), poartă denumirea de activitatea electrodermală. Măsurarea acestui parametru se poate face atât în curent continuu cât și în curent alternativ utilizând un divizor de tensiune sau un amplificator operațional.
- Electrocul medical realizează legătura electrică dintre țesuturile vii, în care curentul este dat de ioni și cationi, și echipamentele de achiziție în care curentul este reprezentat de electroni. În funcție de destinația lor și de biosemnalul care trebuie achiziționat au fost realizate diferite modele de electrozi cum ar fi: cu bandă adezivă, cu sucțiune, cu joncțiune lichidă, etc.

Capitolul 3

SISTEME DE MONITORIZARE A BIOSEMNALELOR

[1], [11],[21], [25]

3.1 GENERALITĂȚI PRIVIND SISTEMELE DE ACHIZIȚIE ȘI MONITORIZARE DE DATE

Prin *sistem de achiziție a datelor* se înțelege un sistem de măsurare care permite vizualizarea și/sau înregistrarea evoluției temporale a mai multor mărimi, analogice și/sau numerice, poate implementa mai multe regimuri de achiziție și permite diverse prelucrări numerice [1].

Un *sistem de achiziție de date* are drept scop obținerea informației dintr-un proces fizico-chimic, sub o formă utilizabilă. Orice proces din lumea materială se caracterizează printr-un număr de parametri fizici sau chimici a căror mărimi trebuie cunoscută. Aceste mărimi sunt informațiile pe care sistemul de achiziție de date trebuie să le furnizeze [1].

3.2 STRUCTURA BLOC A UNUI SISTEM DE ACHIZIȚIE DATE

În figura 3.2 este reprezentată structura standard a unui sistem de achiziții de date evidențiind funcțiile principale îndeplinite de blocurile constitutive ale sistemului [25].

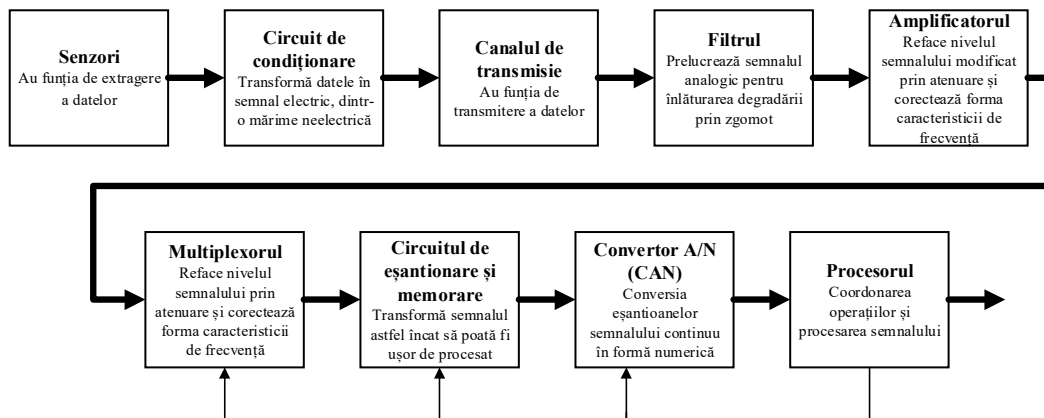


Fig. 3.2 Componentele unui sistem de achiziții de date [25]

3.4 TIPURI DE SISTEME ANALOGICE DE ACHIZIȚIE DE DATE

Sistemele de achiziție a datelor pot fi clasificate în funcție de modul în care sunt prelucrate canalele de intrări analogice în trei configurații [11]:

- sisteme de achiziție cu multiplexare temporală;
- sisteme de achiziție sincronă a datelor;
- sisteme rapide de achiziție a datelor.

3.6 CERCETĂRI PRIVIND MONITORIZAREA SEMNALELOR BIOELECTRICE DEZVOLTATE ÎN CADRUL USV

3.6.1 Sistem de evaluare a stărilor emoționale

Un sistem de evaluare a stărilor emoționale având la bază măsurarea conductanței electrice a pielii a fost conceput și realizat de colectivul de cercetare format din prof. univ. dr. ing. Laurențiu-Dan MILICI, drd. ing. Vlad-Mihai PLĂCINTĂ, psiholog dr. Liliana BUJOR și conf. univ. dr. ing. Mariana-Rodica MILICI din cadrul Universității ”Ștefan cel Mare” din Suceava [21].

Instrumentul virtual realizat în LabVIEW primește datele, le afișează pe grafice individuale și salvează valorile într-un fișier Excel. În figura 3.36 este prezentat panoul frontal și fereastra diagramă a instrumentului virtual realizat.

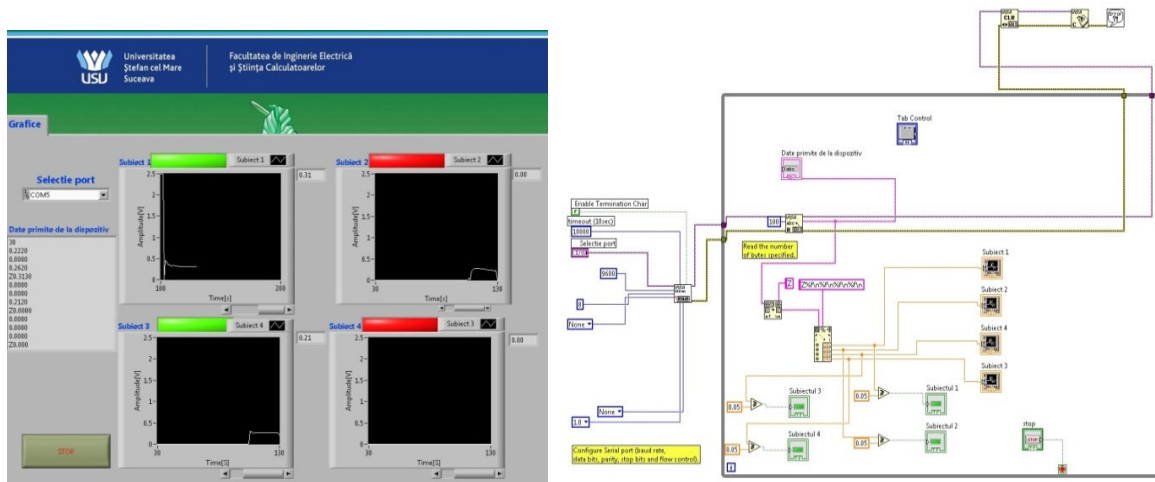


Fig. 3.36 Prezentarea instrumentului virtual realizat (panoul frontal și fereastra diagramă) [21]

3.7 CONCLUZII

- Monitorizarea biosemnalelor se realizează prin intermediul sistemelor de achiziție a datelor care permit înregistrarea, prelucrarea și vizualizarea acestora.
- Componentele principale ale unui sistem de achiziție date sunt: senzorii, circuitul de condiționare, canalul de transmisie, amplificatorul, multiplexorul, circuitul de eșantionare-memorare, convertorul analog-numeric și procesorul. O parte din funcțiile acestor componente sunt preluate de plăcile de achiziție care pot fi de uz general sau special concepute pentru anumite aplicații.
- În funcție de viteza de variația mărimilor de interes s-au dezvoltat următoarele sisteme de achiziție: cu multiplexare temporală, sisteme de achiziție sincronă a datelor și sisteme rapide de achiziție.
- Noile tehnologii informatice, progresele înregistrate în domeniul nanotehnologiilor, al tehnologiilor MEMS și al electronicii, au permis extinderea tipurilor de echipamente portabile dedicate monitorizării biosemnalelor și realizarea unor sisteme ieftine, utilizate în clinici dar și în activitatea zilnică a persoanelor.

Capitolul 4

STUDIUL UNUI SISTEM DE MONITORIZARE A STĂRILOR EMOȚIONALE

[6], [28],

4.1 NOȚIUNI GENERALE

Reacția de stres reprezintă ansamblul modificărilor morfo-funcționale, în special endocrine, din organismul uman, care apar ca răspuns la acțiunea externă a unor factori cauzali, chimici numiți stresori. Există mai multe forme de manifestare ale stresului:

- stresul acut (dureri de cap, de stomac, emoții intense, agitație) nu are urmări importante, se rezolvă într-o perioadă scurtă de timp;
- stresul acut episodic (personalitate competitivă, viață agitată);
- stresul cronic (apare în condiții de sărăcie marcantă, în cadrul unor familii disfuncționale, situații sociale conflictuale caracterizate de ostilitate și violență);
- stres acut traumatic, posttraumatic (persoana este expusă unui stresor de intensitate extremă) [6], [28].

4.2 STUDIUL UNUI MICROSISTEM DE MONITORIZARE

În cadrul experimentelor s-au utilizat două sisteme de monitorizare și achiziție a semnalului electrodermal unul având la bază o placă de achiziție de uz general, iar celălalt, considerat referință, o platformă pentru preluare de biosemnale.

În figura 4.6 este prezentată schema bloc ce include ambele sisteme de achiziție.

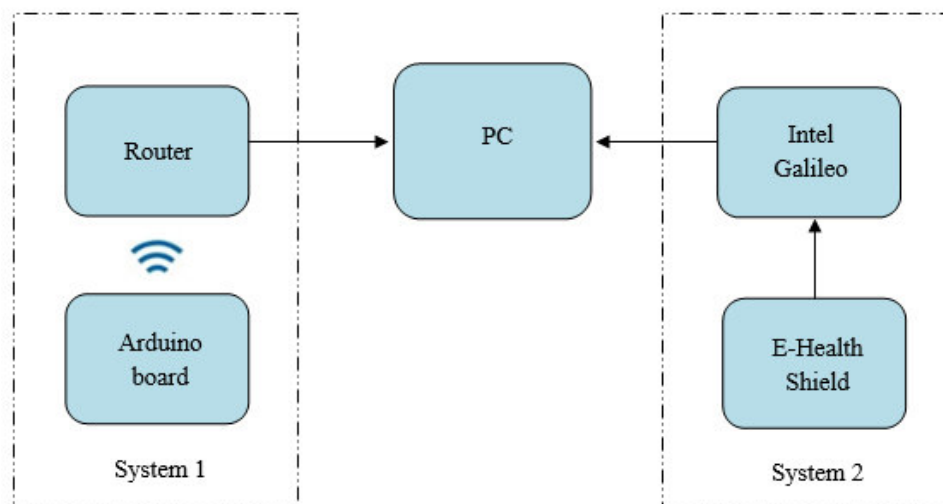


Fig. 4.6 Schemă bloc

Pentru a verifica performanțele sistemului proiectat și realizat a fost conceput un experiment în care s-au comparat datele achiziționate cu sistemul realizat în laborator și cele preluate cu sistemul special conceput pentru achiziționarea semnalelor biologice.

Pentru realizarea experimentului la studiu au participat mai mulți subiecți la care s-a măsurat conductivitatea electrică a pielii.

Considerând valorile achiziționate de primul dispozitiv ca fiind de referință se calculează eroarea de măsurare a dispozitivului 2. În tabelul 4.1 sunt centralizate datele obținute de la cinci subiecți, în care sunt prezentate media valorilor de la ambele dispozitive și eroarea de măsurare pentru dispozitivul 2.

Tabel 4.1 Datele obținute în cadrul măsurărilor pentru cinci subiecți

Subject tested	System	Time (s)															
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
S1	System 1 (MΩ)	0,99	0,92	0,92	0,90	0,85	0,85	0,85	0,89	0,90	0,86	0,85	0,85	0,83	0,82	0,80	0,81
	System 2 (MΩ)	1,01	0,96	0,95	0,93	0,87	0,84	0,85	0,90	0,92	0,90	0,88	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79
	Average deviation (%)	2,02	4,35	3,26	3,33	2,35	-1,18	0,00	1,12	2,22	4,65	3,53	4,71	4,82	2,44	2,50	-2,47
S2	System 1 (MΩ)	1,21	1,21	1,23	1,25	1,05	1,04	1,04	1,04	1,01	0,98	0,97	0,95	0,95	0,93	0,90	0,92
	System 2 (MΩ)	1,25	1,24	1,24	1,29	1,04	1,04	1,03	1,02	1,03	1,01	1,01	0,97	0,96	0,96	0,93	0,93
	Average deviation (%)	3,31	2,48	0,81	3,20	-0,95	0,00	-0,96	-1,92	1,98	3,06	4,12	2,11	1,05	3,23	3,33	1,09
S3	System 1 (MΩ)	1,33	1,35	1,36	1,35	1,30	1,30	1,28	1,25	1,28	1,25	1,21	1,20	1,18	1,19	1,15	1,15
	System 2 (MΩ)	1,37	1,37	1,37	1,36	1,35	1,34	1,32	1,29	1,29	1,27	1,26	1,23	1,17	1,20	1,16	1,14
	Average deviation (%)	3,01	1,48	0,74	0,74	3,85	3,08	3,13	3,20	0,78	1,60	4,13	2,50	-0,85	0,84	0,87	-0,87
S4	System 1 (MΩ)	1,17	1,18	1,18	1,17	1,15	1,05	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,01	1,09	1,10	0,95	0,91
	System 2 (MΩ)	1,22	1,22	1,22	1,20	1,20	1,09	1,10	1,09	1,07	1,05	1,04	1,05	1,08	1,07	0,99	0,95
	Average deviation (%)	4,27	3,39	3,39	2,56	4,35	3,81	4,76	4,81	4,90	3,96	4,00	3,96	-0,92	-2,73	4,21	4,40
S5	System 1 (MΩ)	0,97	0,97	1,00	1,01	0,99	0,98	0,99	0,96	0,96	0,94	0,95	0,94	0,90	0,89	0,88	0,91
	System 2 (MΩ)	1,00	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,93	0,89	0,90	0,90	0,93
	Average deviation (%)	3,09	4,12	1,00	-0,99	1,01	2,04	0,00	2,08	1,04	1,06	-2,11	-1,06	-1,11	1,12	2,27	2,20

Prin compararea rezultatele obținute de placa de achiziție de uz general utilizată în realizarea sistemului de monitorizare a stărilor emoționale și de cele achiziționate cu o placă special concepută în măsurarea mărimilor biologice s-a constatat că eroarea nu este mai mare de $\pm 4,9\%$, ceea ce duce la concluzia că sistemul proiectat și realizat este potrivit pentru utilizarea în acest scop.

4.3 CONCLUZII

- Stresul este o experiență individuală iar soluțiile pentru diminuarea acestuia trebuie adaptate pentru fiecare subiect în parte, motiv pentru care este importantă dezvoltarea unor dispozitive de monitorizare a nivelului de stres care să ajute la identificarea factorilor stresori și a apariției stării de stres.
- Dispozitivele cele mai utilizate pentru monitorizarea nivelului de stres se bazează pe măsurarea conductivității electrice a pielii.
- S-a realizat un dispozitiv pentru achiziționarea răspunsului electrodermal pentru care s-au folosit plăci de achiziție de uz general. Pe baza rezultatelor obținute în urma testelor, prin care valorile înregistrate au fost comparate cu cele obținute cu o placă de achiziție specializată, de uz medical, cu convertor analog / digital similar, s-a constatat că eroarea de măsurarea a dispozitivului dezvoltat nu depășesc valoarea de $\pm 4,9\%$.

Capitolul 5

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR DISPOZITIVE PENTRU MONITORIZAREA NIVELULUI DE STRES

[12], [13], [23], [24], [27], [29]

5.2 MICROSISTEM DE MONITORIZARE A NIVELULUI DE STRES

În cadrul centrului de cercetare EMAD din USV s-a dezvoltat un microsistem pentru monitorizarea nivelului de stres al personalului unei companii, elevilor sau studenților care își desfășoară activitatea utilizând un computer, atunci când aceștia desfășoară activități intelectuale. În acest sens s-a stabilit că parametrul care trebuie achiziționat și monitorizat este conductanța electrică a pielii care poate da o măsură a nivelului de stres [12], [13].

Dispozitivul a fost realizat în două variante constructive. În prima variantă dispozitivul a fost integrat într-un mouse orizontal iar în cea de a doua într-unul vertical, cu o formă ce implică o poziție normală biologică a mâinii.

În acest sens pentru achiziționarea semnalului electrodermal, în prima variantă constructivă, pe cele două fețe laterale ale mouse-ului s-a montat câte un electrod. Electrozii sunt realizați din bandă de cupru. Valoarea conductivității electrice va fi măsurată între degetul mare și degetul inelar, zone în care concentrația de glande sudoripare activate de factorul psihologic este mare [27], [29].

În a doua variantă constructivă (figura 5.2) s-au folosit electrozi din oțel inoxidabil, unul fiind montat pe fața laterală a mouse-ului iar cel de-al doilea pe fața verticală. Valoarea conductivității electrice va fi măsurată între degetul mare și podul palmei. În plus, față de prima variantă prezentată, pe fața posterioară a mouse-ului s-a montat un puls-oximetru care are funcția de a măsura saturația oxigenului în sânge și ritmul cardiac.

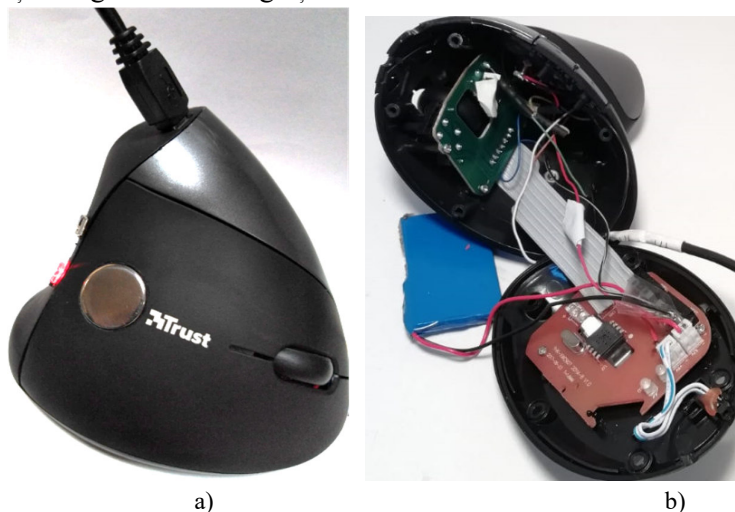


Fig. 5.2 Microsistem pentru monitorizarea nivelului de stres: a) prototip; b) detaliu constructiv

Măsurarea acestor rezistențe, electrodermală și a senzorului de apăsare, se realizează prin intermediul unui divizor de tensiune utilizând metoda curentului cvasi-constant în curent continuu.

Pe această placă de achiziție rulează un program realizat în Arduino Software prin intermediul căruia are loc o prelucrare a semnalelor achiziționate.

5.3 TESTAREA DISPOZITIVULUI

În prima etapă a fost testat senzorul de apăsare pentru a stabili dependența dintre valoarea rezistenței pielii și nivelul forței de apăsare. În lipsa forței de apăsare pe suprafața senzorului, rezistența electrică măsurată a acestuia este mai mare de $10\text{ M}\Omega$, iar pe măsură ce este aplicată presiune, rezistența scade.

Pentru simularea contactului electrod - piele s-a utilizat un electrod din cupru, având aceeași suprafață cu electrozii utilizați la construcția dispozitivelor, care a fost montat pe senzorul de apăsare. Asupra acestui bloc, format din electrod și senzorul de apăsare, care este așezat pe o suprafață plană și dură, s-a aplicat o forță de apăsare crescândă cu ajutorul degetului inelar. Suprafața electroconductoare cu rezistență zero a pielii a fost realizată prin folosirea unei mănuși din material siliconic peste care s-a pulverizat zinc. În serie cu rezistența de contact realizată s-a montat o rezistență de $10\text{ k}\Omega$ și un ohmmetru de pe care se citește variația rezistenței. În paralel, de pe alt ohmetru este citită rezistența senzorului de apăsare. Schema de montaj testare este prezentată în figura 5.5.

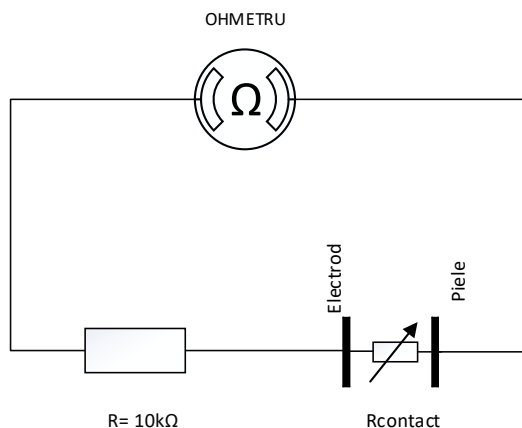


Fig. 5.5 Schema electrică pentru testare senzor de apăsare

Analizând graficul din figura 5.7, în care este reprezentată variația rezistenței de contact în funcție de forța de apăsare, se constată că un contact ferm între electrod și piele este atunci când valoarea indicată de senzorul de apăsare este mai mică de $20\text{ k}\Omega$. Peste această valoare datele achiziționate nu sunt concludente și nu vor fi luate în considerare.

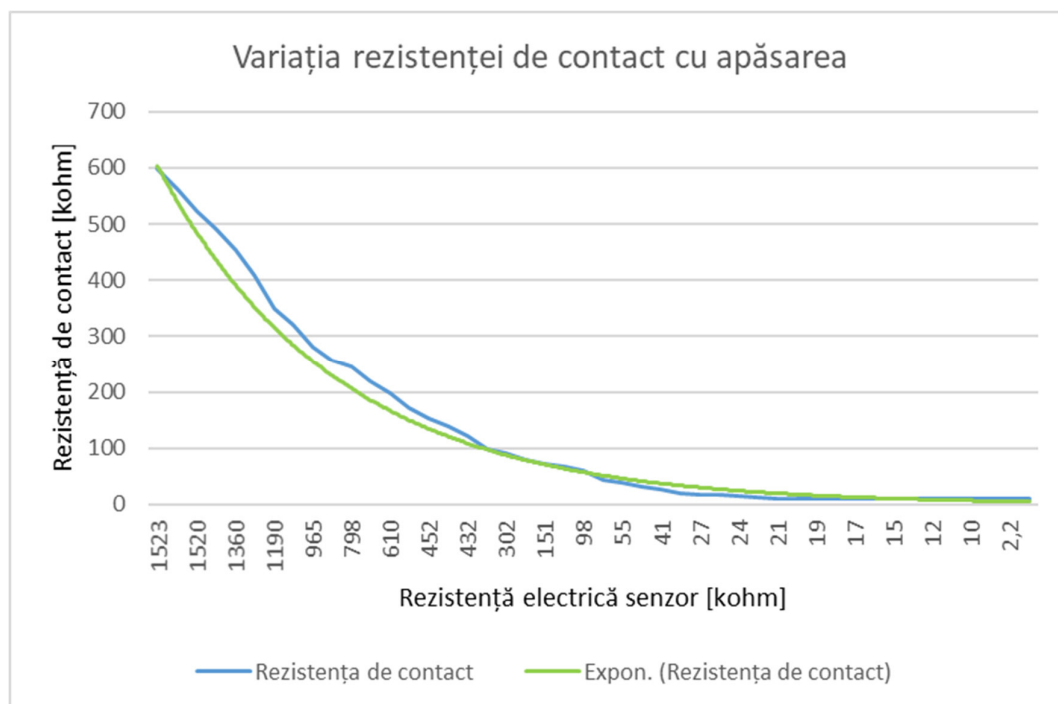


Fig. 5.7 Variația rezistenței de contact cu forța de apăsare

Testarea și funcționalitatea dispozitivului pentru monitorizarea stărilor emoționale a fost făcută pe un număr de 20 subiecți, pentru ambele variante constructive. Deoarece răspunsul la stimuli afectivi este dependent de nivelul inteligenței emoționale, de starea de spirit, gradul de oboseală, capacitatea de concentrare, a fiecărui individ pe perioada testului, s-au făcut comparații între semnalele preluate pentru calibrarea semnalelor afișate. În Tabelul 5.1 sunt prezentate rezultatele obținute în urma vizualizării de către un subiect a unei secvențe de imagini care să inducă diverse stări emoționale.

Tabel 5.1 Datele achiziționate cu microsistemul realizat

Ora	Rezistența electrodermală [kΩ]	Rezistența senzorului de apăsare [kΩ]
09:23:20	756,05	3,01
09:23:25	894,68	3,08
09:23:59	222,82	8,19
09:24:04	285,88	9,07
09:24:10	292,22	5,63
09:24:15	231,35	4,86
09:24:21	262,19	4,76
09:24:26	320,77	6,44
09:24:32	394,03	5,35
09:24:37	431,46	4,80
09:24:43	478,61	4,88
09:24:48	508,97	5,13
09:41:45	376,82	6,98
09:41:51	568,46	4,78

09:41:56	670,38	5,15
09:42:02	780,99	5,33
09:42:07	888,35	5,01
09:42:13	972,58	7,27
09:42:18	968,25	7,78
09:43:30	380,51	15,79
09:43:58	964,20	7,56
09:44:04	913,61	3,4
09:44:09	977,33	3,46
09:44:15	1039,51	4,22
09:44:20	1070,48	4,44
09:44:26	1090,01	5,17

5.4 IMPLEMENTAREA UNOR APLICAȚII PENTRU MONITORIZAREA STĂRILOR EMOȚIONALE

Deoarece volumul de date livrat de dispozitivul de monitorizare a stărilor emoționale prezentat este semnificativ, utilizarea eficientă a acestora se poate face doar prin intermediul unor aplicații software. În acest sens, au fost dezvoltate două aplicații pentru monitorizarea stărilor emoționale.

Prima variantă realizată urmărește dezvoltarea unui instrument de monitorizare a variației răspunsului electrodermal, datorată modificărilor stărilor emoționale, pe o perioadă mai mare de timp. Informațiile achiziționate de sistemul de monitorizare: data și ora curentă, rezistența electrodermală, rezistența electrică a senzorului de apăsare sunt transmise pe calculatorul utilizatorului și salvate într-un fișier .xls [23], [24].

De pe panoul aplicației se poate accesa fișierul cu datele achiziționate unde se va afișa matricea valorilor ce conține pe prima coloană timpul, în secunde, iar în a doua și a treia coloană rezistența electrodermală, respectiv rezistența electrică aferentă senzorului de apăsare (figura 5.9).

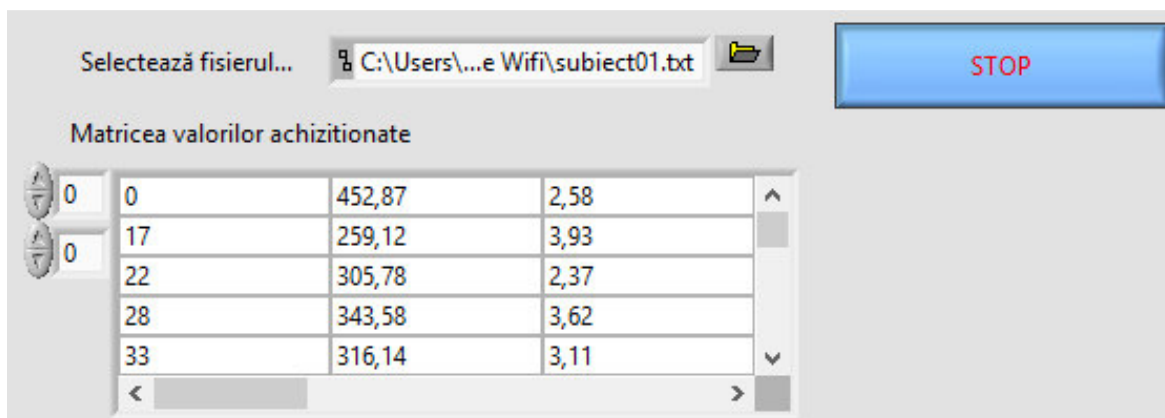


Fig. 5.9 Modul numeric de afișare a datelor prelevate

Pentru a vizualiza variația răspunsului electrodermal, pe panoul aplicației sunt reprezentate grafic, funcție de timp, valorile rezistențelor electrice a pielii achiziționate de

sistemul de monitorizare. În același mod se reprezintă grafic și rezistențele aferente senzorului de apăsare. În cadrul experimentului realizat reprezentarea grafică a datelor prezintă avantajul că acestea pot fi ușor urmărite și corelate cu stimulul.

În vederea analizării comportării în timp a unui utilizator, din punct de vedere a variației nivelului de stres, aplicația LabVIEW realizată va furniza specialistului și principalii indicatori statistici utilizați în analiza datelor biologice și medicale. Astfel pe panoul frontal vor fi afișați următorii indicatori: valoarea maximă, valoarea minimă, amplitudinea absolută, amplitudinea relativă, media aritmetică, media pătratică, media geometrică, dispersia, abaterea standard, eroarea standard a mediei și coeficientul de variabilitate.

A doua aplicație a fost realizată cu scopul de a avertiza utilizatorul atunci când este atins un anumit nivel emoțional.

Aplicația preia datele de la dispozitivul de monitorizare și le prelucrează în timp real. Pentru fiecare utilizator trebuie stabilită valoarea electrodermală de bază, diferită de la un individ la altul, care este comparată cu valoarea rezistenței electrodermale achiziționate la un moment dat.

Aplicația rulează pe calculatorul utilizatorului iar atunci când este atins nivelul stabilit al stresului pe panoul frontal al aplicației se va aprinde o lampă de culoare roșie (figura 5.15). Totodată poate fi vizualizat graficul variației răspunsului electrodermal, pulsul și saturația de oxigen în sânge.

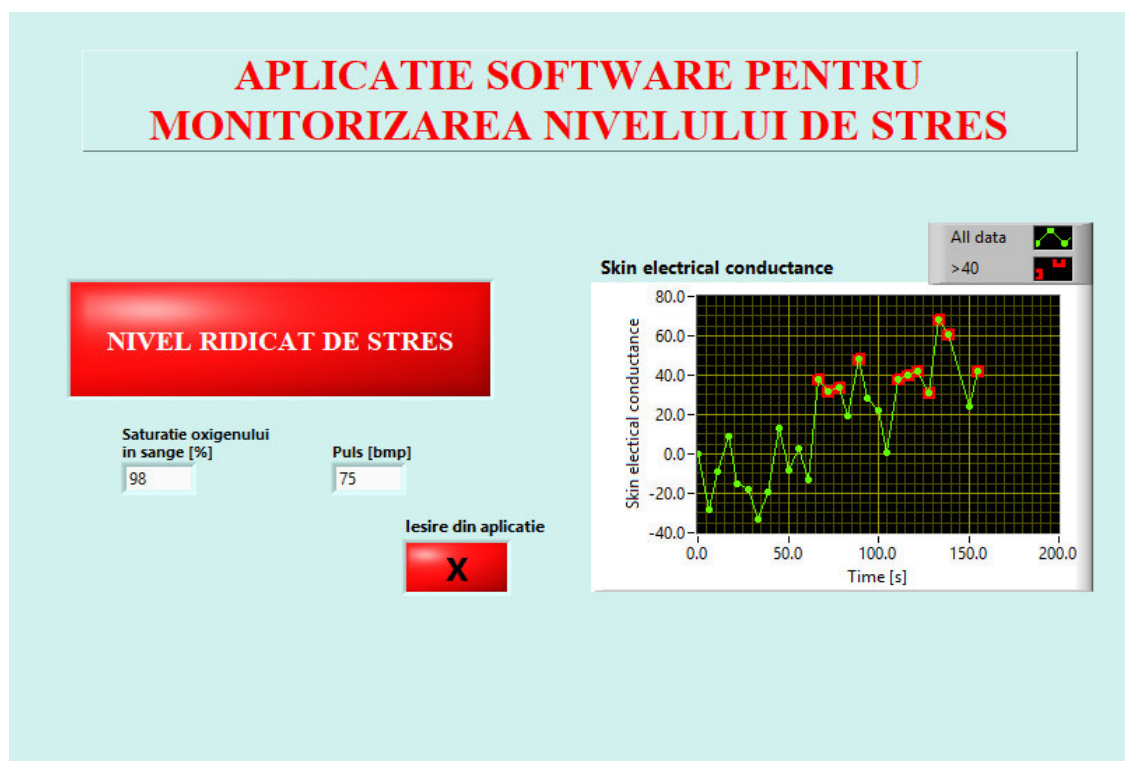


Fig. 5.15 Panoul frontal al aplicației

5.5 CONCLUZII

- S-a realizat un dispozitiv pentru monitorizarea nivelului de stres, care este destinat persoanelor care utilizează calculatorul, acesta fiind integrat în mouse iar punctele de măsură sunt astfel alese încât să coincidă pe de o parte cu zonele corporale cele mai sensibile la variațiile electrodermale, iar pe de altă parte cu locațiile în care contactul cu echipamentul este permanent.
- S-a realizat o aplicație LabVIEW care are scopul de a veni în ajutorul echipei de management (personalul HR, profesori, psiholog, etc.) interesată de monitorizarea stărilor emoționale ale personalului. Prin intermediul acestei aplicații, datele colectate sunt salvate pe calculatorul utilizatorului și pot fi accesate și analizate ulterior. Pe panoul frontal al aplicației se pot vizualiza grafic evoluția rezistenței electrice a pielii, a rezistenței electrice aferente senzorului de apăsare, abaterile individuale absolute și abaterile individuale relative. Pe lângă aceste grafice sunt calculați și următorii indicatori statistici: valoarea maximă, valoarea minimă, media aritmetică, media pătratică, mediana, amplitudinea absolută, amplitudine relativă, abaterea medie, abaterea standard, coeficientul de variabilitate.
- Un aspect important este acela că, prin folosirea sistemului propus, subiecții se află într-o situație experimentală despre care nu știu și ca atare se vor comporta natural iar rezultatele înregistrate vor prezenta un grad ridicat de obiectivitate. În cazul aplicării unui dispozitiv despre a cărui existență se știe, subiecții vor simula un anumit comportament, se vor concentra asupra experimentului sau vor încerca să-și controleze anumite emoții, stări sau situații asemănătoare. Același lucru este valabil și în cazul aplicării unui chestionar prin care se intenționează măsurarea nivelului de stres sau al nivelului emoțional.
- Acest dispozitiv prin care se monitorizează nivelul stresului este foarte util instituțiilor de învățământ, companiilor și nu numai, deoarece permite identificarea unor indici direct responsabili de apariția stresului în rândul subiecților investigați (elevi, studenți, angajați, etc.) și totodată prin această identificare rapidă și eficientă, se pot lua măsuri adecvate care să fie în avantajul subiectului sau a persoanelor cu care interacționează.
- Prin monitorizarea rezistenței electrodermale o perioadă mai mare de timp și din analiza datelor livrate de aplicația prezentată poate fi stabilită capacitatea de rezistență la stres a unui individ.
- Pe baza datelor achiziționate cu sistemul de monitorizare, a fost realizată o a doua aplicație prin care utilizatorul este avertizat atunci când este atinsă o anumită limită prestabilită a nivelului de stres. Informarea utilizatorului se face prin deschiderea pe spațiul de lucru a panoului frontal al aplicației pe care este afișat mesajul de avertizare, saturația oxigenului în sânge și pulsul cardiac.

Capitolul 6

ANALIZA ȘI INTERPRETAREA DATELOR ACHIZIȚIONATE CU SISTEMUL DE MONITORIZARE A NIVELULUI DE STRES

[1], [6], [33]

6.1 NOȚIUNI GENERALE

Obiectivul principal al acestei lucrări este livrarea unui instrument care să vină în ajutorul specialiștilor din domeniul psihologiei, neurologiei sau resurselor umane, pentru care identificarea elementelor generatoare de stres și monitorizarea acestuia se află printre activitățile de interes.

Pentru realizarea obiectivului propus în această lucrare este necesară validarea datelor obținute cu sistemul de monitorizare a stărilor emoționale. În acest sens s-a propus realizarea unui experiment în care datele culese de la mai mulți subiecți cu ajutorul dispozitivului să fie comparate cu cele achiziționate printr-o metodă psihologică prin care poate fi stabilit nivelul de stres. Suportul tehnic pentru evaluarea subiecților din punct de vedere psihologic a nivelului de stres sau a intensității emoției a fost asigurat în cadrul unei colaborări cu Departamentul de Specialitate cu Profil Psihopedagogic, din cadrul Universității "Ștefan cel Mare" din Suceava.

6.2 DESCRIEREA EXPERIMENTULUI

Dispozitivul de monitorizare a fost dezvoltat pentru monitorizare nivelului de stres pe perioada utilizării unui computer. Pentru realizarea experimentului propus s-a stabilit că cel mai oportun este ca acesta să se desfășoare la orele de aplicații practice de laborator, în cadrul Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, în care studenții utilizează calculatorul în rezolvarea temelor primite. Astfel, în cadrul disciplinei *Grafică asistată de calculator*, un grup de 20 studenți, ce urmau să susțină prima testare semestrială la care proba practică constă în proiectarea tridimensională a unei piese în aplicația AutoCAD, au fost supuși unei evaluări din punct de vedere emoțional. Aceasta s-a realizat utilizând o metodă psihologică în paralel fiind monitorizată variația răspunsului electrodermal cu ajutorul dispozitivului proiectat și realizat. Metoda psihologică recomandată de specialiștii din cadrul Departamentului de Specialitate cu Profil Psihopedagogic, din cadrul Universității "Ștefan cel Mare" din Suceava, pentru a fi aplicată în această situație, a fost cea a chestionarului. Aceștia ne-au pus la dispoziție două baterii de teste și anume EMAS-S, test de evaluare multidimensională a anxietății și PDE, test de evaluare al profilului distresului emoțional.

Durata de susținere a examenului a fost limitată la 20 de minute cu scopul de a majora efectul elementului stresor – criza de timp. Înainte de primirea subiectului de examen, studenților li s-a cerut să completeze cele două teste, EMAS-S și PDE, acestea fiind necesare la evaluarea nivelului de stres de la începutul examenului. Ulterior a fost dat startul rezolvării subiectelor, pe parcursul căruia studenții au utilizat dispozitivul pentru monitorizarea stărilor emoționale, ce a

înlocuit mouse-ul din dotarea calculatoarelor din laborator. Datele achiziționate de dispozitiv au fost salvate în calculator fiind ulterior centralizate de la toți studenții care au participat la experiment. În figura 6.3 poate fi vizualizat un moment surprins în laborator pe parcursul realizării acestui experiment.

La expirarea timpului de lucru alocat pentru rezolvarea subiectului de examen studenților li s-a cerut, din nou, să completeze cele două chestionare, care sunt necesare pentru evaluarea nivelului de stres la finalul examenului. În acest fel s-au obținut informațiile necesare pentru realizarea unei analize comparative cu privire la variația nivelului de stres dintre începutul și finalul examenului folosind o metodă psihologică.

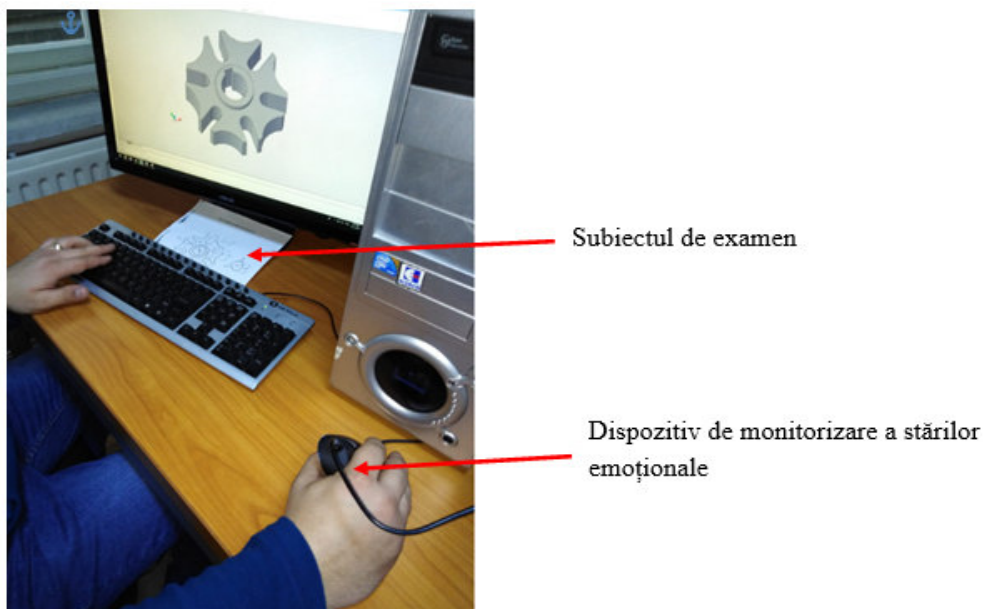


Fig. 6.3 Imagine surprinsă în timpul experimentului

6.3 ANALIZĂ COMPARATIVĂ ȘI INTERPRETAREA DATELOR ACHIZIȚIONATE

Analiza datelor obținute prin metodele descrise mai sus s-a realizat prin împărțirea perioadei de timp în care studenții au susținut testarea în trei intervale, așa cum este prezentat în figura 6.4.

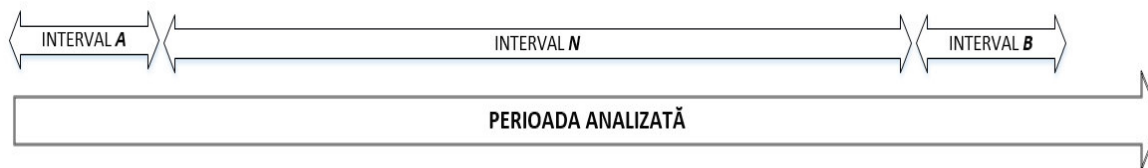


Fig. 6.4 Defalcare pe intervale a perioadei analizate

Intervalul A se suprapune cu perioada dinaintea examenului atunci când studenții primesc sarcina să completeze primul set de chestionare și primesc subiectele pentru test. Prin aceasta s-a dorit surprinderea nivelului emoțional, de stres, de la începutul testării și urmărirea evoluției acestuia pe toată perioada de desfășurare a acesteia.

După această etapă studenții au început rezolvarea testelor primite utilizând drept mouse dispozitivul de monitorizare a stărilor emoționale. Această perioadă coincide cu *intervalul N* din

figura 6.4. Pentru a elimina orice fel de element perturbator, studenții nu au fost informați despre faptul ca vor fi monitorizați din punct de vedere emoțional pe perioada desfășurării testului. În această etapă sistemul de monitorizare a stărilor emoționale achiziționează valoarea rezistenței electrodermale și o salvează în calculator.

Intervalul B reprezintă ultima parte a examenului în care studenții primesc și completează al doilea set de chestionare, identice cu cele completate la începutul examenului. Prin aceasta s-a urmărit identificarea variației nivelului emoțional de-a lungul perioadei susținerii testului, folosind o metodă psihologică.

În baza datele achiziționate cu dispozitivul de monitorizare a stărilor emoționale, în *intervalul N*, s-au calculat, pentru fiecare subiect, principalii indicatori statistici necesari analizei propuse. Aceștia sunt prezentați pentru fiecare subiect în tabelul 6.1. Pentru a avea o bază comună de raportare a fost necesară normalizarea semnalul electrodermal achiziționat. Aceasta s-a realizat prin scăderea din valorile rezistențelor electrodermale, prima valoare achiziționată de sistemul de monitorizare, pentru fiecare subiect în parte:

$$R_N(t) = R(t) - R_0 \quad (6.1)$$

unde R_0 este prima valoare achiziționată.

Tabel 6.1 Indicatori statistici pe baza valorilor normalizate în cazul primilor 12 subiecți

Nr. Crt.	Indicator statistic	Subiect 1	Subiect 2	Subiect 3	Subiect 4	Subiect 5	Subiect 6	Subiect 7	Subiect 8	Subiect 9	Subiect 10	Subiect 11	Subiect 12
1	Valoare maxima [kΩ]	162,00	125,27	206,08	27,72	122,11	114,17	310,15	90,29	229,32	28,40	137,92	31,27
2	Valoare minima [kΩ]	-59,59	-46,82	-35,97	-42,12	-39,54	-41,98	-9,42	-32,65	-34,67	-67,71	-12,98	-37,13
3	Media aritmetica [kΩ]	11,78	7,22	28,13	-8,58	11,86	15,16	139,30	21,26	92,26	-37,20	62,91	-10,05
4	Madia patratica [kΩ]	35,95	39,16	59,15	14,76	34,79	32,62	164,54	49,26	113,78	45,25	73,25	15,64
5	Amplitudine absoluta [kΩ]	221,59	172,09	242,05	69,83	161,65	156,15	319,57	122,94	263,99	96,11	150,90	68,41
6	Amplitudine relativa [kΩ]	1.880,38	2.384,54	860,60	-813,45	1.362,85	1.029,79	229,40	578,15	286,14	-258,37	239,87	-680,38
7	Dispersia [kΩ ^2]	1.153,52	1.481,15	2.707,92	144,05	1.069,39	1.371,79	7.668,50	1.973,90	4.433,03	663,71	1.407,17	143,62
8	Abatere standard [kΩ]	33,96	38,49	52,04	12,00	32,70	37,04	87,57	44,43	66,58	25,76	37,51	11,98
9	Coeficient de variabilitate %	97,89	205,23	96,28	-16,78	90,16	90,47	55,05	92,83	48,05	-17,84	22,37	-14,28
10	Eroare standard a mediei	47,25	60,67	124,12	6,64	43,80	68,94	314,11	80,85	181,58	27,19	57,64	5,88

Analizând aceste grafice (*Anexa 2*) și având în vedere etapele de desfășurare a examenului, putem observa că valorile rezistențelor electrodermale achiziționate în primele minute sunt, în general, mai mici față de cele achiziționate imediat după. Această etapă corespunde cu momentul dinaintea primirii de către studenți a subiectelor de examen, și cum era de așteptat, aceștia experimentează o stare de agitație. Înregistrarea unei tendințe de creștere a valorilor rezistenței electrodermale se poate explica prin faptul că după primirea subiectelor, în momentul citirii lor, starea de agitație dinainte se diminuează și astfel nivelul de stres înregistrează o scădere. După această etapă, evoluția valorilor rezistențelor electrodermale nu mai urmărește un anumit tipar, aceasta fiind diferită de la un subiect la altul. În acest caz nivelul de stres resimțit este dictat de modul în care este percepută importanța acestui examen pentru fiecare subiect în parte. De exemplu, un student, pentru care nota de la acest examen reprezintă factorul decizional pentru acordarea bursei de studiu, va înregistra un nivel mai crescut al stresului atunci când întâmpina, la un moment dat, dificultăți în rezolvarea subiectelor de examen.

Pentru o vizualizare mai facilă a variației indicatorilor, aceștia sunt reprezentați grafic în figura 6.6.

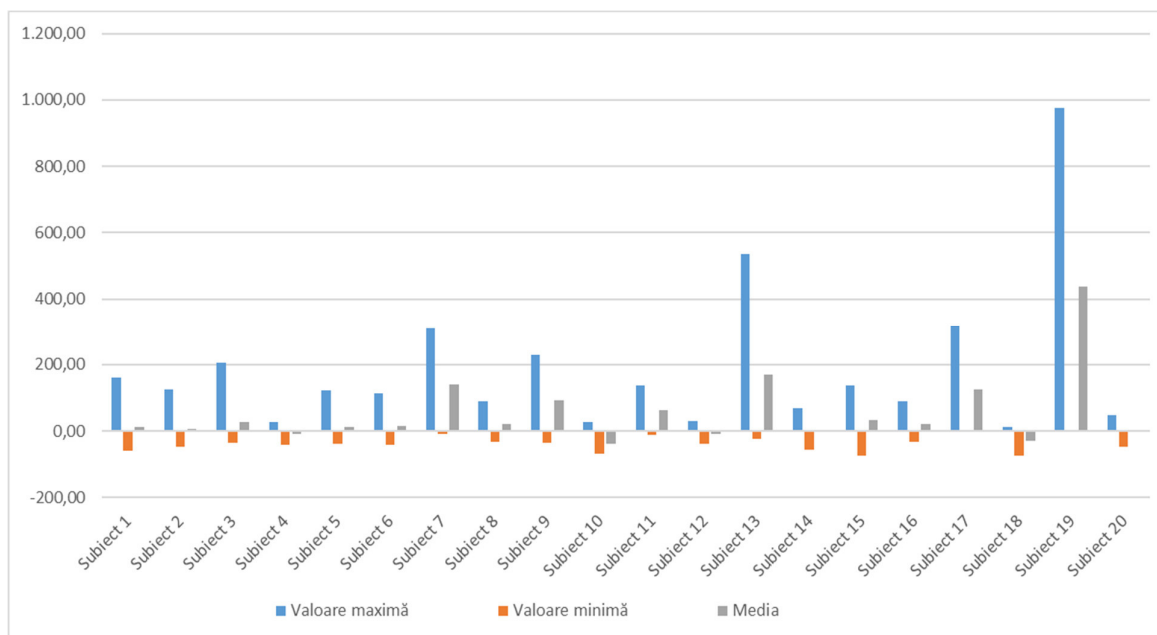


Fig. 6.6 Reprezentare grafică a unor valori statistice legate de valorile înregistrate

Având în vedere aceste observații putem concluziona că o analiză comparativă între valorile obținute cu sistemul de monitorizare și cele obținute prin metoda chestionarului pe întreg intervalul de susținere a testului nu poate fi relevantă. De aceea s-a stabilit că o analiză comparativă a rezultatelor obținute prin intermediul celor doua metode poate fi concludentă dacă este realizată pe capetele perioadei analizate și anume *intervalele A, B*, prima și ultima parte a *intervalului N*.

S-a considerat că rezultatele obținute cu dispozitivul de monitorizare a stărilor emoționale în primele, respectiv ultimele 5 minute din *intervalul N* pot fi comparate cu rezultatele obținute prin metoda chestionarului ce a fost aplicat în *intervalul A* și respectiv *B* deoarece ambele metode surprind starea emoțională dintr-un anumit moment. Aceste momente coincid cu prima, respectiv ultima parte a testării.

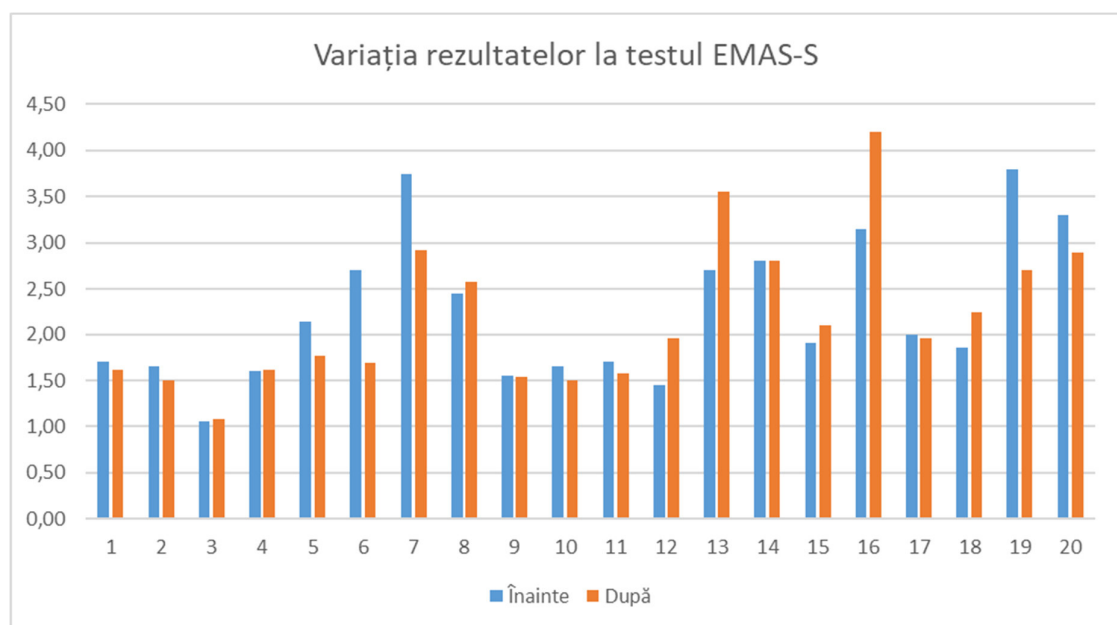
În tabelul 6.2 sunt prezentate rezultatele celor doua chestionare, pentru fiecare subiect, la începutul și finalul testării. De asemenea a fost calculată media primelor și ultimelor 5 minute a valorilor rezistențelor electrodermale normate pentru a scoate în evidență tendința conductivității electrice a pielii, respectiv a nivelului de stres.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu ajutorul celor două chestionare aplicate, la începutul și la finalul examenului, arată că în cazul tuturor subiecților se păstrează aceeași tendință. Dacă valorile obținute cu primul chestionar cresc la finalul examenului același lucru se întâmplă și cu valorile din cel de-al doilea chestionar. Acest lucru poate fi vizualizat pe reprezentările grafice de la figurile 6.7 și 6.8. Rezultatele chestionarelor sunt prezentate detaliat în *Anexa 1*.

Tabel 6.2 Analiză comparativă între testele psihologice și valorile înregistrate

Subiect	Înainte		După		Tendința		Media rezistenței		Tendința conductivității electrice
	EMAS-S	PDE	EMAS-S	PDE	EMAS-S	PDE	Primele 5 minute	Ultimele 5 minute	
1	1,70	1,62	1,50	1,19	↘	↘	28,73	6,02	↗
2	1,65	1,50	1,40	1,27	↘	↘	-12,41	3,39	↘
3	1,05	1,08	1,00	1,00	↘	↘	-9,61	79,89	↘
4	1,60	1,62	1,30	1,19	↘	↘	-6,84	-0,10	↘
5	2,15	1,77	1,80	1,54	↘	↘	1,88	12,25	↘
6	2,70	1,69	1,85	1,42	↘	↘	9,25	13,34	↘
7	3,75	2,92	3,05	2,27	↘	↘	15,09	88,50	↘
8	2,45	2,58	1,95	2,08	↘	↘	-17,61	77,93	↘
9	1,55	1,54	1,95	1,96	↗	↗	62,63	15,95	↗
10	1,65	1,50	1,60	1,23	↘	↘	9,12	-24,78	↗
11	1,70	1,58	1,75	1,85	↗	↗	-1,87	111,93	↘
12	1,45	1,95	1,60	2,00	↗	↗	-7,85	-12,54	↗
13	2,70	3,55	2,50	3,35	↘	↘	-4,55	185,17	↘
14	2,80	2,80	2,85	3,00	↗	↗	8,85	-12,36	↗
15	1,90	2,10	1,85	1,45	↘	↘	-52,53	88,52	↘
16	3,15	4,20	2,95	4,00	↘	↘	-17,61	77,93	↘
17	2,00	1,95	1,45	1,75	↘	↘	35,28	251,93	↘
18	1,85	2,25	1,85	2,55	↗	↗	-0,20	-28,72	↗
19	3,80	2,70	2,45	2,30	↘	↘	83,72	802,52	↘
20	3,30	2,90	2,95	2,80	↘	↘	14,62	20,60	↘

Analizând tendința nivelului de stres, determinat cu ajutorul metodei chestionarului în comparație cu cel obținut prin intermediul dispozitivului de monitorizare, se constată că sensul acestuia se păstrează într-un procent de 85 %. Acest lucru arată că rezultatele obținute prin intermediul celor două metode sunt identice pentru procentul de subiecți menționați.


Fig. 6.7 Reprezentare grafică a variației rezultatelor testului EMAS-S (anxietate)

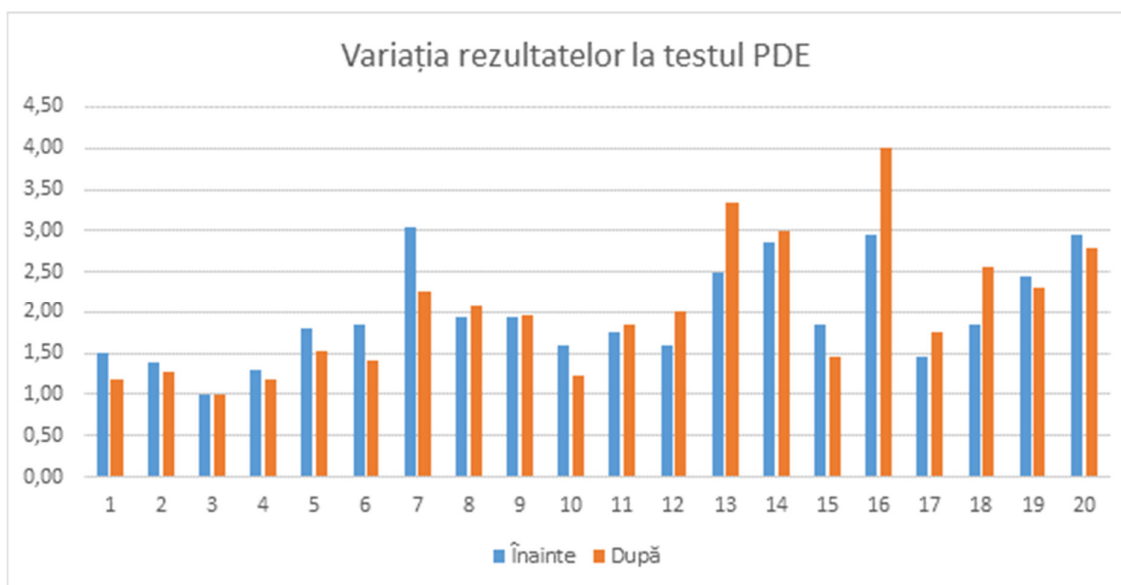


Fig. 6.8 Reprezentare grafică a variației rezultatelor testului PDE (distes emoțional)

Pentru a întări cele menționate mai sus cu privire la interdependența dintre datele culese cu dispozitivul pentru monitorizarea stărilor emoționale și cele culese prin metoda chestionarului s-a realizat o analiză cu ajutorul aplicației software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) [123].

Pentru a exista o corelație semnificativă între date, pragul de semnificație trebuie să fie sub valoarea de 0,005.

Rezultatul obținut pentru testul TEMAS, aplicat la începutul examenului, este de 0,028 iar pentru testul PDE, 0,037. Ambele valori se află situate peste pragul de semnificație ceea ce înseamnă că nu există o corelație între cele două seturi de date. Acest rezultat era pregonizat deoarece informațiile obținute cu ajutorul testelor psihologice nu pot anticipa evoluția stărilor emoționale.

Rezultatul obținut pentru testul TEMAS, la finalul examenului este de 0,002 iar pentru testul PDE este de 0,004. Ambele valori se află situate sub pragul de semnificație ceea ce înseamnă că există o corelație între cele două seturi de date.

6.3 CONCLUZII

- Evaluarea nivelului anxietății concomitent cu monitorizarea emoțiilor participanților prin intermediul dispozitivului poate furniza în aria psihologiei, o bază solidă de informații privind, spre exemplu, eficacitatea intervențiilor psihoterapeutice.
- Dispozitivul dezvoltat nu poate înlocui metodele psihologice în determinarea nivelului de stres dar poate fi un instrument foarte util în desfășurarea actului psihologic prin aceea că ajută la o mai bună identificare a elementelor generatoare de stres prin monitorizarea continuă a variației nivelului de stres.
- Utilizarea echipamentului în monitorizarea nivelului de stres al cursanților implicați în activități educaționale și de training, sau pentru evaluarea nivelului emoțional al unor subiecți confrunțați cu sarcini de serviciu solicitante, poate conduce la programarea și gestionarea activităților intelectuale ale celor vizați în vederea obținerii unor rezultate optime și atingerea obiectivelor vizate fără a suprasolicita persoanele implicate.

Capitolul 7

CONCLUZII GENERALE

Teza de doctorat „*Studiul unor sisteme digitale destinate evaluării stărilor emoționale*”, reprezintă un prim pas al Centrului de Cercetare EMAD, al Universității ”Ștefan cel Mare ” din Suceava către dezvoltarea unei cercetării trans și meta-disciplinare bazată pe colaborarea Școlilor doctorale din cadrul Universității Ștefan cel Mare, pentru implementare unor proiecte de maxim interes pentru societatea contemporană. Prin aceasta se urmărește crearea de noi oportunități pentru o mai bună comunicare a cercetării interdisciplinare și a rezultatelor cercetării inovative, cu aplicații multiple.

Capitolul de față cuprinde principalele concluzii în legătură cu studiile și cercetările aplicative desfășurate în ultimii 5 ani în domeniul performanței umane, îndeosebi pe subiectul prezentei teze de doctorat, contribuțiile teoretice și experimentale ale autorului și principalele direcții de cercetare viitoare în vederea aprofundării domeniului cercetat.

7.1 CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE

✓ O primă contribuție teoretică, a tezei de doctorat, este legată de realizarea unui documentat studiu privitor la rolul, avantajele și locul cercetării în societatea actuală cu scopul de a identifica trendurile, recomandările și obiectivele trasate de marile organizații internaționale: ONU, UNESCO, Uniunea Europeană.

✓ Realizarea unui analize a recomandărilor și direcțiilor de cercetare trasate de Uniunea Europeană prin programului de cercetare și inovare Orizont 2020, prin care se dorește impulsivarea și promovarea cercetării în domenii multidisciplinare deoarece la intersecția dintre discipline cunoștințele se dezvoltă mai rapid. Totodată, la alegerea subiectului lucrării, s-au avut în vedere cele șapte provocări prioritare în cercetare și inovare, identificate de UE, care pot avea un impact real în beneficiul cetățenilor, tema tezei încadrându-se la prima dintre ele *Sănătate, schimbări demografice și bunăstare*, în contextul dezvoltării aglomerațiilor urbane, a transferului principalelor activități sociale și industriale din zona efortului fizic în cea a solicitării intelectuale intense precum și a impactului pe care noile tehnologii îl au asupra individului.

✓ Având în vedere caracterul multidisciplinar al temei tezei de doctorat, s-a realizat o identificare a tipurilor, metodelor și metodologiilor de cercetare aplicabile, în vederea stabilirii rolului și locului cercetării calitative alături de cercetarea cantitativă în evaluarea și măsurarea viului.

✓ A fost realizat un studiu legat de biosemnalele de natură electrică și magnetică care sunt utilizate în medicină și bioecologie pornind de la geneza acestora, propagarea lor prin țesuturi, până la prezentarea informațiilor clinice pe care acestea le poartă despre anumite funcții particulare ale organismului. Astfel, s-a stabilit că semnalul electrodermal poate fi utilizat în dezvoltarea unor dispozitive pentru monitorizarea nivelului stres ținând cont că acesta este

influențat de stimulii emoționali. În cadrul acestui studiu sunt prezentate, în detaliu, anatomia, fiziologia, proprietățile electrofizice ale pielii și scheme electrice echivalente ale sistemului electrodermal.

✓ Pornind de la mecanismele de transfer ionic identificate la nivelul membranei celulare (fluxul ionic, potențialul de acțiune), s-a dedus și propus un model electric bazat pe proprietățile electrice active și pasive, descris matematic prin echivalență cu un circuit electric complex.

✓ S-a realizat un studiu bibliografic cu privire la anatomia și fiziologia pielii punându-se accent pe proprietățile electrofizice ale pielii și ale glandelor sudoripare, precum și prezentarea unor scheme electrice echivalente la nivelul învelișului dermal, analizându-se în detaliu mecanismele electrochimice ce au loc.

✓ S-au analizat metodele utilizate pentru măsurarea activităților electrodermale, modul de procesare a informației și principalele tipuri de conexiuni. De asemenea sunt prezentate pe larg soluțiile tehnice utilizate în măsurarea activității electrodermale: aparate, metode, tehnici și tipuri de electrozi.

✓ Analiza structurii, particularităților și a performanțelor metrologice pentru sistemele de monitorizare utilizate în biomedicină precum și etapele achiziției și prelucrării semnalelor bioelectrice, în scopul identificării și utilizării celor mai potrivite soluții în realizarea aplicațiilor practice propuse. Sunt analizate critic și prezentate o serie de dispozitive pentru prelucrarea și analizarea biosemnalelor, cunoscute și utilizate în diagnosticarea medicală, în vederea găsirii unor noi aplicații ale acestora.

✓ În urma documentării și analizei soluțiilor existente în practică pentru măsurarea biosemnalelor electrice, în special al celor destinate evaluării rezistenței electrice a pielii, s-a realizat un studiu ce pune în evidență performanța metrologică raportată la preț, dimensiune sau de modul de transmitere a datelor în vederea procesării și stocării.

✓ Au fost identificate principalele stări emoționale activate de stresul intelectual generat de activități intense în domeniul educațional sau informatic. S-a identificat, cu sprijinul unor specialiști psihologi, o baterie de teste psihologice care să pună în evidență aceste stări emoționale.

7.2 CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚIILE EXPERIMENTALE ALE LUCRĂRII

✓ A fost realizat un experiment în care rezistența electrică a pielii a fost măsurată concomitent cu un microsistem de achiziție de uz medical, special conceput în acest scop, echipat cu diverse adaptoare pentru senzori specializați și un microsistem uzual, adaptat minimal tipului de măsurare electrodermală. Rezultatele au fost comparate și s-a constatat că diferența dintre valorile obținute în cazul utilizării plăcii de achiziție de tipul ESP 8266 echipată cu un microcontroler ATmega328 sunt nesemnificative.

✓ Proiectarea unui circuit adaptor destinat sistemelor de achiziție electrodermală și realizarea unei variante fiabile, miniaturizate, a acestei interfețe.

✓ Plecând de la premisa că există situații în care activitatea intelectuală intensă este realizată în munca la computer, autorul tezei de doctorat, a proiectat, realizat și testat două variante constructive pentru dispozitivul destinat monitorizării nivelului de stres pe perioada în care subiectul analizat utilizează un calculator. Pentru dispozitiv s-a constituit Depozitul Național Reglementar, în vederea brevetării, la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci.

✓ O primă variantă a dispozitivului pentru monitorizarea nivelului de stres a fost proiectată și realizată prin integrarea unui microsistem pentru măsurarea rezistenței electrice a pielii într-un dispozitiv mouse comun.

✓ Ținând cont de faptul ca o perioadă îndelungată de lucru la calculator utilizând un mouse comun poate conduce la o tensionare a încheieturii și a brațului utilizatorului, astfel creându-se un disconfort suplimentar, a fost proiectată și realizată a doua variantă constructivă a dispozitivului pentru monitorizarea nivelului de stres ce utilizează un mouse ergonomic, cu o formă ce implică o poziție biologică normală a mâinii. În plus față de prima variantă constructivă, acesta are posibilitatea monitorizării saturației de oxigen în sânge și a pulsului persoanei monitorizate, posibili indicatori suplimentari ai prezenței unui stări de stres.

✓ Eliminarea erorilor de măsurare datorate unui contact imperfect între electrod și piele a fost posibilă prin implementarea unui senzor de forță pe echipamentul realizat și a unei subrutine software specifică în procedura de salvare a datelor. Studiile realizate în cadrul temei au pus în evidență faptul că forța de apăsare influențează rezistența de contact până la o anumită valoare peste care variațiile acesteia sunt nesemnificative.

✓ Funcționalitatea dispozitivului a fost completată cu un software destinat salvării datelor, sistemul fiind testat în cadrul unui experiment în care, unui număr de 20 de subiecți li s-a cerut să vizualizeze o secvență de imagini special alese să inducă o anumită stare emoțională. S-a constatat că, în general, o micșorare a valorii rezistenței electrodermale coincide cu vizualizarea unei imagini menite să inducă emoții negative. S-au identificat și factori ce conduc la cazuri în care subiecții nu reacționează sau reacționează parțial în acest experiment. Într-o situație reală de monitorizare a nivelului de stres, de exemplu a unui angajat, o imagine negativă din cadrul experimentului, poate fi atribuită unei sarcini de muncă care pentru persoana în cauză este generatoare de stres.

✓ Pe baza rezultatelor teoretice și experimentale obținute, autorul tezei de doctorat a completat sistemul experimental cu două aplicații în mediul de programare LabVIEW destinate prelucrării statistice a datelor achiziționate cu dispozitivul de monitorizare a nivelului de stres dezvoltat. Prima aplicație LabVIEW realizată se dorește a fi un instrument destinat specialiștilor din domeniul psihologiei educaționale care să-i ajute la identificarea momentelor și a elementelor generatoare de stres în cazul unei persoane, precum și la stabilirea exactă a nivelului acestuia.

✓ O a doua aplicație software realizată, în cadrul lucrării, permite utilizatorului, printr-un meniu special conceput, vizualizarea evoluției rezistenței electrice a pielii, a rezistenței electrice aferente senzorului de apăsare, abaterile individuale absolute și abaterile individuale relative. Totodată sunt calculați și următorii indicatori statistici: valoarea maximă, valoarea minimă, media aritmetică, media pătratică, mediana, amplitudinea absolută, amplitudine relativă, abaterea medie, abaterea standard, coeficientul de variabilitate. Aceste informații coroborate cu datele obținute prin metodele psihologice de determinare a nivelului de stres pot contribui la diagnosticarea corectă a unei stări de stres și elementele care îl generează.

✓ Datele furnizate de aplicația prezentată, rezultate din monitorizarea rezistenței electrodermale o perioadă mare de timp, au putut fi utilizate la stabilirea capacității de rezistență la stres a unui individ precum și la identificarea momentelor de maximă solicitare intelectuală.

✓ Realizarea unui sistem de avertizare la atingerea unei anumite limite a nivelului de stres pentru utilizator, este conceput în mediul de programare LabVIEW unde datele achiziționate de la sistemul de monitorizare a nivelului de stres sunt prelucrate în timp real. Pe lângă această

funcție de bază, sistemul de avertizare propus monitorizează saturația oxigenului în sânge și pulsul subiectului monitorizat. În acest fel sistemul realizat poate contribui la diagnosticarea, încă din faza de instalare, a unor afecțiuni sau stări anormale.

✓ Utilitatea și eficiența dispozitivului de monitorizare propus a fost confirmată de rezultatele obținute în urma experimentului efectuat în colaborare cu Departamentul de Specialitate cu Profil Psihopedagogic, din cadrul Universității "Ștefan cel Mare" din Suceava, în care 20 de studenți au fost evaluați din punct de vedere emoțional, în timpul susținerii probei practice a examenului semestrial la disciplina Grafică asistată de calculator, utilizând dispozitivul și prin folosirea unei metode specifice constând în aplicarea a două teste psihologice la începutul și la finalul examenului.

✓ Studiile experimentale au confirmat faptul că monitorizarea emoțiilor cu dispozitivul propus concomitent cu evaluarea nivelului anxietății, cu ajutorul metodelor psihologice, poate furniza informații utile privind eficacitatea intervențiilor psihoterapeutice.

✓ Realizând o analiză a tendinței nivelului de stres, determinat cu ajutorul metodei chestionarului în comparație cu cel obținut prin intermediul dispozitivului de monitorizare, se constată că sensul acesteia se păstrează într-un procent de 85 %. Acest lucru arată că rezultatele obținute prin intermediul celor două metode sunt identice pentru procentul de subiecți menționați. Discordanțele corelațiilor, obținute pentru o parte din subiecți, dintre datele furnizate de dispozitivul de monitorizare al emoțiilor și rezultatele scorurilor la ambele chestionare, pot fi puse pe seama subiectivității care intervine în cazul completării chestionarelor. Oamenii, în general, au tendința de a-și subaprecia aspectele indezirabile, mai puțin acceptate social, iar recunoașterea stării de stres, respectiv de anxietate, este asociată cu subminarea, lezarea stimei de sine.

✓ În urma testelor realizate se poate concluziona că utilizarea dispozitivului propus conduce la obținerea unor rezultate concludente cu privire la mărimea variației nivelului de stres al unui individ, în condiții de solicitare intelectuală, identice cu cele obținute printr-o metodă psihologică. Avantajul major al utilizării dispozitivului prezentat este că acesta realizează o monitorizare continuă a nivelului de stres, acest lucru ajutând la identificarea momentelor de timp și a sarcinilor generatoare de stres.

7.3 DIRECȚII ULTERIOARE DE CERCETARE

Având la bază rezultatele obținute în urma cercetărilor întreprinse de autorul tezei de doctorat, s-au evidențiat următoarele direcții de cercetare ulterioare:

✓ Îmbunătățirea dispozitivului de monitorizare prin integrarea și a altor funcții care pot da o măsură a nivelului de stres, de exemplu tremorul mâinilor.

✓ Realizarea unor testări complexe cu dispozitivul de monitorizare între grupe de studenți pentru a identifica situații critice ce apar în cadrul activităților didactice și de verificare, cu scopul de a le elimina sau de a identifica necesitatea integrării unor tineri în programe psihologice specifice gestionării mai bune a reacției în situații critice.

✓ Dezvoltarea unui sistem distribuit de monitorizare care să permită identificarea rapidă și precisă a situațiilor critice ce pot apărea la unii angajați dintr-o instituție în cazul unor activități intelectuale intense.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

- [1]. ABABEI, Ș.; CULEA, C. *Măsurări electrice și achiziție de date*. Chișinău: Editura Tehnică- Info, 2003.
- [2]. BOUCSEIN, W. *Electrodermal Activity*. New York: Editura Oxford Springer, 2012.
- [3]. BRADBERRY, T.; GREAVES, J. *Inteligența emoțională 2.0*. București: Editura Litera, 2016.
- [4]. BRONZINO, J. D. *The Biomedical Engineering HandBook, Second Edition*. Florida: CRC Press, 2000.
- [5]. BRYMAN, A. *Social Research Methods*. 4th Edition. Oxford University Press, 2012.
- [6]. CASAS, O.; PALLAS-ARENY, R. *Signal to noise ratio in bioelectrical impedance measurements using synchronous sampling*. În: Engineering in Medicine and Biology Society, 1994. Engineering Advances: New Opportunities for Biomedical Engineers. Proceedings of the 16th Annual International Conference of the IEEE, vol.2, 1994.
- [7]. CLOCOTICI, V. *Statistică aplicată în psihologie*, Iași: Editura Polirom, 2000.
- [8]. CORDES, A; ARTS, M.; LEONHARDT, S. *A full digital magnetic induction measurement device for non-contact vital parameter monitoring*, În: 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, San Diego, August, 2012.
- [9]. CREȚU, G.; VARVARA, V.; MERTICARU, V. *Metode de cercetare experimentală. Aplicații*. Chișinău: Editura Tehnica-Info, 2000.
- [10]. GOLEMAN, D. *Inteligența emoțională*, București: Editura Coresi, 2017.
- [11]. DIACONECU, I. *Achiziții de date și instrumentație*. București: Editura Matrix Rom, 2006.
- [12]. FIGNER, B., MURPHY, R. O. *Using skin conductance in judgment and decision making research*. New York : Psychology Press, 2009.
- [13]. GLOVER, J. R.; KTONAS, P. Y.; JANSEN, B. H. *Knowledge-based interpretation of bioelectrical signals*. În: IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, vol.9, 1990.
- [14]. GODDARD, W.; MELVILLE, S. *Research methodology*. Lansdowne: Juta & Co. Ltd, 2007.
- [15]. KHAN, J. A. *Research methodology*. Ed. APH Publishing Corporation, 2008, New Delhi.
- [16]. KUMAR, R. *Research methodology*. London: Editura SAGE Publications Ltd, 2014.
- [17]. LEC, T. *Introductory biostatistics*. New Jersey: Editura Wiley-Interscience, 2003.
- [18]. MALVIVOU, J.; PLONSEY, R. *Bioelectromagnetism*. New York: Editura Oxford University Press, 1995.
- [19]. MATEESCU, A. *Semnale circuite și sisteme*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1984.
- [20]. MĂRGESCU, I.; BĂDESCU, GH. *Transmiterea discretă a semnalelor*. București: Editura Tehnică, 1978.

- [21]. MILICI, L. D.; PLĂCINTĂ, V. M.; BUJOR, L.; MILICI, M. R.; *System for highlighting the emotional states, used in assessing the teaching methods*, În: 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, Romania, 7-9 May, 2015,
- [22]. MILICI, L. D.; MILICI, M. *Sisteme de monitorizare și transmisie de date. Structuri și principii de funcționare*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 2014.
- [23]. NEGOESCU, R. *Inițiere în electronica biomedicală*, Editura Tehnica, 1985.
- [24]. RAFIROIU, D. *Electricitate în medicină*. Cluj: Editura Casa Cărții de Știință, 2000.
- [25]. ROTAR, D. *Sisteme de achiziție și teletransmisia datelor – curs*. Bacău: Universitatea din Bacău, Facultatea de Inginerie, 1998.
- [26]. SAM, D.; SAM, A. *Research Methodology*. Delphi: Kalpaz Publication, ISBN 178-81-7835-900-7.
- [27]. STEFĂNEȚ, M. *Anatomia omului*. Chișinău: Centrul Editorial-Poligrafic Medicine, 2007.
- [28]. STRIADE, M. *Psihicul și activitatea electrică a creierului*, București: Editura Științifică, 1965.
- [29]. STRUGARU, R. *Electronică medicală*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1982.
- [30]. TINTIUC, D. *Biostatistica și metodologia cercetării științifice – suport de curs*. Chișinău: Universitatea de stat de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemițanu", 2011.
- [31]. *** <http://encyclopedia.thefreedictionary.com/science>, 02.08.2017.
- [32]. *** <http://www.oecd.org/sti/inno/Frascati-Manual.htm>, 02.06.2017.
- [33]. *** <http://www.spss.com.hk>, 20 aprilie 2017.

Lista lucrărilor personale publicate în domeniul tezei de doctorat

- [34]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; PAȚA, S. D. *Comparative systems analysis for skin response signal processing*. In: The 6th IEEE International on E-Health and Bioengineering – EHB 2017, Sinaia, România, Iunie 2017, DOI 10.1109/EHB.2017.7995478.
- [35]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; MILICI, L. D.; PAȚA, S. D. *Monitoring system for the emotional states*. In: 5th International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology – MediTech2016, IFMBE Proceedings, 12 – 15 October 2016, Cluj-Napoca, Romania.
- [36]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; BREABĂN, B. *System for monitoring the emotional states*. In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", Sibiu, România, Nr. 3/2018, ISSN 2501-3157.
- [37]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; PAȚA, S. D. *System for stress level monitorization*. 5th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), 20 – 22 octombrie 2017, Galați, România, DOI: 10.1109/ISEEE.2017.8170706.
- [38]. CENUȘĂ, M.; MILICI L. D.; POIENAR, M.; PAȚA S.; PENTIUC, R.; POPA, C.; RAȚĂ, M. *Sistem pentru monitorizarea stărilor emoționale*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00657 din 14.09.2017.
- [39]. CENUȘĂ, M. *Stadiul actual al sistemelor de măsurare și monitorizare în biomedicina*.

- Raport 1 de cercetare în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat, Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, Mai 2016.
- [40]. CENUȘĂ, M. *Contribuții preliminare teoretice și experimentale cu privire la unele variante de sisteme de monitorizare a stărilor emoționale*. Raport 2 de cercetare în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat, Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, Septembrie 2017.
- [41]. CENUȘĂ, M. ; POIENAR, M. ; MILICI, L. D. *LabVIEW Software Application for Monitoring the Emotional States*. In: The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, 28-30 March 2019, Bucharest, Romania.
- [42]. PAVEL, P.; CENUȘĂ, M.; S. D. PAȚA *Sistem for assessing the level of concentration based on the electroencephalography signal (EEG)*. In: Buletinul științific al academiei Forțelor Terestre Nicolae Bălcescu Sibiu, Sibiu, 2016.
- [43]. PAVEL, P.; CENUȘĂ, M.; CERNUȘCĂ, D. *Human performance assessment system in sport treading and physiotherapeutic rehabilitation*. In: Buletinul științific al academiei Forțelor Terestre Nicolae Bălcescu Sibiu, Sibiu, 2016.
- [44]. MILICI L. D.; GRAUR A.; POIENAR M.; CENUȘĂ M.; BARASCU A. A. (2017), *Study of a Tiredness Identification System*. 11th International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN 2017), 12-13 Octombrie, 2017, Chisinau, Moldova, ISSB/ISBN: 978-1-5386-1845-5, pag: 493-496.

Alte lucrări la elaborarea și publicarea cărora doctorandul a participat în calitate de coautor, în perioada stagiului de pregătire și elaborare a tezei de doctorat

- [1]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; ȚANȚA, O. M.; ROMANESCU, A. N.; OLARIU, E. D. *Aspects Regarding the Development of Solutions in the Unprotected Submersible Electrical Motors within the EMAD Research Centre*. In: 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power System, 8-9 October, 2015, Chișinău, Rep. of Moldova.
- [2]. CENUȘĂ M., MILICI L.D, ROMANESCU, A.N.; ȚANȚA O.; NIȚAN, I.; POIENAR M., ATĂNĂSOAE, P.; PRODAN, C.; AFANASOV, C; VLAD, V *Sistem și metodă de măsurare și conectare a consumatorilor monofazați de energie electrică*. Cerere de brevet de invenție depusă la OSIM nr. A00409/8.06.2018.
- [3]. CENUȘĂ, M. ; POIENAR, M. ; MILICI, L. D. *Study of a System for Reducing Electricity Losses*, 14th International Conference on Development and Application Systems, 24-26 Mai 2018, Suceava, România.
- [4]. CENUȘĂ, M. ; POIENAR, M. ; MILICI, L. D. *Solution to improve the quality of electricity in low voltage networks*. 12th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2018) /18-19 Octombrie 2018, Iași, România.
- [5]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; CERNUȘCĂ, D.; PAȚA, S. D.; *System and method for measuring and connecting single-phase electric energy consumers*. In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", 2019, Sibiu, România, ISSN 2501-3157.
- [6]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; TOADER, V., E.; SABADAȘ, A.; PIANÎH, A. *Buildings*

- flood protection system*. In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", 2019, Sibiu, România, ISSN 2501-3157.
- [7]. CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; CERNUȘCĂ, D. *Solution for reducing technological consumption in low voltage distribution network*. In: 8th International Conference on Modern Power Systems 2017, 21-23 May 2019, Cluj-Napoca, România, lucrare în curs de publicare.
- [8]. PAȚA, S. D.; CENUȘĂ, M.; POIENAR, M. *Method and installation for milk controlling and management*. In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", Sibiu, România, Nr. 3/2018, ISSN 2501-3157.
- [9]. PAȚA S.; POIENAR M.; CENUȘĂ M.; MILICI L. D. (2017), *Controlling the speed of asynchronous motor with a tiny module controller*. In: 7th International Conference on Modern Power Systems 2017, 6-9 June 2017, Cluj-Napoca, România.
- [10]. POPESCU, P.; POIENAR, M.; CENUȘĂ, M.; PAȚA, S. D. *Intelligent system for monitoring and detection of fires*. In: Buletinul Științific Supliment - Salonul Național a Inovării și Cercetării Științifice Studentești "CADET INOVA", 2017, p. 200- 203, Sibiu, România, Aprilie 2017.
- [11]. PAȚA, S. D. ; POIENAR, M.; CENUȘĂ, M.; MILICI, D. L. *Automated system for optimising the production of compressed air with a compressors station*. In: 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2016), 20-22 October, Iasi, Romania, pages: 458 – 461, DOI: 10.1109/ICEPE.2016.7781382.
- [12]. ROMANESCU, A. N.; POIENAR, M.; CENUȘĂ, M.; CERNUȘCĂ, D.; PAȚA, S.; OLARIU, E. D.; UNGUREANU, C.; POPA, C.; MILICI, M. R. *Actuator heliothermic cu bimetal*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00153 din 14.03.2017.
- [13]. ROMANESCU, A. N.; POIENAR, M.; CENUȘĂ, M.; NIȚAN, I. *Performance analysis of a linear heliothermic actuator*. In: 7th International Conference on Modern Power Systems 2017, 6-9 June 2017, Cluj-Napoca, România.
- [14]. ȚANȚA, O. M.; ROMANESCU, A. N.; CENUȘĂ, M.; NIȚAN, I.; POIENAR, M. *Solutions for diagnosing faults in asynchronous motor stator through a ferrofluid installation*. In: 3th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools from UDJ Galați, 4th-5th of June 2015.
- [15]. POIENAR, M.; ȚANȚA, O. M.; ROMANESCU, A. N.; CENUȘĂ, M.; OLARIU, E. D. *Contributions to highlight the particular matrices used for defining and representation of clock hour figure mathematical model*. In: 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power System, 8-9 October, 2015, Chișinău, Rep. of Moldova.
- [16]. ȚANȚA, O. M.; POIENAR, M.; NIȚAN, I.; CENUȘĂ, M.; ROMANESCU, A. N. *Applications based on variable frequency rotating magnetic field. Electromechanical agitator with dual direction*. In: 3th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools from UDJ Galați, 4th-5th of June 2015.
- [17]. ROMANESCU, A. N.; CERNUȘCĂ, D.; PAȚA, S. D.; CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; ATĂNĂSOAE, P.; PENTIUC, R. D.; MILICI, D. L. *Actuator heliothermic*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00301 din 26.04.2016.
- [18]. ROMANESCU, A. N.; CERNUȘCĂ, D.; PAȚA, S. D.; CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; OLARIU, E. D.; UNGUREANU, C.; NIȚAN, I.; MILICI, D. L. *Actuator heliothermic cu lamelă bimetalică*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00439 din

16.06.2016.

- [19]. ROMANESCU, A. N.; CERNUȘCĂ, D.; PAȚA, S. D.; CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; NIȚAN, I.; POPA, C. D.; MILICI, D. L.; PENTIUC, G. *Actuator liniar cu bimetal*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00487 din 05.07.2016.
- [20]. ȚANȚA, O. M.; MILICI, L. D.; POIENAR, M.; ROMANESCU, A. N.; CENUȘĂ, M. *Diagnosing faults in rotor cage through an ferrofluid installation*. International Symposium on Electrical Engineering and Energy Converters – ELS 2015, Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, oct.2015.
- [21]. POIENAR, M.; ȚANȚA, O. M.; OLARIU, E. D.; NIȚAN, I.; ROMANESCU, A. N.; CENUȘĂ, M. *Considerații privind posibilitatea elaborării unei diagrame a transformărilor asociată modelului matematic al indicelui orar la transformatoarele trifazate*. In: International Symposium on Electrical Engineering and Energy Converters – ELS 2015, 1 October 2015, Suceava, Romania.
- [22]. CERNUȘCĂ, D.; MILICI, L. D.; NIȚAN, I.; POIENAR, M.; PAȚA, S. D.; CENUȘĂ, M.; BREABĂN, B.; POPA, C. D. *Termocuplă tip ambreiaj*. Cerere de Brevet de Invenție, OSIM, România.