

STUDIUL GRADIENTULUI TERMIC DEZVOLTAT LA NIVELUL MEMBRELOR SUPERIOARE ÎN CAZUL INDUCERII EFORTULUI CONTROLAT

THE STUDY OF THERMAL GRADIENT DEVELOPED IN THE UPPER LIMBS IN CASE OF INDUCING CONTROLLED EFFORT

Mihaela Ioana BARITZ¹, Ion BALCU²

¹ Universitatea Transilvania Braşov
Product Design and Environment Faculty
B-ul Eroilor nr.29, 500036 Braşov, Romania
e-mail: mbaritz@unitbv.ro

² Universitatea Transilvania Braşov
Mechanical Engineering Faculty
B-ul Eroilor nr.29, 500036 Braşov, Romania
e-mail: balcu@unitbv.ro

Rezumat. In această lucrare sunt prezentate analizele termografice realizate pe un eşantion de cazuistică cu scopul evaluării manifestărilor morfo-funcţionale (în mod deosebit aspectele termice dezvoltate) la nivelul mâinii în urma expunerii la efort controlat. În procedura de evaluare s-a analizat progresiv manifestarea efectului efortului indus cu ajutorul dispozitivelor de găurire utilizate cu materiale diferite. Modelarea dimensională a formei și dimensiunilor mâinii a fost o altă componentă a procedurii de evaluare necesară corelării cu înregistrările termografice. În urma parcurgerii acestor module dezvoltate în procedura de examinare s-au constatat o serie de aspecte comportamentale specifice dar și cu un grad de generalitate care indică o bună corelare a "hărților termice" a membrilor superioare, cu gradul de efort indus controlat. Rezultatele și concluziile sunt prezentate în partea finală a lucrării, alături de sublinierea unor concepte legate de protecția factorului uman și asigurarea de confort operațional.

Cuvinte cheie: gradient termic, mână, efort indus controlat, confort ocupational

Abstract. In this paper we present thermo-graphic analysis performed on a sample of subjects in order to evaluate morphological and functional manifestations (particularly developed thermal issues) in the hand after exposure to controlled effort. The assessment procedure was progressively analyzed the manifestation of effort effect induced by means of drilling devices used in various materials. Dimensional modeling of the shape and size of hand was another component of the evaluation process that could be correlated with thermo-graphic records. After following these modules developed in the examination procedure they were found a number of specific behavioral aspects but also with a degree of generality that indicate a good correlation of "heat maps" of the upper limbs, the degree of stress induced control. The results and conclusions are presented in the final part of the paper, along with emphasizing some concepts related to the protection of human factor and providing operational comfort.

Keywords: thermal gradient, hand, controlled induced effort, occupational comfort

1. INTRODUCERE

Structura mâinii, prin forma, dimensiunile și caracteristicile sale funcționale reprezintă ansamblul cel mai important din organismul uman deoarece oferă acestuia manevrabilitate, echilibru, mod de comunicare și acțiune necesare interacțiunii cu mediul înconjurător natural sau/și social.

Mâna, în ansamblul său este o structură anatomo-fiziologică complexă de sisteme senzoriale, motorii și autoreglabile. Mâna formată de corpul principal, încheietură și degete este modulul exterior al membrului superior ceea ce o expune mult mai mult în fața agenților agresivi din mediul înconjurător. Acești agenți pot acționa la nivel de epidermă, circulație sanguină, elasticitatea musculară, sau flexibilitatea articulațiilor componente și pot modifica partial sau total, tranzitoriu sau permanent, profund sau la suprafață caracteristicile morfo-funcționale la nivelul ansamblului mână-încheietură-braț. [1]

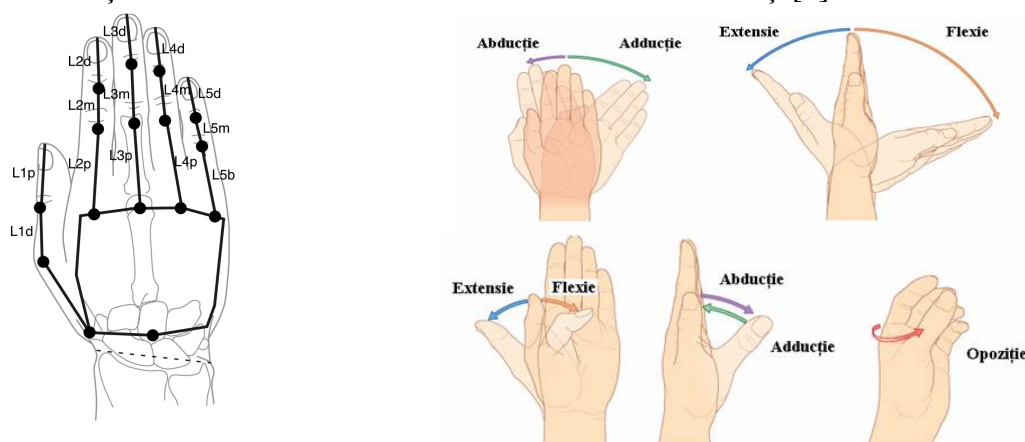


Fig.1. Articulațiile mâinii și mișcările principale ale mâinii [2]

Mâna prezintă două funcții importante și anume:

- funcție mecanică – mâna prinde și manipulează obiecte, acțiune ce implică flexia/extensia degetelor pe police.
- funcție senzorială - mâna este folosită pentru a diferenția forma, calitatea materialului, dimensiunile sau temperatura obiectelor pe baza simțului tactil.

Tegumentele de pe fața palmară a degetelor sunt bogate în fibre ale receptorilor somatici senzitivi. Deasemenea, zona cortexului senzorial, zona din creier care interpretează informația primită de la mână prin intermediul receptorilor și în special de la police este cu mult mai mare decât pentru alte zone senzoriale ale pielii de pe organismul uman. Structura de rezistență a membrului superior formată din segmentele osoase de la nivelul mâinii se assemblează între ele prin 30 de articulații: *articulația radio-carpiana*; *articulațiile carpului*, care cuprind: *articulațiile intercarpiene* – între oasele carpiene prin fețele lor laterale și *articulația mediocarpiana* – a celor două rânduri carpiene între ele; *articulațiile carpo-metacarpiene*; *articulațiile intermetacarpiene*; *articulațiile degetelor* formate din *articulațiile meta-carpo-falangiene* și *articulațiile inter-falangiene*. Toate aceste articulații se coordonează în ceea ce reprezintă mobilitatea mâinii și a încheieturii dând astfel posibilitatea efectuării unei game foarte mari de mișcări necesare traiului, activităților lucrative, comunicării sau artei.

2. ASPECTE TEORETICE ASUPRA BIOMECHANICII ȘI ANTROPOMETRIEI MEMBRULUI SUPERIOR – MÂNA ȘI DEGETELE

În acest sens, o serie de centre de cercetare importante din întreaga lume au dezvoltat strategii și proceduri specifice sau generale de evaluare/măsurare a caracteristicilor dinamice umane la nivelul mâinii și astfel au fost stabilite relații de calcul ale parametrilor biomecanici utilizând eșantioane mari de populație (ecuațiile 1 și 2). [3]

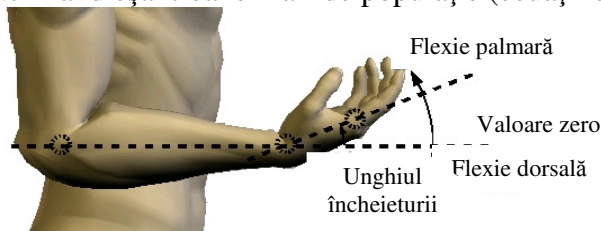


Fig.2. Mișcarea mâinii față de braț [3]

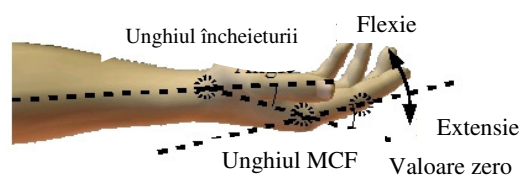


Fig.3. Mișcarea degetelor față de mână [3]

Relațiile menționate reprezintă ecuațiile de determinare a momentului dezvoltat la nivel de încheietură (1), respectiv la nivel de mână (2); mărimi măsurate în Nm/Ncm.

$$M_{încheietură}^K = \exp \left[2,8508 \left(-\theta_{încheietură} \frac{\pi}{180} - 1,0185 \right) \right] - \exp \left[5,4930 \left(-1,2374 + \theta_{încheietură} \frac{\pi}{180} \right) \right] \quad (1)$$

$$M_{MCF}^K = 1,4 \{ \exp[-0,068(\theta_{MP} + 18,0)] - 1 \} - 1,6 \{ \exp[0,092(\theta_{MP} - 79,4)] - 1 \} + 1,2 \{ \exp[-0,042(\theta_{MP} - (-0,8\theta_{încheietură} + 10,9))] - 1 \} - 0,8 \{ \exp[0,054(\theta_{MP} - (-0,3\theta_{încheietură} + 40,9))] - 1 \} \quad (2)$$

unde M_{MCF}^K reprezintă momentul la nivelul articulațiilor meta-carpo-falangeal și $M_{încheietură}^K$, momentul la nivelul încheieturii mâinii.

Întregul membru superior al corpului uman prezintă mobilitate mare dar și posibilitatea de poziționare a mâinii în spațiu datorită articulației glenohumerale ce permite mișcări în toate axele. Brațul poate efectua, în această articulație, mișcări de flexie, extensie, abducție, adducție, rotație internă și externă respectiv mișcare de circumducție. Tot în articulația pumnului și mâna prezintă aceleași mișcările de abducție, adducție, flexie, extensie și circumducție. Aceste mișcări împreună cu mișcările umărului, brațului și antebrăului fac posibilă poziționarea mâinii într-o multitudine de poziții față de corp. Din punct de vedere dimensional studiile antropometrice relevă o gamă foarte largă de tipo-dimensiuni ce au fost sintetizate în schema din fig.4. Modelările virtuale (fig.5) sunt de asemenea utile pentru a identifica abaterile față de standardele antropometrice înregistrate în diferite baze de date (ex. DINED, CAESAR etc.). [3,4]

O problemă atent studiată și dezvoltată pentru construcția sistemelor robotizate o constituie procesul de apucare și strângere cu falangele degetelor a unor obiecte ce se manevrează. Acest tip de efort manifestat la nivelul mâinii și al degetelor conține două componente: precizia și distribuția mărimii forței.

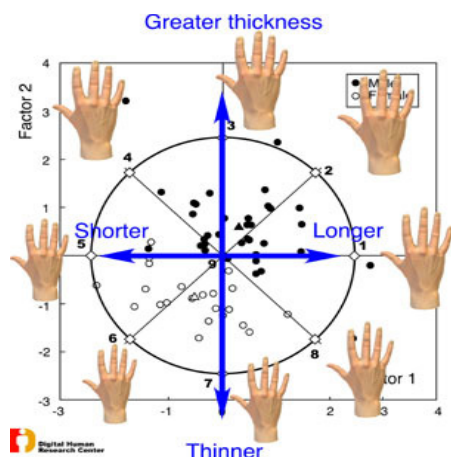


Fig.4. Sinteza tipo-dimensiunilor mâinii și degetelor [3]

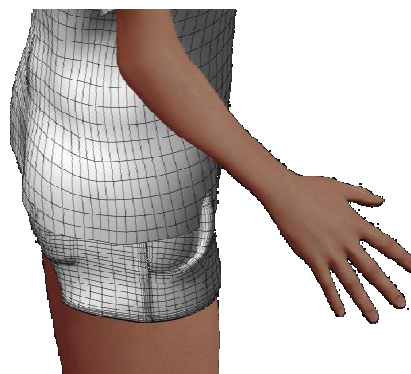


Fig.5. Modelările antropometrice ale brațului, mâinii și degetelor [5]

În plus aspecte legate de aderență mână-obiect, forma, tipul de material și temperatura obiectului necesită o atentă analiză pentru că ele pot determina variații mari ale modului de manifestare a efortului la contactul mână-obiect în procesul de apucare-strângere. Deasemenea aceste forme de manifestare sunt corelate și cu gradul de mobilitate al articulațiilor din ansamblul braț-mână-degete, deoarece „structura osoasă deosebit de complexă poate deveni utilizabilă numai prin intermediul multor grupe musculare atașate de aceste oase” [6] în varianta în care ele lucrează la capacitate normală.

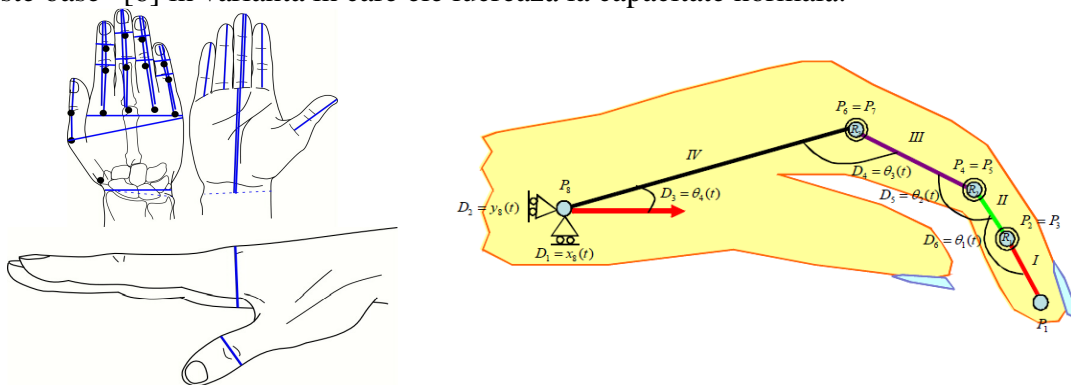


Fig.6. Mărimile dimensionale antropometrice ale mâinii [3,8]

Conform analizelor kinetostatice tip Gosselin [7], mișcările de apucare-strângere, dezvoltă o serie de manifestări structurale de deformare locală a țesuturilor mâinii și a falangelor prin care se estimează și o modificare a temperaturii la extremitățile degetelor. Variația temperaturii la nivel structural este importantă pentru păstrarea timp îndelungat a calității de dexteritate și manevrabilitate, dar și a confortului ocupațional. Temperatura dezvoltată în mână ca urmare a unor stimuli externi din mediul înconjurător depinde de temperatura inițială a corpului uman, de durata și intensitatea expunerii, dar și de suprafața expusă; deasemenea și de sursa de radiație termică sau care determină modificarea locală, internă a gradientului termic (mișcare).

3. DEZVOLTAREA SISTEMULUI EXPERIMENTAL PENTRU EVALUARE

Structura experimentală de analiză a variației temperaturii la nivelul mâinii și a degetelor datorată expunerii la efort controlat prin vibrații este dezvoltată în sensul modularizării și flexibilizării tipologiilor de evaluări astfel încât valorile obținute să fie ușor de analizat și de stocat în bazele de date ale experimentelor. Experimentul conține o serie de pași care sunt urmați de subiecții din eșantionul de analiză. Subiecții aleși în experiment, cu vârsta medie de 22,3 ani, de gen masculin și dimensiuni antropometrice extreme de diferite au fost instruiți și le-au fost asigurate aceleași condiții de mediu pentru toate variantele de înregistrare. Echipamentele din instalația experimentală alese pentru desfășurarea analizelor au fost: camera de termoviziune tip FLIR BCam, dinamometrul, setul de evaluare antropometrică, placa de vibrații *Intersport*, utilaj manual de găurit pentru inducerea vibrațiilor în ansamblul mână-braț, materiale de lucru-lemn și beton. (fig.7 și 8)

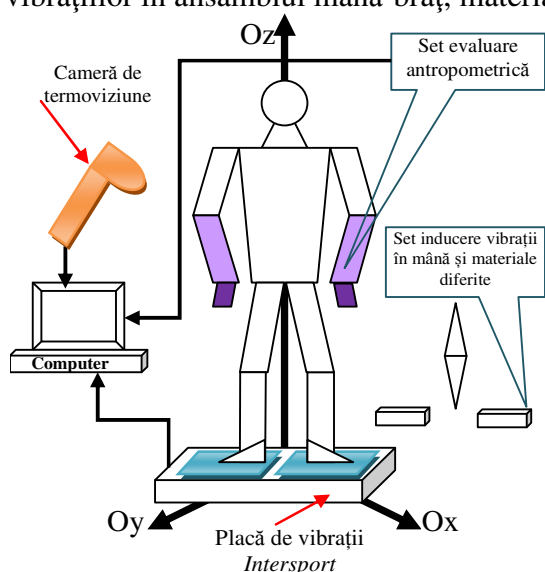


Fig.7. Schema instalației experimentale [5]



Fig.8. Echipamentele utilizate în experimente [5]

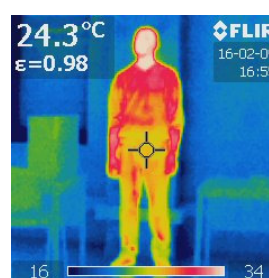
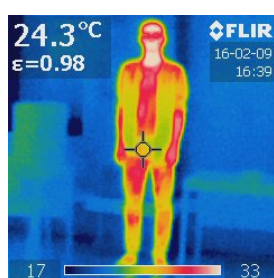


Fig.9. Temperatura inițială a subiecților examinați [5]

Mediul înconjurător a fost permanent controlat (temperatura stabilă la 21°C, umiditatea relativă 60%, presiunea atmosferică 760 mm col Hg, iluminare naturală) iar subiecții au fost instruiți și monitorizați pe toata durata experimentului să nu își modifice temperatura corpului uman și a membrilor superioare (hrană caldă/rece sau contact cu obiecte calde/reci). În mod deosebit, temperatura corpului uman a fost verificată inițial, și apoi la

începutul fiecărei etape de înregistrare pentru a păstra aceleași condiții de evaluare la nivelul subiecților.

În metodologia de achiziție a datelor experimentale s-au desfășurat următorii pași: *evaluarea inițială a subiecților* (temperatură, dimensiuni antropometrice, dexteritate/manevrabilitate, forță manuală); *inducerea unui nivel controlat de vibrații* în întreg organismul uman urmat de evaluarea temperaturii corpului; *inducerea controlată de vibrații la nivelul ansamblului degete-mână-braț* (găurirea, pe durata a 5 minute a unor materiale diferite); *măsurarea prin termoviziune a gradientului de temperatură* la nivelul ansamblului degete-mână-braț după fiecare tip de material utilizat în pasul anterior.

Prin achiziția datelor de la echipamentele utilizate s-a creat o bază de date specifică acestui experiment pentru a putea permite corelarea datelor și obținerea rezultatelor finale prin software-uri dedicate (PeopleSize).

4. REZULTATE ȘI CONCLUZII

În urma realizării experimentelor prezentate mai sus s-au obținut un set de înregistrări ale parametrilor stabiliți ce au fost apoi analizați pentru a putea determina diferențele dintre temperaturile dezvoltate la nivelul palmelor în cazurile menționate (expunere la vibrații în operații de găurire în diferite materiale).

Astfel, în fig.10 sunt prezentate rezultatele evaluării diferențelor temperaturilor dintre mâna dreaptă și stângă în faza inițială, măsurate la doi subiecți (S1 și S2) cu dimensiuni antropometrice din cele două categorii de percentile (50 și 95).

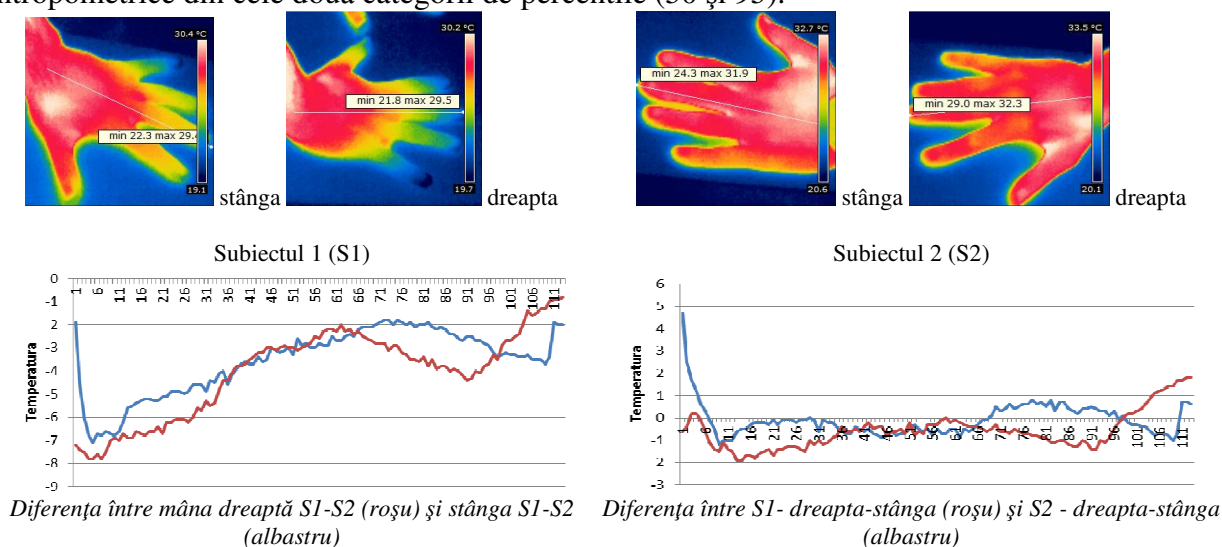


Fig.10. Variația inițială a diferențelor temperaturilor de la cele două mâini ale subiecților S1 și S2 [5]

Experimentul a fost completat de măsurarea temperaturii integrale a corpului uman după ce acesta a fost supus la un program de inducere a vibrațiilor în întreg organismul subiecților cu ajutorul plăcii *Intersport*. Aceste imagini relevă o variație medie de $+1,3^{\circ}\text{C}$ și la nivelul întregului corp uman ceea ce indică un proces de disipare a căldurii degajate în timpul acțiunii cu mașina de găurit.

În fig.11 sunt prezentate imaginile termografice ale suprafețelor palmare după expunerea la vibrații prin găurirea unor materiale diferite (lemn, beton).

Studiul gradientului termic dezvoltat la nivelul membrilor superioare în cazul inducerii efortului controlat

După efectuarea tuturor înregistrărilor termografice ale palmelor aflate în contact cu utilajul folosit pentru inducerea stării de vibrație (găurire cu același utilaj în materiale precum lemn, beton pe durate de 5 minute fiecare) se realizează analiza variației gradientului termic pentru cei doi subiecți, în aceleași zone de pe suprafața palmară (fig.12-13)

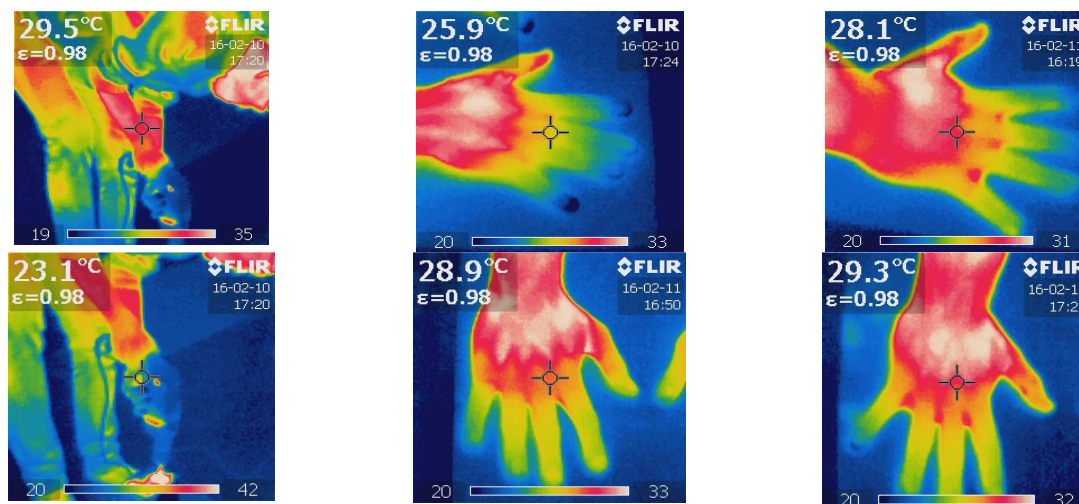


Fig.11. Imagini termografice ale procesului de găurire și al disipării temperaturii pe suprafața palmară [5]

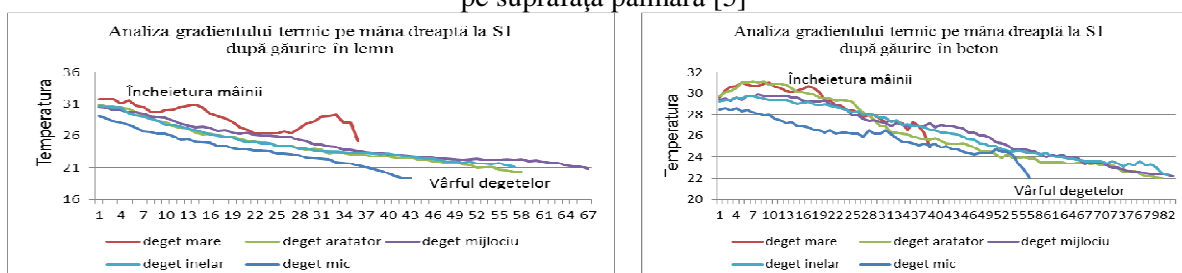


Fig.12. Variația termică la nivelul degetelor mâinii drepte la subiectul S1, după operația de găurire în lemn și beton

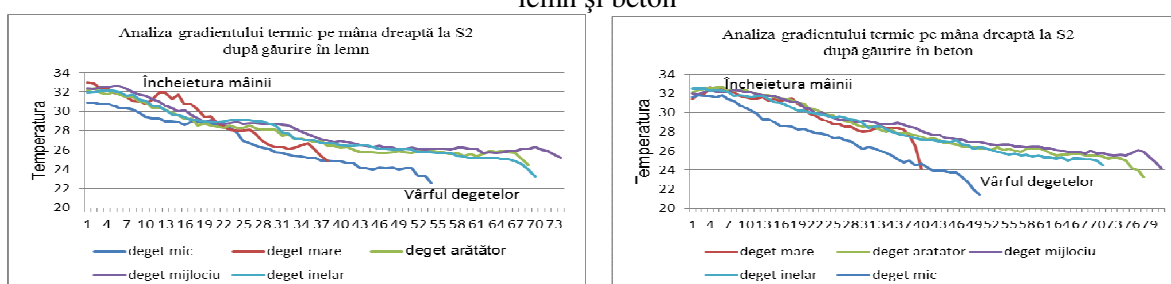


Fig.13. Variația termică la nivelul degetelor mâinii drepte la subiectul S2, după operația de găurire în lemn și beton [5]

Din analiza datelor înregistrate pentru subiectul 1 se observă o diminuare puternică a temperaturii, cu 30,2%, în zona vârfului degetelor mai ales la operația de găurire în lemn, față de temperatura la nivelul zonei centrale a palmei. Aceeași tendință de scădere a temperaturii în zona degetelor se observă și la operația de găurire în beton, dar procentul este mai mic, de doar 23,9%. Subiectul S1 are o constituție antropometrică cuprinsă în percentilele 50 ceea ce poate implica o sensibilitate mai mare la efort. Dar prin inducerea unei stări de efort prin

inducerea vibrațiilor obținute de la mașina de găurit se observă această tendință de reacție la nivelul mâinii ca o scădere puternică a temperaturii la extremitățile membrelor superioare, în ambele cazuri de utilizare a materialelor. Spre deosebire de acest subiect, la cel de al doilea, încadrat din punct de vedere al dimensiunilor antropometrice în percentilele 95, această diferență de temperatură (degete, încheietură) scade la 23,1% în cazul utilizării inducerii efortului vibrațional în lemn și respectiv la 18,8% în cazul utilizării ca material de găurire betonul. Aceste valori indică o reacție mai bună a acestui subiect față de efectul mașinii de găurit, ce a fost utilizată în aceleași condiții și cu aceleași materiale ca și în cazul primului subiect. În același context este de remarcat, diferența dintre cele două variații de temperatură la același subiect atunci când utilizează materiale diferite (6,3% în cazul subiectului S1, față de 4,3% în cazul subiectului S2).

Aceste variații procentuale de temperatură determină, în timp și în funcție de constituția antropometrică a subiectului, o diminuare a sensibilității de manevrare, o posibilă instalare de patologii datorate oboselii profesionale și respectiv instalarea de sindroame specifice acțiunii vibrațiilor („degete albe” sau chiar rupere de articulații). Încă un fapt extrem de important este faptul că la ambii subiecți s-a identificat aceeași formă de evoluție (scădere) a gradientului de temperatură, de la încheietură spre vârful degetelor. Prin urmare s-a constatat necesitatea utilizării mănușilor de protecție pentru mâini, chiar dacă subiecții fac parte din categorii antropometrice diferite sau desfășoară activități complexe, în poziții statice. [9,10] Analiza viitoare a acestui proces va pune în evidență această formă de protecție necesară în activități de lungă durată.

Referințe

- [1] Baritz M. et al, Raport „Dezvoltarea unui sistem de analiză bio-comportamentală a factorului uman în raport cu stimulii externi. Managementul interacțiunilor dintre factorul uman și mediul de acțiune în vederea optimizării conexiunilor active și pasive”-POSDRU/159/1.5/S/134378, 2014;
- [2] <http://www.scrigroup.com/sanatate/Notiuni-fundamentale-de-anatom61631.php>, accesat 01.02.2016;
- [3] <https://www.dh.aist.go.jp/database/properties/a/index-e.html>, accesat 01.02.2016;
- [4] O'Rahilly R., Müller F., Carpenter S., Swenson R., “Basic Human Anatomy - A Regional Study of Human Structure”<https://www.dartmouth.edu/~humananatomy/index.html>, accesat 01.02.2016;
- [5] Arhivă personală de imagini, fotografii și date experimentale;
- [6] *Curs de biomecanică- Master*, Universitatea din Craiova, Facultatea de Educație Fizică și Sport, 2016;
- [7] Birglen L., Gosselin Cl. M., “Kinetostatic Analysis of Underactuated Fingers”, The IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, Vol. 20, No. 2, April 2004;
- [8] Universitatea Politehnică București, Raport științific și tehnic - An intelligent haptic robot glove for the patients suffering a cerebrovascular accident, Contract nr.150/2012, etapa I, 2012;
- [9] Barbu, D.M. Modeling of the Seated Human Body in a Vibrational Medium, Applied Mechanics and Materials, Volume 658, 2014; ISBN 978-303835271-6, ISSN 16609336; pp. 401-406.
- [10] Barbu, D.M. Proposal model for human body behavior in a medium polluted by vertical vibrations, Acta Electrotehnica, vol. 48, nr. 4, 2007; ISSN 1841-3323; pp. 445-448;