

STUDIUL PRIVIND MODELAREA DIGITALA A OPERATORULUI UMAN PENTRU ANALIZA SI PROIECTAREA PROCESELOR DE MUNCA

POPESCU Silvia-Emilia¹

Conducător științific: Conf.dr.ing. Alexandru ARMEANU

REZUMAT: Studiul privind modelarea digitala a operatorului uman in proiectarea proceselor de munca este o cercetare ce are ca scop, pe de-o parte, evidentierea necesitatii acestei solutii ca si mijloc de analiza in stadiul de concepie/ proiectare produs, iar pe de alta parte relieffarea eficacitatii sale, precum si a diversitatii de aplicabilitate pe diferite domenii, respectiv pe stadii de viata ale produsului. In egala masura, in particular, studiul se focalizeaza asupra problemei de acces a operatorului uman in cazul schimbarii unui bec de proiector la un automobil in stadiul „after sale” din ciclul de viata al produsului, dar si conditia generala „after sale” de accesibilitate libera a operatorului uman la dopul de umplere cu ulei al motorului

CUVINTE CHEIE: modelare digitala, operator, proces de munca, CAD

1 INTRODUCERE

Modelare și simulare, notata prescurtat in literatura de specialitate „M&S” a devenit un instrument important în toate domeniile științifice. Modelarea se referă la reprezentarea unui sistem/ model de simulare, în timp ce simularea se refera la reproducerea cat mai fidela a funcționarii in conditii reale a unui sistem, prin utilizarea modelului conceput în cadrul unui sistem particular de interes [1]. Acest tip de modelare și simulare sunt efectuate în mediu virtual (VE) care reprezinta mediul grafic 3D generat de computer în care se pot realiza diverse tipuri de activități de modelare și simulare care sa faciliteze diversele analize si masuratori [2]. Beneficiul primar adus de utilizarea M&S în mediul grafic 3D generat pe calculator este capacitatea de a efectua investigații detaliate fara a construi un prototip fizic.

Modelarea și simularea digitala a operatorului uman a devenit o metoda de actualitate cu utilizare la scara larga si un important instrument de analiza si solutionare în mai toate domeniile de activitate ce implica utilizarea operatorilor umani cu respectarea conditiilor de ergonomie aferente impuse.

Modelarea digitala umana și simularea (DHMS) se referă la reprezentarea digitală a omului intr-o maniera cat mai fidela cu realitatea care sa fie utilizata într-o simulare in mediul virtual pentru a facilita analizele, masuratorile, constatarile de posibile neconformitati, respectarea regulilor de securitate impuse și / sau de performanță [3]. Mai mult, modelarea digitala umana poate face referire și la procedura de constructie/ creare sau proiectare a unui model virtual uman (cunoscut sub numele "manechin digital").

2 STADIUL ACTUAL

In prezent, modelarea digitala a operatorului uman se face în scopul studiului, proiectarii si respectarii conditiilor ergonomice.

Ergonomia (sau factori umani) este o disciplina stiintifica ce se ocupa cu înțelegerea interacțiunilor dintre oameni și alte elemente ale unui sistem, care aplică teorii, principii, date și metode pentru a proiecta, în scopul de a optimiza bunăstarea oamenilor in posturi de lucru și de a creste performanța globala a sistemului [4]. Practicarea ergonomiei se face in scopul proiectarii și evaluarii sarcinilor pe diverse locuri de muncă, produse, medii si sisteme, pentru a le face compatibile cu nevoile, abilitățile și limitările oamenilor.

Ergonomia fizica aboardea aspecte ce tin de anatomia omului, elemente antropometrice, fiziologice și caracteristici biomecanice (care se referă la compatibilitatea fizică) aplicabile pe domenii de interes ce includ posturi de lucru, manipularea materialelor, mișcări repetitive, legate problema afecțiunile musculo-scheletice, aspecte de securitate și sănătate la locul de muncă, probleme de acces operator uman catre anumite zone ale produsului in procesele de productie sau in „after sale” [4]. Utilizarea mediului virtual ,VE, este extrem de relevanta pentru aplicarea ergonomiei în proiectarea de obiecte / produse [2]. Analizele de ergonomie efectuate în mediul virtual sunt apelate prin notiunea de studiu de ergonomie virtuala. Studiul ergonomiei in fizic se diferentiaza de studiul ergonomiei in virtual si fiecare varianta prezinta avantaje si dezavantaje. Principalul avantaj al modelarii si simularii digitale a operatorului uman in scopul studiului problematicii ergonomiei intr-o zona anume de interes il reprezinta posibilitatea de

¹ Specializarea Inginerie Economica Industriala, Facultatea IMST; E-mail: emilia_199563@yahoo.com;

studiu amont productie, din faza de concepie si proiectare.

In figura 1 este ilustrata diferenta intre analiza de ergonomie in fizic si analiza de ergonomie prin modelare CAD:



Figura 1. Ergonomia fizica si virtuala

3 NECESITATEA MODELARII DIGITALE

Antropometria și caracteristicile biomecanice sunt aspecte ce ar trebui să fie luate în considerare pentru proiectarea unui produs ce se dorește a fi compatibil cu omul, benefic utilizatorilor carora le este destinat; în afară acestora, o serie de alți factori, cum ar fi estetica, mentenabilitatea, durabilitate pot fi analizați.

Locul de muncă ar trebui să reprezinte un spațiu care optimizează activitățile operatorului uman concentrându-se pe compatibilitate, pe asigurarea condițiilor care să favorizeze consumarea unei cantități minime de timp și de energie la locul de muncă proiectat. DHM ajută la evaluarea proactivă a produselor și locurilor de muncă întrucât evaluarea se face în Computer Aided Design (CAD), într-un mediu virtual asistat de calculator.

DHM este folosit pentru o gamă largă de aplicații anume: investigarea și validarea de produse și geometrii la locul de muncă, siguranța și caracteristici funcționale, posturi de lucru, manipularea materialelor, determinarea și trasarea caracteristicilor, vizualizarea auzitor caracteristici, evoluții de activități, probleme de jocuri/proximități și de interferențe, analiza solicitărilor operatorului uman - de compresie și forțele de forfecare care acționează pe segmente lombare, confort și unghiuri comune corp, gama de mișcări ale corpului, stabilitate corp, centrul de greutate al corpului etc.

În prezent, avantajul DHMS constă în capacitatea sa de a înlocui investigațiile și studiile realizate pe machete fizice reale și oameni în scopul evaluării ergonomiei [5]. Prin urmare, sunt înregistrate reduceri semnificative ale costurilor, se asigură posibilitatea repetabilității unei aceleiași simulări, studiile sunt realizate în amont încă din faza de proiectare și dezvoltarea de produs sau de concepere a locurilor de muncă. Cu alte cuvinte, în cazul în care sunt necesare modificări ce trebuie aduse produsului sau adaptări, acestea sunt descoperite în macheta numerică. Asadar acestea se pot face rapid, ușor, fără costuri de rectificarea a utilajelor, fără riscuri și cu eficiență ridicată.

4 SISTEME SOFTWARE EXISTENTE PENTRU MODELARE

Grafica și analiza digitală reprezintă un domeniu al informaticii care acoperă toate aspectele legate de prelucrarea numerică a modelelor 3D și imaginilor utilizând un computer. Termenul corespunzător utilizat este Computer Aided Design (CAD). Grafica digitală este o activitate în care computerul este utilizat pentru sintetizarea, modificarea, stocarea și managementul unor situații care imită cu fidelitate realitatea, precum și pentru prelucrarea informațiilor vizuale obținute din realitatea ce ne înconjoară.

Pentru realizarea modelărilor și simulărilor asistate de calculator de tip CAD, varietatea de soft-uri specializate aparute este foarte mare:

- **ENOVIA** este o platformă 3D de colaborare virtuală și asistență cu soft-uri PDM care permite analiza pe machete numerice dezvoltate, cu vizualizare de înaltă definiție și structurare arborescentă a machetei numerice de simulare;
- **CATIA** este software-ul de inginerie, proiectare, modelare și simulare 3D cel mai utilizat din lume în sistemul CAD;
- **SOLIDWORKS** este lider în industria globală de proiectare 3D asistată de calculator (CAD) care asistă echipele de ingineri și proiectanți pentru a facilita analiza în faza amont a producției;
- **SIMULIA** este un software de simulare realistă și de analiză cu element finit ce conferă posibilitatea simulărilor complexe;
- **DELMIA** este software-ul de modelare a unui mediu virtual de producție pentru optimizarea sistemelor și proceselor;

- **SOLID EDGE** reprezinta o alta optiune soft de studiu prin intermediul modelarii 3D;
- **ERGOMAN** este un soft dedicat exclusiv operatorului uman bazat pe sistemul EUCLID-IS CAD software;

Alte software-uri cu potential de modelare si simulare a operatorului uman in cadrul proceselor de munca, utilizate frecvent sunt: **SafeWork**, **Jack**, si **Ramsis**.

5 EXEMPLE TIPICE DE APLICARE

Utilizarea modelarii digitale a aoperatorului uman s-a extins rapid in toate domeniile tehnice, in domeniile de proiectare produs/ proces, in domeniul medical si al tehnicii medicale, in domeniul militar si al tehnicii militare, in dezvoltarea articolelor sportive (figura 2).

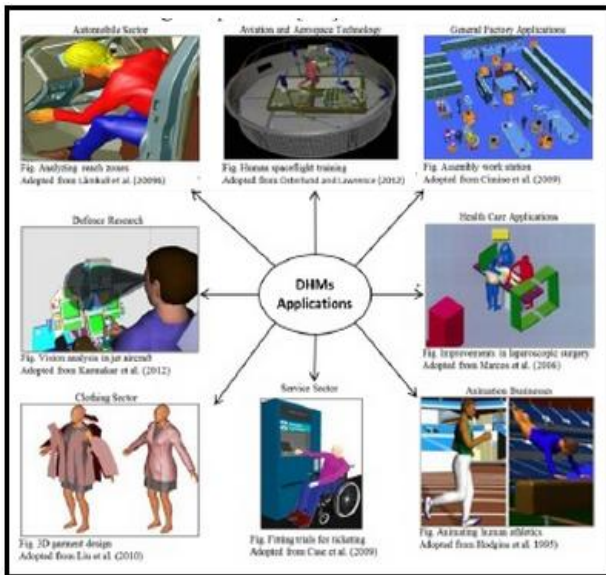


Figura 2. Aplicarea DHM pe diverse domenii

Sfera domeniilor de aplicabilitate este in continua expansiune si evolutie calitativa. DHM tinde sa devina metodologie standard de studiu in faza amont de dezvoltare produs-proces, cu reduceri semnificative la nivel de timp-cost, cresterea eficacitatii prin eliminarea inca din faza de concepie a posibilelor neconformitati ce pot aparea la interactiunea operatorului uman cu produsele in cadrul proceselor de munca (figura 3).

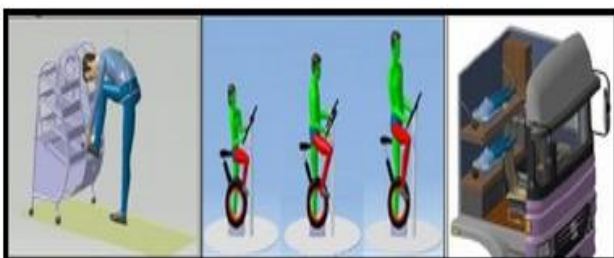


Figura 3. Diversitatea de aplicare

Prin intermediul metodei DHM se poate face studiul ergonomiei la interactiunea om – produs (figura 4), se pot face analize de optimizare, de preintampinare si eliminare a eventualelor erori de concepie produs:

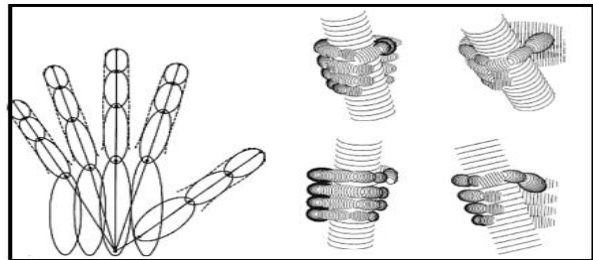


Figura 4. Interactiunea om-produs

Aceste studii pot fi dezvoltate pana la stadiul de analiza de efort si optimizare precum si calculul sollicitarilor umane in timpul actiunilor:

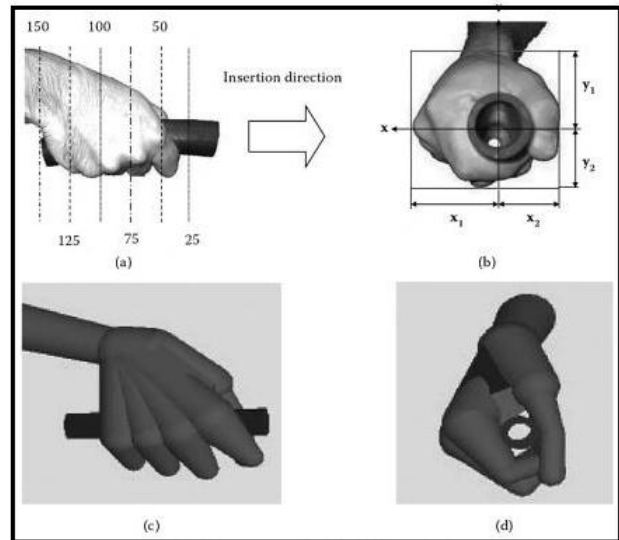


Figura 5. Ergonomia la interactiunea om-produs

In figura 6 care urmeaza este prezentata diagrama de sollicitare ce apare la actiunea simpla de intindere/ strangere a maini:

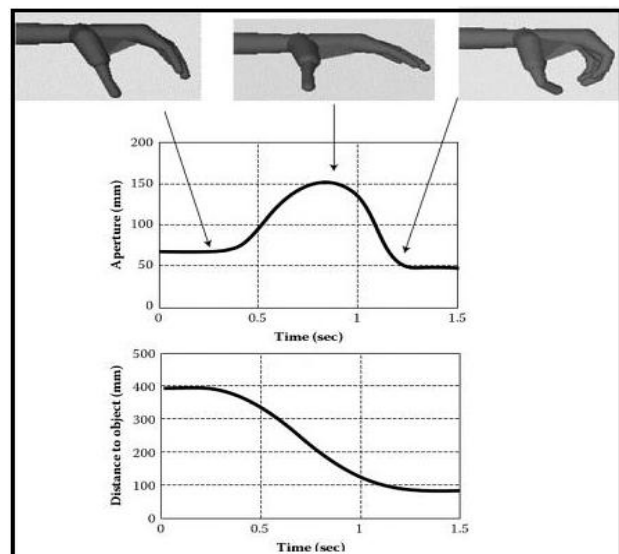


Figura 6. Analiza sollicitarii umane

Utilizarea metodei a devenit extrem de populara si eficienta in domeniul constructiilor auto si de aeronave. In figura 7 este exemplificata sugestiv utilitatea metodei in domeniul auto, atat in faza de proces de productie cat si in faza de „after sale”:

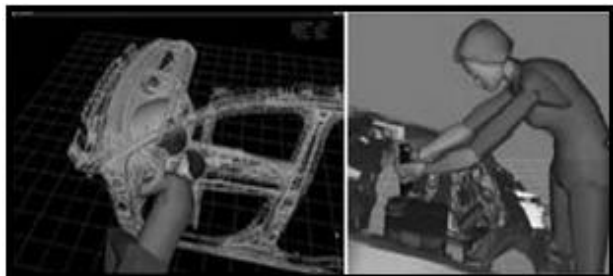


Figura 7. Utilizarea DHM in domeniul auto

6 STUDIUL DE CAZ

Pentru evidentierea utilitatii si eficacitatii metodei DHM, studiul s-a focalizat pe observarea detaliata a unei problematice tipice din gama de proceduri a unui producator din industria auto. Problema in discutie o reprezinta analiza accesului operatorului uman la anumite componente ce necesita manipulari frecvente, respectiv schimbul unor elemente consumabile in „after sale”. In consecinta, au fost analizate beneficiile utilizarii DHM in doua ipostaze frecvente si de mare impact in productia unui automobil din perspectiva respectarii reglementarilor in vigoare (interne producator, generale de piata):

1) Analiza DHM in conceperea produsului far-proiector cu tot ansamblul sau in conditiile in care acesta trebuie sa respecte conditia de acces liber la schimbarea becurilor (elemente consumabile), fara a indeparta alte elemente din environnement-ul automobilului in afara de capacele protectoare ale farului. Studiul presupune analiza pe macheta numerica (in mediul virtual) cu elemente CAD. Astfel, toate elementele care alcatuiesc mediul inconjurator din zona farurilor constituie un ansamblu – macheta numerica si acestea au fost proiectate in prealabil ca piese 3D cu ajutorul software-ului CATIA. Tot prin intermediul acestui program a fost modelata o mana digitala care corespunde medierii rezultatelor masuratorilor antropometrice (corespunde dimensional formei si dimensiunilor mainii unui om obisnuit – figura 8)



Figura 8. Modelare digitala – mana operator

Astfel, utilizand aceasta modelare digitala pentru mana operatorului se face analiza de acces la schimbarea becurilor in mediul constituit de elementele virtuale din vecinatatea proiectoarelor (stanga/ dreapta) si se observa eventualele dificultati/ obstacole (figura 9).

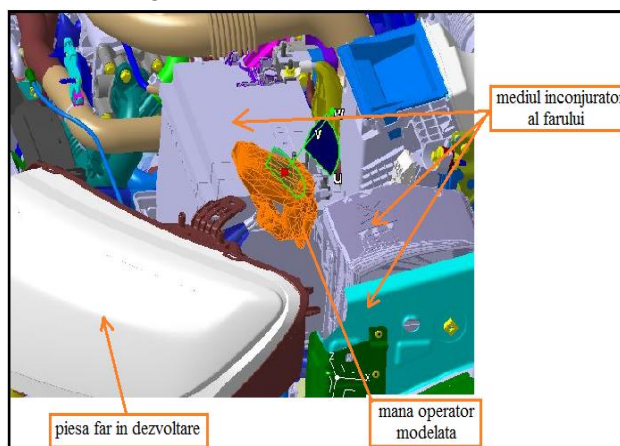


Figura 9. Analiza acces mana operator

Se fac masuratori (figura 10), analize de traictorie pas cu pas (figura 11) si se optimizeaza piesele ce sunt in dezvoltare, respectiv piesele impactate care pot accepta modificari cu costuri minime, pana se ajunge la un aviz favorabil in stadiul de macheta numerica care reprezinta de fapt acordul pentru machetare fizica.

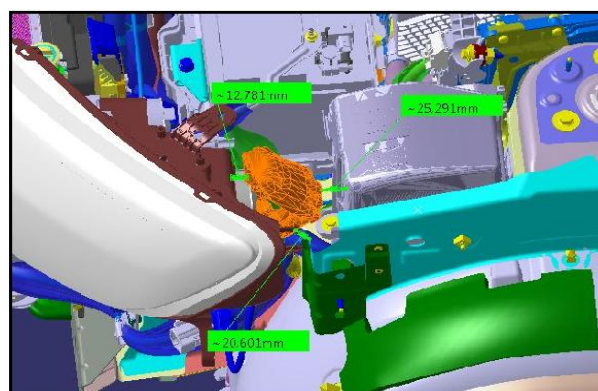


Figura 10. Masuratori cu ajutorul mainii modelate

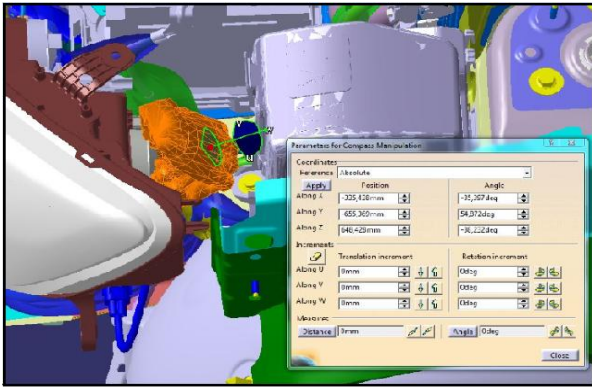


Figura 11. Analiza traictorie pas cu pas

Prin intermediul acestui studiu sunt eliminate costurile generate de prototipuri si machetari fizice, precum si reducerea timpului de validare solutie tehnica finala. Studiul faciliteaza analiza mai multor ipoteze si solutii si alegerea celei optime, fara a realiza modele fizice costisitoare.

2) Al doilea subiect de studiu il reprezinta conditia generala „after sale” de accesibilitate libera a operatorului uman la dopul de umplere cu ulei al motorului si se focalizeaza pe modul de utilizare a metodei DHM si beneficiile acesteia. Ca si in cazul studiului realizat pentru proiector, analiza in cazul manipularii dopului de umplere presupune constituirea environnement-ului compartiment motor cu piese 3D intr-o macheta numerica cu ajutorul software-ului CATIA. Mana este modelata si ea tot cu ajutorul acestui program si este plasata corespunzator in mediul compartimentului motor demarandu-se astfel analiza de conformitate (figura 12).

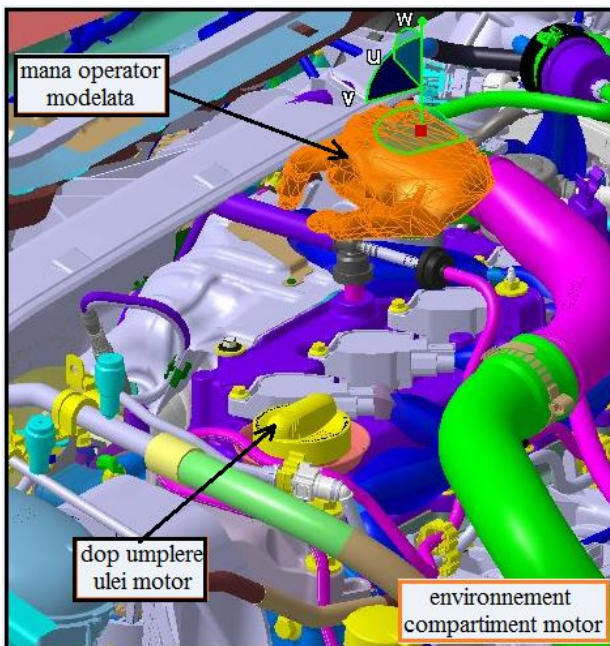


Figura 12. Demarare studiu DHM

Prin intermediul analizei de traictorie pas cu pas (figura 13) sunt verificate: posibile obstacole in

calea mainii catre dop, libertatea miscarilor aferente insurubarii/desurubarii dopului, ergonomia spatiului, pozitia mainii din perspectiva comoditatii.

In continuare se fac masuratori (figura 14), si se optimizeaza piesele ce sunt in dezvoltare, respectiv piesele impactate care pot accepta modificari cu costuri minime in scopul obtinerii avizului favorabil in stadiul de macheta numerica.

In momentul in care in urma analizei DHM realizate in mediul virtual se constata un rezultat favorabil, in conformitate cu conditiile impuse, se obtine acordul pentru machetare fizica.



Figura 13. Analiza traictorie pas cu pas

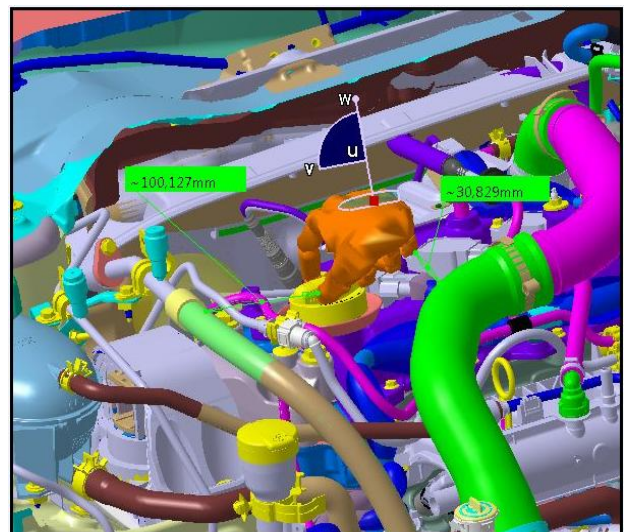


Figura 14. Masuratori cu ajutorul mainii modelate

Utilizarea metodei DHM in cadrul acestui studiu a determinat reducerea timpului de validare solutie tehnica finala, reduceri de costuri, a facilitat analiza mai multor ipoteze, posibilitati si solutii simultane cu alegerea celei optime, fara a realiza modele fizice.

7 CONCLUZII

Modelarea și simularea digitala a operatorului uman a devenit o metoda de actualitate cu utilizare la scara larga. Ea reprezinta un important instrument de analiza si solutionare în mai toate domeniile de activitate ce implica utilizarea operatorilor umani.

Metoda DHM se face în conformitate cu datele antropometrice culese prin masuratori pe esantioane de oameni cu medierea rezultatelor. Studiile recente acorda o mare importanta problemelor legate de acordarea timpului necesar pentru a măsura corpul uman în fiecare postură, și de a stoca datele obținute la efectuarea fiecărei masuratori.

Statisticile contemporane arată că analizele ergonomice bazate pe simularea mișcărilor umane în cadrul proceselor de munca genereaza rezultate mai precise, analizele sunt mai eficiente si au costuri mult mai mici decât cele bazate exclusiv pe studiul pe model fizic.

Prin mijloacele oferite de software-urile actuale specializate în acest domeniu pot fi folosite mișcări umane proiectate pe calculator ca sursă de a conduce interacțiunea virtuală dintre manechinul digital om și mediul de lucru virtual, precum și aplicarea modelelor ergonomice de analiză dinamică (de exemplu, clasificarea model a riscurilor unui proces de munca poate fi realizata pe baza unei astfel de simulari virtuale).

În ciuda rezultatelor pozitive ale metodei DHM, anumite limitări sunt încă evidente și trebuie să fie abordate: de exemplu, modelele prezentate pot fi aplicate numai la un model specific de interes. Mai mult, în afara de respectarea măsurării diferitelor părți ale corpului omenesc și a raportului dintre acestea trebuie sa tinem cont, de asemenea, de parametrii de mediu si de influentele acestora asupra modalitatilor de mișcare ale operatorului uman.

Prin intermediul studiului bazat pe modelarea digitala a operatorului uman sunt eliminate costurile generate de prototipuri si machetari fizice, este redus timpul de validare solutie tehnica finala. Studiul faciliteaza analiza mai multor ipoteze si solutii si alegerea celei optime, fara a realiza modele fizice costisitoare.

În esenta, DHM implică un studiu amanuntit, o planificare riguroasa, o proiectarea detaliata, iar mai apoi utilizarea interfețelor între operator si mediul de lucru. DHM a fost definit ca o disciplină ce are ca scop proiectarea, evaluarea și punerea în aplicare a sistemelor de calcul interactive ale operatorilor umani cu studiul fenomenelor majore care îi înconjoară.

8 BIBLIOGRAFIE

► Armeanu, A., *Curs Ingineria Proceselor de Muncă*.

► [1] A. Maria, "Introduction to modeling and simulation", *Proceeding of the 29th conference on winter simulation*, IEEE Computer Society, 1997, 7-13.

► [2] J.R. Wilson, "Virtual environments applications and applied ergonomics", *Applied Ergonomics*, 30(1), 1999, 3-9.

► [3] H.O. Demriél and V.G. Duffy, "Digital human modeling for product lifecycle management", *Proceeding of 1st international conference on Digital Human Modeling*, Beijing, China, 2007, 372-381.

► [4] IEA-2014, "Definition and domains of ergonomics", <http://www.iea.cc/whats/index.html>, 2014. Accesat la data:05.12.2014.

► [5] D. Chakrabarti, "Indian anthropometric dimensions for ergonomic design practice", *National Institute of Design*, 1997.

► http://www.google.ro/books?hl=ro&lr=&id=Ira9qiakiTMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=digital+human+body+modeling+for+industrial+processes&ots=V9oKqF5q3Y&sig=sCK5yHx63mcn7FFocMCKsWVhuuQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
Accesat la data:10.12.2014.

► <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hfm.4530010206/abstract>
Accesat la data:12.12.2014.

► http://www.readcube.com/articles/10.1002%2Fhfm.4530010206?r3_referer=wol&tracking_action=preview_click&show_checkout=1
Accesat la data:15.12.2014.