Cuprins

Editorial ARoENd
Anton Coroianu, preşedinte executiv 2

CERCETĂRI • STUDII • APLICAŢII

Senzor de evaluare nedistructivă utilizând arhitecturi semiregulare cu ligamente foldabile
Nondestructive testing sensor using semiregular architecture with folding ligaments
Nicoleta Iftimie*, Rozina Steigmann, Gabriel Silviu Dobrescu, Adriana Savin
Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică Tehnică, , Iași, Romania, niftimie@phys-iasi.ro..... 3

Controlul calității în fabricarea aditivă prin tomografie industrială
Quality control in additive manufacturing by industrial tomography
Dr. Ion TISEANU*, Dr. Mihail LUNGU, Drd. Ioana POROSNICU, Drd. Cosmin DOBREA, Drd. Adrian SIMA, Dr. Andrei POPESCU**, Dr. Diana CHIOIBASU
* Laboratorul de microtomografie de raze X http://tomography.inflpr.ro, e-mail: ion.tiseanu@inflpr.ro
** Institutul Naţional pentru Fizica Laserilor, Plasmei şi Radiaţiei (INFLPR), Bucureşti, România http://cetal.inflpr.ro 8

Evaluarea corectă a reflectorilor cu dimensiuni mai mici decât lungimea de undă
Correct sizing of reflectors smaller than one wavelength
Teodor Trancă, DIAC Servicii SRL 17

Utizarea simulărilor software pentru proiectarea radioprotecţiei sistemelor de scanare
Software simulation for designing radioprotection of scanning systems
Nicuşor Bîrsan, Doru-Petru Munteanu, Emil Studineanu, Ovidiu Popovici, Constantin Sima, Anton Coroianu, MB Telecom Ltd SRL *nicusor.birsan@mbtelecom.ro* 23

INFORMAŢII • ŞTIRI • OPINII

INFLUENŢA LUMINOZITĂŢII ŞI A CONTRASTULUI ASUPRA EXAMINĂRILOR NEDISTRUCTIVE
HOW BRIGHTNESS AND CONTRAST IMPACT NDT INSPECTIONS
* Emily Gibbons, Marketing Manager MAGNAFLUX, ** Florin Tricorache – Director General SC TEST TRADING Srl, www.ndt-test-trading.ro 31

ASPECTE CRITICE ALE PRACTICII CU TEHNICA RADIOGRAFIEI COMPUTERIZATE
CRITICAL ASPECTS OF PRACTICES WITH COMPUTER TOMOGRAPHY TECHNIQUE
Vrapciu Dorian-Mugurel, RT-3/SNT TC-1A, Total Control SRL, mugurel@tcontrol.ro 37

PREZENTAREA SC DYOMEDICA CND SRL, NOU MEMEBRU SUSŢINĂTOR AL AROEND
SC Dyomedica CND SRL, new supporting member AROEND 42

Verificaţi-vă cunoştinţele din CND - Examinarea radiografică
Check your knowledge from NDT - Radiographic testing RT 44

Comunicate ARoENd 46

EDITORIAL ARoENd

Asociația Română de Examinări Nedistructive (ARoENd), hotărâtă să continue tradiţia de promovare şi încurajare a pregătirii profesionale şi a schimbului de experienţă a membrilor AroENd, a organizat Simpozionul ARoENd, Ediția XXVI, în perioada 12-14 iunie 2019 la Mamaia, județul Constanţa, corelat cu expoziţia furnizorilor de top a echipamentelor, aparatelor, accesoriilor şi consumabilelor tuturor metodelor de examinări nedistructive. În cadrul simpozionului au fost prezentate noutăţi tehnologice şi tehnici de examinări nedistructive, rezultatele cercetărilor în domeniul NDT, ale utilizatorilor, producătorilor şi furnizorilor de echipamente, aparate şi materiale utilizate în examinările nedistructive. A fost organizată o masă rotundă ARoENd - CNCAN cu participarea reprezentativă a managementului CNCAN, unde s-au prezentat noul proiect de *Norme de securitate radiologică privind desfăşurarea practicii de control nedistructiv cu radiaţii ionizante* elaborat de CNCAN și punctul de vedere al AroENd, urmate de discuţii şi dezbateri. Programul Simpozionului și prezentările susţinute se regăsesc la https://www.aroend.ro/images/docs/ProgramSimpozionARoENd2019.pdf

În acest an au fost adoptate două documente importante pentru activitatea asociaţiei: *Valorile și principiile ARoENd* http://www.aroend.ro/images/docs/ValorilesiprincipiileARoENd.pdf si *Codul de etică al membrilor ARoENd*, http://www.aroend.ro/images/docs/CoduldeEticaalARoENd.pdf, care preia modelul EFNDT și completează codul de etică al personalului certificat de ARoENd.

În 12.06. 2019 a fost organizată adunarea generală a membrilor ARoENd pentru alegeri parţiale de completare a Comitetului Director (CD) și a Președintelui Executiv. Pe coperta 2 a revistei este prezentată noua structură a conducerii ARoENd.

În conformitate cu Art.4 din Statutul ARoENd, scopul de promovare de către toţi membrii asociaţiei a normelor naţionale şi internaţionale de protecţia muncii, igienei şi de protecţie a mediului înconjurător și cu Art.5 de organizare a instruirii şi formării personalului pentru examinări nedistructive (prin cursuri teoretice, instruiri practice etc) în conformitate cu prevederile reglementărilor naţionale şi internaţionale în domeniu, s-a organizat în 20.08.2019 împreună cu CNCAN un „ *Curs de intervenție în situații de urgență radiologică*” la care au fost instruiţi 58 de participanţi http://www.aroend.ro/ro/noutati/163-cursul-comun-aroend-cncan-din-20-08-2019 .

Departamentul de Certificare al ARoENd, organism independent de certificare a personalului, acreditat conform standardului SR EN ISO/CEI 17024:2012 să certifice personalul în examinări nedistructive, conform standardului SR EN ISO 9712:2013 a demarat un proces de revizie a procedurilor sistemului de management al calităţii în vederea optimizării activităţii și completare cu regulamente specifice care să asigure tratarea uniformă și echitabilă a solicitanţilor de certificări și să reducă birocraţia și timpii de procesare a cererilor de certificare și recertificare. Regulamentul de aplicare a tarifelor de certificare al Departamentului de Certificare ARoENd a fost actualizat http://www.aroend.ro/ro/certificarea/tarifele-de-certificare.

În acest an, până la 31.07.2019, au fost certificate/recertificate 90 de persoane în domeniile ultrasunete, radiaţii penetrante, lichide penetrante, curenţi turbionari, vizual şi magnetoscopie. Lista actualizată a persoanelor certificate se găseşte la http://www.aroend.ro/images/docs/Persoane%20certificate%2001_08_2019.pdf

Trei întreprinderi recunoscute cu activitate naţională în examinări nedistructive au devenit in 2019 membri susţinători ai ARoENd. Siglele membrilor susţinători ARoENd se regăsesc pe coperta a 3-a interioară a revistei.

A fost demarat un program de completare a dotărilor Departamentului de Certificare al ARoENd cu aparatură nouă, etaloane și standarde de examinări nedistructive actualizate.

Pregătirea continuă a personalului de examinări nedistructive este o datorie a fiecăruia și ne propunem, ca organizaţie profesională, să elaborăm un program de monitorizare a acesteia pe care să-l supunem dezbaterii membrilor ARoENd. De asemenea militäm pentru întărirea colaborării cu autorităţile de reglementare în domeniile specifice de examinări nedistructive și prezentarea în paginile revistei de Examinări Nedistructive a acestor aspecte.

Preocuparea de bază a CD - ARoENd este atragerea tinerilor specialişti în examinări nedistructive ca membri activi ai ARoENd şi implicarea în activitatea curentă a asociaţiei.

Preşedinte Executiv
Dr. ing. Anton Coroianu

CERCETĂRI • STUDII • APLICAŢII

SENZOR DE EVALUARE NEDISTRUCTIVĂ UTILIZÂND ARHITECTURI SEMIREGULARE CU LIGAMENTE FOLDABILE

NONDESTRUCTIVE TESTING SENSOR USING SEMIREGULAR ARCHITECTURE WITH FOLDING LIGAMENTS

Nicoleta Iftimie*, Rozina Steigmann, Gabriel Silviu Dobrescu, Adriana Savin
Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică Tehnică,
Blvd D. Mangeron Nr. 47, Iași, Romania, niftimie@phys-iasi.ro

Abstract

This paper presents the results obtained at the electromagnetic testing using a structure in a semiregular arrangement with "exotic" behavior. The CAD/CAM models of reconFig. ble folding architecture were designed in the multiple flat unit cells structure considering that the kinematics of a structure with ligaments is function of the angle in the XY horizontal plane. It was followed in response to the modification of the architecture and the size of the structure, their response to the interaction with the electromagnetic field. The simulation of the operation of the wavelength excitation process, first realized theoretically using the Finite Difference Time Domain (FDTD) method, was performed using specialized XFDTD software.

1. Introducere

Au fost dezvoltate arii de senzori, suprafețe cu frecvențe selective (FSS), antene reconfigurabile și alte dispozitive de radio-frecvență [1], deoarece au avantaje față de dispozitivele standard cum sunt: comutatoare în bandă și reglarea frecvenței [2,3], direcția fasciculului [4], reglarea polarizării [5] și multe alte funcții necesare în sistemele de comunicații wireless.

Arhitectura semiregulară cu senzori electromagnetici cu metamaterial (MM) este utilizată pentru a realiza microstructuri complexe prin micro-asamblare și pentru a crea structuri 3D. Acestea se obțin din subseturi de fețe paralelipiped rigide, cu ligamente la vârfurile care conduc la geometrii pliabile, cu proprietăți speciale, care intră în categoria MM [6]. În structurile pliabile, coeficientul Poisson este definit ca raportul negativ al tensiunii elastice în direcția normală a sarcinii aplicate. În momentul întinderii, coeficienții negativi Poisson se extind în direcția perpendiculară pe sarcina aplicată. Pe baza teoriei elasticității, coeficientul Poisson pentru un material elastic izotropic liniar este limitat [7]. Valoarea coeficientului Poisson pentru materialele anisotrope elastice nu este limitată. Structurile pliabile sunt anisotrope, deformarea având loc datorită plierii și deplierii. În structurile pliabile, (în majoritatea parametrilor geometrici ai arhitecturii), coeficientul Poisson poate depăși limita materialelor izotrope [8]. Antenele reconfigurabile sunt proiectate modificând direct geometria antenei. În ref. [9], este prezentată o antenă elicoidală reglabilă, care folosește un aliaj cu memoria formei plasat paralel cu antena pentru a controla înălțimea antenei, dar prezintă o distorsiune geometrică atunci când sunt alungite sau comprimate și nu pot fi comprimate eficient. În ref. [10], o antenă monopol este transformată într-o antenă patch cu ligament, dar astfel de ligamente nu pot garanta continuitatea elementului de antenă. O structură pliabilă pentru înmagazinarea energiei a fost dezvoltată și implementată cu succes pe baza unui model care ar putea fi pliat rigid, fără a îndoi niciunul dintre patrulaterele din schema de pliere [11]. O suprafață cu frecvență selectivă pliabilă a fost, de asemenea, introdusă în ref. [12], care cuprinde elemente periodice dispuse pe o folie dielectrică. Prin plierea și desfășurarea FSS, frecvența de rezonanță se schimbă.

În evaluarea neinvazivă a materialelor, o undă electromagnetică (EM) este generată, direcționată către structura interogată și detectată după ce s-a propagat în structură. Propagarea este afectată de proprietățile materialului (densitate, atenuare, viteza de propagare); condiții de mediu (încărcare mecanică, condiții de frontieră, tensiuni remanente, dislocații); condițiile de măsurare (locația și dimensiunea senzorului, sensibilitatea, frecvența de interogare). Determinarea stării unui eșantion prin examinare nedistructivă folosind recunoașterea modelului constă în trei etape de bază: generarea și

procesarea datelor, selectarea datelor inspectate și determinarea stării eșantionului din caracteristicile selectate.

2. Principiul teoretic și construcția arhitecturii semiregulare

Pornind de la conceptul de structură flexibilă semirigidă pentru studiul proprietăților mecanice ale materialelor, folosind arhitectura descrisă în ref. [13], se pune întrebarea dacă această structură ar putea fi utilizată la construcția unui senzor electromagnetic pentru evaluarea nedistructivă a materialelor [14]. Cinematica arhitecturii semiregulare este o funcție a unghiului în planul orizontal xy. Limitările se aplică pentru a simula condiții similare în arhitectură și creează un mecanism de grad de libertate planar (GDL). Pentru a elimina mișcările rigide asociate cu translația și rotirea GDL, toate punctele de translație GDL sunt constrânse și se presupune că muchiile AB și BC ale fațetei se mișcă în planul xy și proiecția lungimii AD rămâne de-a lungul axei x. Se definesc

$$l = a\frac{\cos\alpha}{\cos\phi} \quad \text{și} \quad w = 2b\sin\phi \tag{1}$$

unde l este lungimea proiectată a muchiei a în planul xy în direcția x; w este lățimea structurii pliate în planul xy de-a lungul direcției y, unghiurile α sunt definite în Figura 1. Coeficientul Poisson din planul acestui sistem este

$$\nu_{wl} = -\frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_w} = -\frac{dl/l}{dw/w} = -tg^2\phi \tag{2}$$

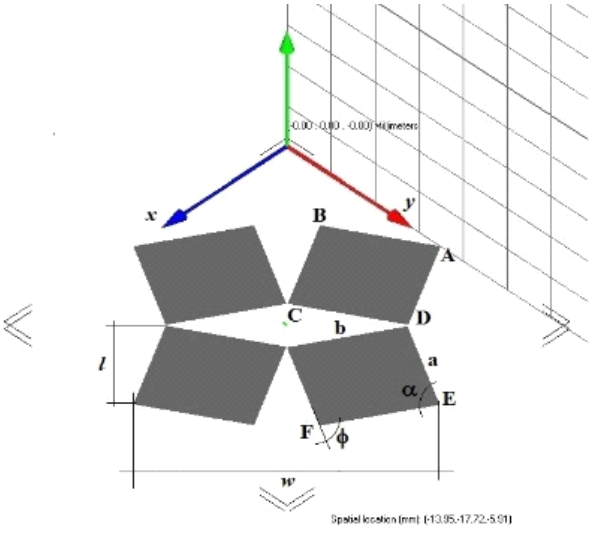


Fig. 1. CU a arhitecturii semiregulare.

Este demonstrat faptul că cinematica depinde numai de unghiul ϕ. Într-o celulă unitate (CU) care conține două fețe în formă de V, lungimea b până la a/n a celeilalte forme V este scalată păstrând capacitatea de pliere și de depliere. Se creează CU cu două forme V cu același unghi ϕ. Pentru $n = 2$, CU are un mecanism planar astfel încât constrângerile conduc la un GDL ideal. Aceasta îndeplinește condițiile pentru obținerea cinematicii formei V.

Astfel, coeficientul Poisson în planul obținut, luând în considerare lungimile proiectate ale celulelor pliabile, v furnizează informația că acele componente care au v_f identic pot fi conectate pentru a obține structuri de pliere și deformare cu caracteristici MM.

Coeficientul Poisson este

$$\nu_{wl} = -\frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_w} = -tg^2\phi\,\frac{\dfrac{2nm_1}{m_1(n-1)+1}\dfrac{a}{b}\cos\alpha - \cos^2\phi}{\dfrac{2nm_1}{m_1(n-1)+1}\dfrac{a}{b}\cos\alpha + \cos^2\phi} \tag{3}$$

pentru $n = 2$ (se știe că pentru $n = 1$ avem v_f). S-a luat în considerare o singură CU, astfel, $m_l = 1$ și $n = 2$. Figura 2 prezintă coeficienții Poisson calculați pentru diferite unghiuri α după ec. (3).

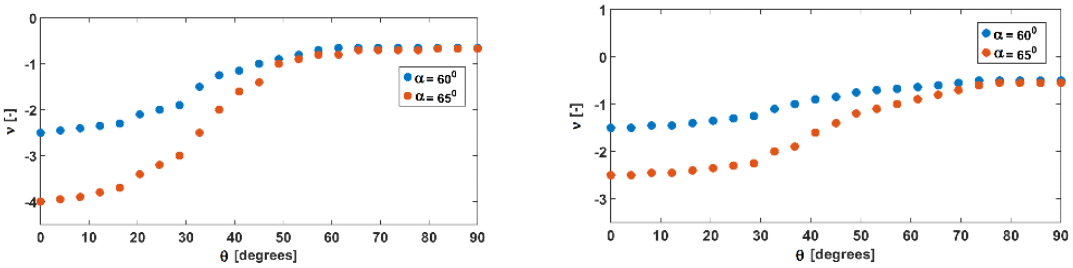


Fig. 2. Coeficientul Poisson calculat: (a) pe baza cinematicii; (b) pe baza lungimii

3. Simulări și rezultate

Pentru modelarea senzorilor s-a pornit de la analiza unei CU ca un întreg, luând in considerare o arhitectură semiregulară. Prezența metamaterialului are scopul de a focaliza câmpul, considerând aspectele tehnice legate de realizarea unui senzor inteligent cu metamaterial, și anume masca, selecția materialelor (comportamentul a fost simulat luând în considerare tensiunile și expansiunea care poate să apară). Modelarea matematică s-a realizat utilizând funcția Green diadică și metoda integralei de volum pentru o celulă unitate având formă rectangulară. Sursa de curent creează un câmp care are o structură complexă datorită geometriei prezentate in Figura 1. Un dipol Hertz este plasat la o distanță egală cu distanța focală a senzorului care va genera la distanțe mai mari decât distanța focală, același tip de câmp, deci un front de undă sferică.

Comportamentul structurii a fost simulat într-un soft FDTD, utilizând 256x256 armonici spațiale. Se observă că prezența unei surse in front cu CU va excita unda electromagnetică la frecvența de 492MHz fără ca structura să fie supusă la tensiuni mecanice, având abilitatea de a focaliza câmpul după o scanare. După deformare cu o tensiune de 50% se observă capacitatea de a focaliza a arhitecturii fără a se modifica parametrii. In Figurile 3a) și b) sunt prezentate răspunsurile CU excitate cu unda electromagnetică la frecvența de 492MHz.

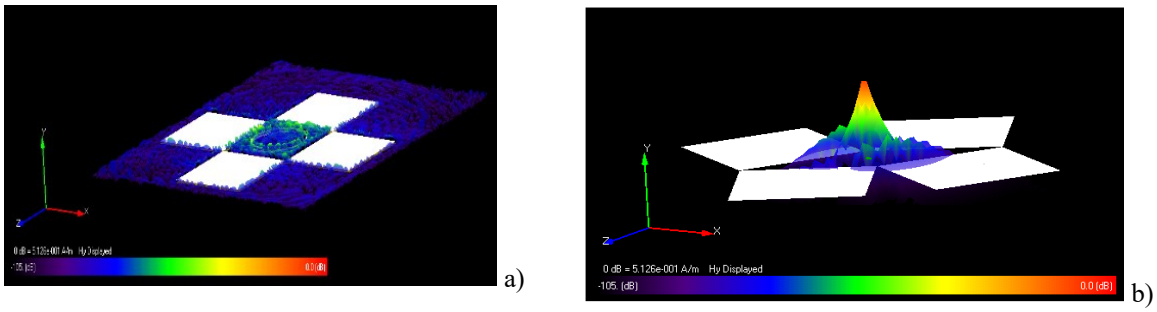
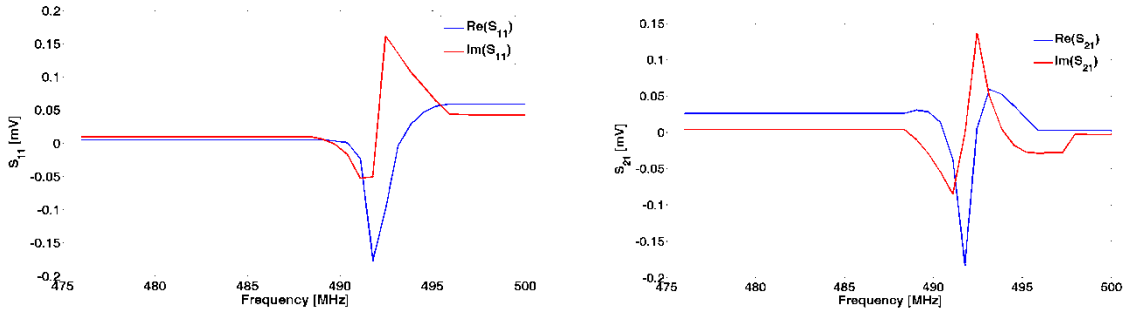


Fig. 3. Rezultatele simulării pentru o CU: a) nedeformată ; b) deformată.

Parametrii S ai structurii au fost determinați utilizând Kit-ul S-parameter al Network/Spectrum/Impedance Analyser Agilent 4395A. Metoda de abordare este a unei rețele cu două porturi, schema echivalentă fiind văzută ca un cvadrupol [15].

Coeficientul de transfer al sistemului este uniform fără a ține cont de distanța de transfer din intervalul de lucru. Parametrii S au avantajul unei măsurători relativ simple în raport cu alți parametri care caracterizează cvadrupolul, având o relevanță fizică deosebită la efectuarea acestor tipuri de măsurători [16].

Fig. 4. Montajul experimental



a) b)

Fig. 5. Parametrii S pentru CU a unei arhitecturi semiregulare: a) S_{11}; b)S_{21}

Rezultă că, prin măsurarea parametrilor S, se poate determina permitivitatea dielectrică a arhitecturii semiregulare, precum și permeabilitatea magnetică a unui circuit electric care nu conține nici o componentă din materiale ferromagnetice.

4. Concluzii

Într-o arhitectură semiregulară 1D, undele evanescente apar în zonele dintre CU constituiente (goluri) atunci când structura este excitată cu o undă electromagnetică discretă sinusoidală. S-au obținut două valori diferite pentru coeficientul Poisson în plan, cinematica arhitecturii semiregulare și lungimea arhitecturii ca un întreg de CU multiple. Utilizând un cod numeric bazat pe metoda funcției Green dyadice și FDTD integrala pe volum, comportamentul unei arhitecturi semiregulare a fost simulat demonstrând capabilitatea de a focusa răspunsul câmpului electromagnetic al materialelor implicate în testarea nedistructivă.

Mulțumiri

Această lucrare a fost susținută de Ministerul Educației și Cercetării prin Proiectul PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0239/60PCCDI 2018, Proiectul 11 PFE/2018 și Program Nucleu PN 19280102.

BIBLIOGRAFIE

[1] Gregory MD, Werner DH 2015 Application of the memristor in reconfigurable electromagnetic devices IEEE Antenn Propag M 57(1) 239-48

[2] Peroulis D, Sarabandi K, Katehi LP 2005 Design of reconfigurable slot antennas IEEE T Antenn Propag

53(2) 645-54
[3] Rajagopalan H, Kovitz JM, Rahmat-Samii Y 2014 MEMS reconfigurable optimized E-shaped patch antenna design for cognitive radio IEEE T Antenn Propag 62(3) 1056-64
[4] Zohur A, Mopidevi H, Rodrigo D, Unlu M, Jofre L, Cetiner BA 2013 RF MEMS reconfigurable two-band antenna IEEE Antenn Wirel Pr 12 72-5
[5] Yang F, Rahmat-Samii Y 2002 A reconfigurable patch antenna using switchable slots for circular polarization diversity IEEE Microw Wirel Co 12(3) 96-8
[6] Wei ZY, Guo ZV, Dudte L, Liang HY, Mahadevan L 2013 Geometric mechanics of periodic pleated origami Phys Rev Lett 110(21) 215501
[7] Ting TC, Chen T 2005 Poisson's ratio for anisotropic elastic materials can have no bounds Q J Mech Appl Math 58(1) 73-82
[8] Alaeian H, Dionne JA 2014 Non-Hermitian nanophotonic and plasmonic waveguides Phys Rev B 89(7) 075136
[9] Mazlouman SJ, Mahanfar A, Menon C, Vaughan RG 2011 Reconfigurable axial-mode helix antennas using shape memory alloys IEEE T Antenn Propag 59(4) 1070-7
[10] Hayes GJ, Liu Y, Genzer J, Lazzi G, Dickey MD 2014 Self-folding origami microstrip antennas. IEEE T Antenn Propag 62(10) 5416-9
[11] Miura K 1994 Map Fold a La Miura Style. Its Physical Characteristics and Application to the Space Science Research of Pattern Formation, KTK Scientific Publishers 77–90
[12] Fuchi K, Tang J, Crowgey B, Diaz AR, Rothwell EJ, Ouedraogo RO 2012 Origami tunable frequency selective surfaces IEEE Antenn Wirel Propag Lett 11 473-5
[13] Bertoldi K, Vitelli V, Christensen J, van Hecke M 2017 Flexible mechanical metamaterials. Nat Rev Mater 2(11) p.17066
[14] Grimberg R, Tian GY, Savin A, Steigmann R, Dobrescu GS 2014 Electromagnetic metamaterial sensors for structural health monitoring Stud Appl Electromag (XVII) 39 3-10
[15] Savin A, Steigmann R, Bruma A, Šturm R 2015 An electromagnetic sensor with a metamaterial lens for nondestructive evaluation of composite materials Sensors 15(7) 15903-20
[16] Iftimie, N., Savin, A., Steigmann, R. and Stanciu, M.D., 2019, August. Nondestructive testing sensor using semiregular architecture with folding ligaments. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 591, No. 1, p. 012051).

Controlul calității în fabricarea aditivă prin tomografie industrială

Quality control in additive manufacturing by industrial tomography

Dr. Ion TISEANU, Dr. Mihail LUNGU, Drd. Ioana POROSNICU, Drd. Cosmin DOBREA, Drd. Adrian SIMA
Laboratorul de microtomografie de raze X http://tomography.inflpr.ro, e-mail: ion.tiseanu@inflpr.ro
Dr. Andrei POPESCU, Dr. Diana CHIOIBASU
Centrul de Tehnlogii Avansate cu Laser, CETAL http://cetal.inflpr.ro
Institutul Naţional pentru Fizica Laserilor, Plasmei şi Radiaţiei (INFLPR), Bucureşti, România;

Abstract

In the last year, our X-ray tomography laboratory extended its portfolio by commissioning a new high penetration power X-ray microtomography system. This led to new opportunities in the research domains that were prior difficult to tackle, such as high X-ray attenuating samples from the metallographic industry.
The main objectives of this study consisted in the development of several methodologies aided by the industrial X-ray tomography and designed to assist the additive manufacturing process. Thus, during this work we addressed high and low attenuating samples at different manufacturing stages.
Metallic powders and bulk samples used in the additive manufacturing with high-power laser were analyzed from qualitative and quantitative point of view. To offer an alternative to the limited classical metrological methods, the X-ray tomography instrument has been used as a method of rapid prototyping by iterative comparisons between the initial CAD model and the 3D model of tomographic reconstruction. This provided the opportunity to assist the restauration of industrial components by laser cladding via X-ray tomography, considering the fact that the CAD model serves as input data for the laser processing.
Advanced image protocols for defectoscopy and metrology processing were performed by implementing different algorithms from the main commercial software packages: *VGstudio Max* and *Avizo*. A 3D printer was used for manufacturing of polymer test samples with varying filling grades that were further evaluated by the mentioned algorithms. Also, visual comparisons were made between the virtual sections obtained by 3D reconstructions and the optical images extracted by destructive analysis.

1. Introducere

Tehnologia de fabricare aditivă prin procesare laser este pe cale de a revoluționa diverse ramuri ale ingineriei, schimbând complet modul în care sunt produse piesele industriale cu structuri geometrice complexe. Automatizarea completă a proiectării şi a tehnologiei de execuţie oferă libertatea de a produce o infinitate de modele, structuri, geometrii. Generaţia nouă de materiale, procese şi instrumente, utilizate în domeniul manufacturării aditive, dă naştere la noi probleme care se concretizează prin defecte prezente în produsul final. Aceste defecte pot fi sub formă de pori, variaţii ale densităților de material și incluziuni etc. Placarea laser este o metodă de adaos de material metalic pe un substrat prin topirea suprafeţei acestuia şi introducerea în zona topită a unui nou material sub formă de pulbere, fir sau bandă metalică. Metoda poate fi utilizată pentru a repara defecte ale pieselor cu grade ridicate de uzură, a ajusta forma unor componente, a suda piese între ele sau a acoperi funcţional suprafeţe în vederea obținerii unor proprietăţi mecanice superioare. Sunt necesare optimizări datorită faptului că zeci de parametri stau la baza realizării procesului de fabricare aditivă sau placare laser. Una dintre marile provocări ale industriei axate pe printarea 3D este reprezentată de îmbunătăţirea şi creşterea complexităţii configuraţiei și optimizarea geometriei probelor. Fabricarea unor componente cu un grad de complexitate ridicat poate pune semnificativ la încercare capacitatea de analiză a metodelor clasice de metrologie. Drept urmare, fabricarea aditivă realizată prin imprimare 3D necesită în permanenţă noi tehnici de inspecţie cu performanţe ridicate.

În lucrarea de fată s-a propus utilizarea tomografiei industriale ca metodă completă de defectoscopie şi metrologie 3D care contribuie la optimizarea procesului de selecţie a parametrilor de fabricare aditivă. De asemenea, s-a propus analiza nedistructivă a pieselor printate 3D prin tomografia de raze X și aplicarea unor module avansate software pentru defectoscopie si metrologie (VGstudio MAX vs Avizo).

2. Metode și materiale

2.1. Metode de inspecție prin imagistica de raze X

În momentul de faţă, tomografia computerizată de raze X (XCT) reprezintă cea mai eficientă metodă nedistructivă aplicată în identificarea și evaluarea defectelor apărute în urma procesului de printare 3D (fabricarea aditivă).

Tomografia de raze X permite calificarea întregului lanț de activitaţi și anume, de la selecția și analiza morfologiei și compoziției pulberilor metalice la defectoscopia nedistructivă şi la evaluarea metrologică în 3D a componentelor realizate prin fabricarea aditivă.

Pentru demonstrarea capabilităţilor metodei s-au selectat procedee de fabricarea aditivă din doua industrii: metalurgia pulberilor din aliaj Ti6AlV4 cu aplicații în industria aeronautică și printare 3D cu filamente din mase plastice.

Demonstraţia se face cu două sisteme tomografice dezvoltate în INFLPR adaptate cerinţelor de rezoluţie spaţială (printare 3D de precizie), respectiv putere de penetrare mare pentru componente industriale din aliajul „aeronautic” Ti6AlV4 (figura 1 a, b).

Figura 1. Tomograf cu rezoluție spațiala submicronică (stânga); Instalație de tomografie de raze X de înaltă putere de penetrare (dreapta);

Defectoscopia şi în special, metrologia prin tomografie 3D presupun manipularea şi procesarea complexă a unor seturi foarte mari de date. În laboratorul nostru de imagistică de raze X se folosesc mai multe pachete de programe de calcul adaptate cerinţelor de procesare de imagini. Principalul pachet software utilizat este Volume Graphics (*VGStudio Max*), care permite utilizatorilor să efectueze analiza atât asupra materiei prime sub formă de pulberi, cât şi asupra probelor în formă bulk (figura 2). Astfel s-a urmărit identificarea posibilelor neconformitaţi de formă și/sau compoziție în pulberea utilizată și piesa imprimată 3D, cât şi caracterizarea dimensională (lungimi, unghiuri, arii, abateri de formă şi poziţie) a componentelor.

În vederea evaluării s-au utilizat și componente din pachetul software *Avizo for Industrial Inspection* (figura 2), un alt instrument de post-procesare a reconstrucțiilor tomografice de raze X, destinat identificării defectelor printării 3D.

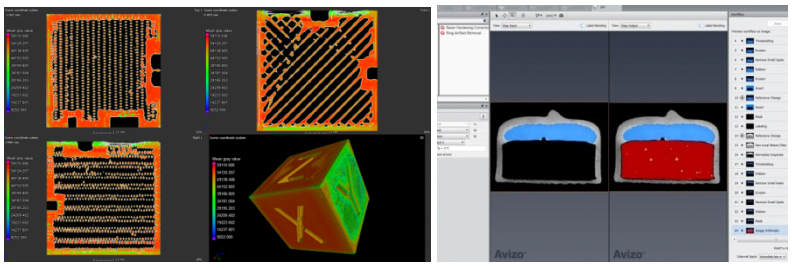


Figura 2. Interfața grafică Volume Graphics (VGStudio Max) (stanga); Interfața grafică a programului Avizo for industrial Inspection (dreapta);

2.2. Metoda relevantă în industria metalurgică

Structurile din Ti6Al4V au fost realizate plecând de la pulbere cu particule de diametru 50-90 µm (LPW Technology, Anglia). S-a folosit pentru livrarea pulberii un distribuitor automat (Trumpf, Germania) (figura 3a) prezent în cadrul laboratorului de la CETAL (INFLPR). Acesta este conectat prin furtunuri la o duză cu 3 canale de curgere, montată pe un braţ robotic. S-a folosit pentru transportul pulberii un gaz purtător format dintr-un amestec de He şi Ar. După un

proces de optimizare, debitul de pulbere necesar pentru a obţine o depunere de material densă şi fără porozitate în condiţii de creştere accelerată, a fost de 3 g/min.

Fasciculul laser utilizat pentru topirea pulberii suflate prin duză a fost generat de o sursă laser Yb:YAG cu disc, model TruDisk 3001 (Trumpf, Germania) (figura 3b). Puterea utilizată a fost de 700 kW în modul continuu de funcţionare. Fasciculul adus prin intermediul unei fibre optice cu diametru de 600 µm s-a întâlnit în focus cu materialul pulbere suflat prin duză. Topirea pulberii şi generarea de material dens din pulbere au fost monitorizate în timp real prin intermediul unei camere de filmat ataşată la braţul robotic.

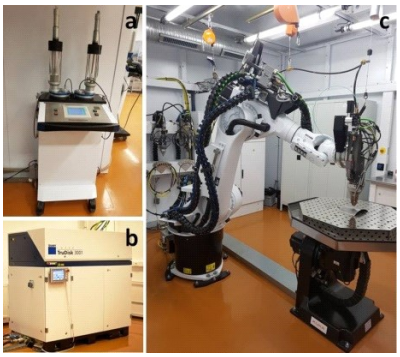


Figura 3. Sistem de depunere laser LMD din cadrul CETAL: (a) distribuitor de pulbere; (b) sursa laser și (c) braț robotic echipat cu duza pentru suflare de pulbere;

Robotul utilizat pentru translaţia duzei este modelul Kr30HA (Kuka Robotics, Germania), cu 6 axe de mişcare (figura 3c). Viteza de translaţie optimizată a fost de 2.8 m/min pentru a obţine un optim între grosimea liniilor trasate, coerenţa materialului depus şi înălţimea depunerii.

Modelul 3D a fost proiectat în soft-ul Solid Works (Dassault Systems, Franţa), iar apoi importate într-un soft generator de coduri de mişcare pentru roboţi, TruTops Cell. După trasarea traiectoriilor de mişcare în TruTops Cell, codul de mişcare a fost generat automat, ulterior importat în calculatorul robotului, care a executat mişcările programate. S-a ales o traiectorie de tip meandră cu distanţa între linii de 0.5 mm, care a urmat conturul piesei. Pentru a obţine formele masive incipiente din Ti6Al4V, robotul a trasat de 10 ori consecutiv traiectoria de tip meandră, înălţându-se după fiecare operaţiune cu 0.5mm. Materialele pentru substrat utilizate au fost cilindri de Ti (Φ=100 mm, h=10 mm). S-au ales substraturi groase de 10 mm, pentru a evita îndoirea substratului în timpul imprimării 3D din cauza efectelor termice.

2.3. Metoda relevantă în industria maselor plastice

Figura 4. Imprimanta 3D Creality3D

Pentru printarea 3D a cuburilor pe care s-au realizat măsurătorile gradelor de umplere s-a folosit o imprimanta 3D Creality (figura 4) care folosește tehnologia FDM (Fused Deposition Modeling). Această imprimantă este caracterizată în primul rând printr-un raport calitate – preț foarte bun, având un volum maxim de printare de 220x220x250mm. Pentru realizarea cuburilor s-a folosit filament PLA de 1.75mm grosime, extrudat la 200°C printr-o duză de diametru 0.4mm. Viteza de printare a fost 80mm/s, grosimea straturilor 0.24 mm, precizia ±0.1mm.

3. Rezultate

În vederea demonstrării capabilităților metodei CT, s-au selectat procedee de manufacturare aditivată din două industrii: metalurgia pulberilor din aliaj Ti6AlV4 cu aplicații în industria aeronautică și printare 3D cu filamente din mase plastice.

3.1. Metodologie cu aplicații în industria metalurgică

a) Analiza de înaltă rezoluție la scară micro

Indiferent de complexitatea structurală a piesei studiate, apariţia defectelor poate fi influenţată de calitatea pulberilor. Modulul de analiza și clasificare a pulberilor din pachetul VGStudioMAX aplicat asupra reconstrucţiilor CT oferă informaţii despre distribuția după formă, volum, sfericitate sau prezenţa unor eventuali contaminanţi.

Variaţia de mărimi și forme ale particulelor din pulbere poate influenţa calitatea produsului final realizat prin fabricare aditivă. Aceşti parametri au impact asupra distribuţiei pulberilor în timpul procesului de topire și pot determina defecte vizibile în piesa fabricată.

A fost utilizat sistemul de microtomografie de înaltă rezoluţie (figura 1a) pentru pulberile utilizate în fabricarea aditivă. Astfel, au fost investigate diverse tipuri de pulberi folosite în manufacturarea aditivă și anume:

- pulbere din Ti6AlV4, având dimensiunile particulelor de 40 - 90 μm;
- pulbere din aliaj Co-Cr cu punct de topire mai mic și dimensiunea particulelor de 44-88 μm;
- carbura de wolfram amestecată cu cobalt.

Au fost efectuate măsurători CT de înaltă rezoluție pe eșantioane de pulberi, iar prin aplicarea unui modul software de analiză specializat s-a realizat o clasificare complexă a morfologiei. În figura 5a) se prezintă o secțiune tomografică axială de mare rezoluție spațială (~2μm/voxel) și reprezentarea 3D a eșantionului cu pulbere de Ti6AlV4. Se pot observa mici abateri de la sfericitate, variații în dimensiuni, cât și prezenţa defectelor sub formă de goluri și spărturi. Prin modulul de analiză a pulberilor din pachetul VGStudioMAX, a fost realizată clasificarea particulelor după volum (figura 5 b).

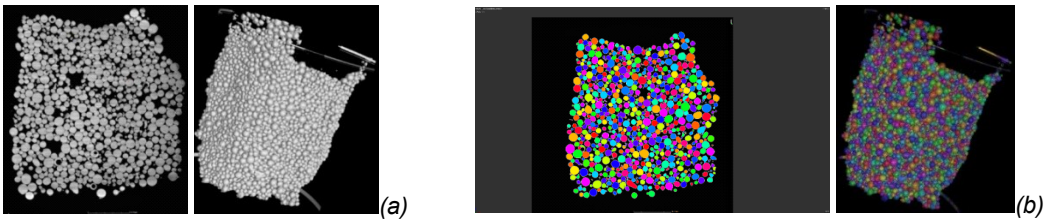


Figura 5. (a) Reconstrucții 2D/3D asupra pulberii de Ti6AlV4 pentru manufacturarea aditivă; (b) Reprezentări 2D/3D ale distribuţiei particulelor din pulbere după volum;

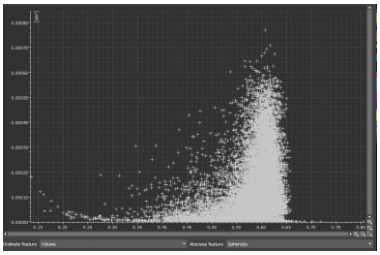


Figura 6. Corelație dintre volumul si sfericitatea particulelor de Ti6AlV4

Corelația dintre volumul pulberilor studiate în funcție de gradul de sfericitate a acestora este prezentată în figura 6. În aceasta se poate observa că particulele cu valoarea mediană a diametrului de ~70 μm au şi cele mai mici abateri de la sfericitate.

b) Defectoscopia prin tomografie pe componente realizate prin fabricare aditivă. Fabricarea aditivă a pieselor prin topire de pulberi metalice a fost realizată în CETAL prin utilizarea unui sistem TruDisk 3001 (Trumpf, Germania). Puterea de vârf utilizată a fost de 700 W în modul continuu de funcționare.

Printarea 3D care utilizează pulberile metalice este similară cu procesul de sudură din punctul de vedere al defectelor care pot apărea. Acestea pot fi goluri, porozități și fisuri care pot afecta calitatea şi integritatea structurală a produsului final. Au fost realizate măsurători de tomografie de raze X la tomograful cu mare putere de penetrare (figura 1b). Cu ajutorul acestui sistem s-au realizat măsurători de înaltă rezoluție pe piese de tip industrial, cu grad ridicat de atenuare a razelor X (figura 7a,b,c).

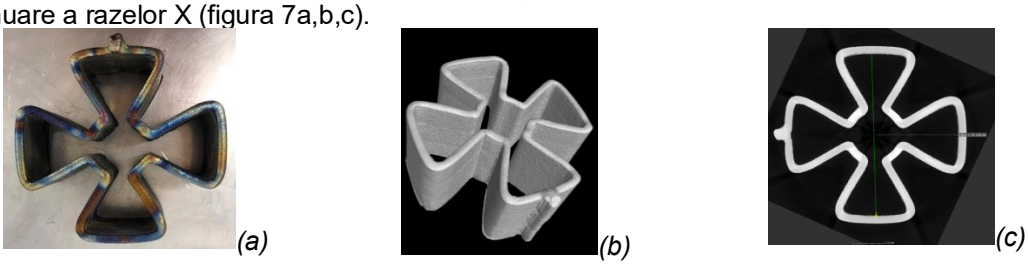


Figura 7. (a) Fotografia obiectului obținut prin fabricare aditivă; (b) Reconstrucție tomografică 3D;

(c) Secțiune transversală.

Modulul de analiză a defectelor din pachetul VGStudioMAX MAX a permis identificarea defectelor: pori, incluziuni, fisuri și alte neconformitaţi și imperfectiuni geometrice (figura 8a,b). Diferitele mecanisme de formare a defectelor poate fi explicat într-o oarecare măsură prin determinarea şi clasificarea defectelor în funcţie de informaţiile asupra acestora referitoare la distribuţia în volum, sfericitatea şi gradul de compactizare.

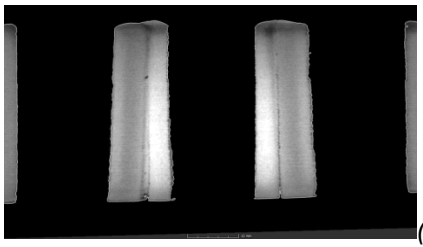
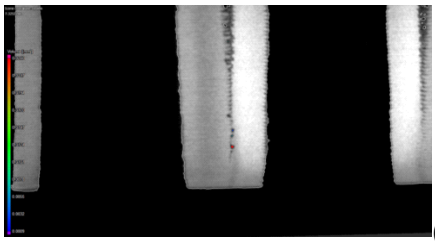

(a)

(b)

Figura 8. (a) Secţiune tomografică laterală prin piesa fabricată aditiv; (b) Identificare prezintă defecte interioare în piesă care pot determina fisuri prin supunere la stres mecanic/termic.

c) Metrologia prin tomografie pe componente realizate prin fabricare aditivă

Modulul de măsurători de coordonate din cadrul pachetului VGStudio MAX oferă capabilităţi metrologice de analiză complexă oferind informaţii despre toleranţă şi abateri de la modelul CAD al piesei manufacturate.

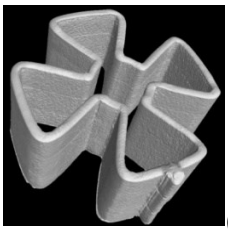
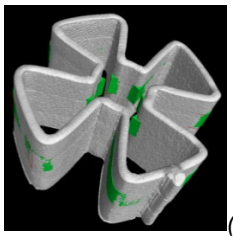
(a)

(b)

(c)

Figura 9. (a) Model CAD al piesei; (b) Reconstrucție 3D; (c) Suprapunere model CAD peste reconstrucția 3D;

Astfel, s-au realizat suprapuneri ale proiectului CAD iniţial (figura 9a) peste modelul 3D rezultat in urma reconstrucţiei 3D (figura 9b) a piesei fabricate aditiv (figura 9c). Aplicarea iterativă a acestui procedeu este un exemplu tipic de prototipare rapidă.

d) Restaurare componente prin tehnologia de placare laser (laser cladding)

În această fază am testat tomografia de raze X ca metodă de asistare a tehnologiei de placare laser. Au fost realizate piese bulk prin fabricare aditivă cu defecte incluse intenţionat. Tomografia 3D a fost utilizată pentru extragerea modelului 3D al componentei, acesta urmând a fi utilizat ca input la metoda de placare laser pentru umplerea defectelor respective (fig. 10a,b).

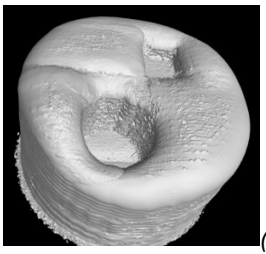
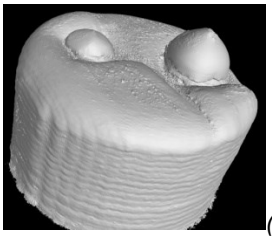

(a)

(b)

Figura 10. (a) Reconstrucţie 3D a piesei cu defecte; (b) Umplerea defectelor prin tehnica de placare laser;

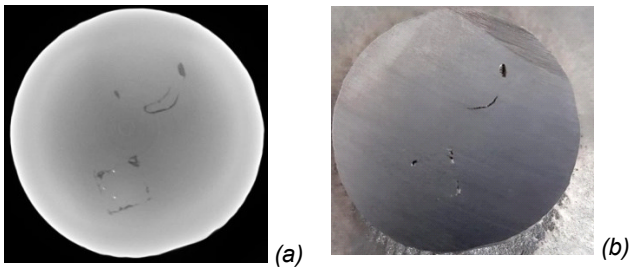
Placarea laser a fost realizată plecând de la pulberea Ti6AlV4 cu particule sferice cu diametrul de 50-90 μm (LPW Technology, Anglia). Variaţia în diametru a pulberii folosite în tehnica de placare laser poate determina apariţia porilor.

Defectoscopia probelor restaurate prin placare laser s-a făcut prin analiza nedistructivă la instalaţia tomografică de mare putere de penetrare. În figura 11 se prezintă secţiuni tomografice asupra regiunilor piesei restaurate prin placare laser. S-au observat defectele cauzate de

neaderarea materialului de umplutură in zonele cu defecte. Drept urmare, metoda tomografiei computerizate poate fi aplicată în continuare in vederea realizării multiplelor optimizări asupra parametrilor de funcţionare ai laserului.

Figura 11. Secţiuni tomografice axiale prin regiuni restaurate prin placare laser. Se observă defecte specifice lipsei de aderenţă a materialului de placare.

În figura 12 se prezintă o demonstrație a utilizării tomografiei 3D ca metodă completă, neinvazivă în vederea calificării tehnologiei de fabricare aditivă/placare laser. Prin scanare tomografică de mare rezoluție (24 µm/voxel) se pun în evidenţă defecte de tip pori, lipsa de aderenţă, incluziuni în tot volumul probei. În figura 12a) este prezentată o secțiune tomografică cu diverse defecte de porozitate și lipsa de aderență. În figura 12b) este prezentată o imagine optică obținută prin tăierea probei la nivelul secțiunii identificate în modelul 3D obținut prin tomografie.



(a) *(b)*

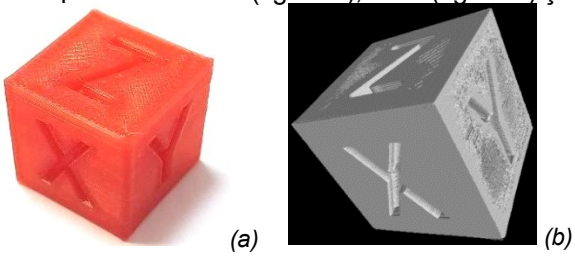
Figura 12. (a) Reconstrucție CT pe secțiunea relevantă; (b) Imagine optică a probei realizată în urma procesării distructive;

Astfel, au putut fi determinate și comparate zonele cu defecte apărute în urma aplicării tehnicii prin placare laser. Se poate observa că prin tomografie sunt identificate toate defectele observate în imaginea optică. Cu toate cele menționate, procedura destructivă de tăiere și polizare este responsabilă de ascunderea unor defecte, denaturând astfel numărul real şi forma porilor existenţi.

3.2. Metodologie cu aplicații în industria polimerilor

a) Imprimare 3D de precizie cu material slab atenuat de raze X (polilactidă - PLA)

Cu ajutorul imprimantei 3D pentru materiale plastice, au fost realizate piese cubice identice la exterior, dar cu diferite grade de umplere de material (figura 13a). Reconstrucţia tomografică a cubului este prezentată în figura 13b). Pentru a analiza gradul de umplere al unui obiect utilizând tomografia computerizată, au fost construite trei cuburi al caror grad de umplere a fost stabilit înaintea printării la aproximativ 10% (fig. 14a), 30% (fig. 14b) şi respectiv 60% (fig. 14c).

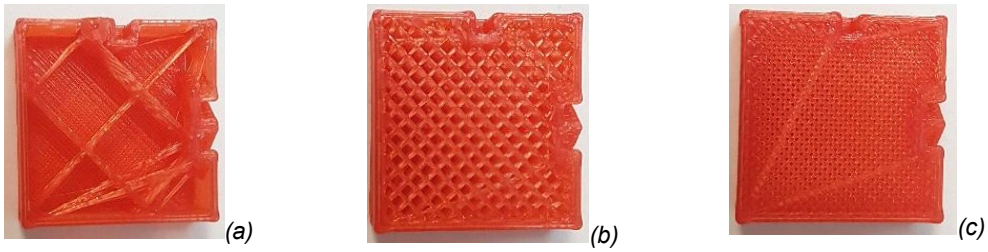


(a) *(b)*

Figura 13. (a) Poza cubului printat 3D; (b) Reprezentare 3D a volumului reconstruit;

Achiziția datelor tomografice pentru inspecția celor trei cuburi s-a realizat utilizând tomograful de înaltă rezoluţie (figura 1a). Secțiuni tomografice prin cele 3 cuburi arată structura interioară influențată de gradul diferit de umplere (figura 15). Utilizand secțiunile reconstrucţiei

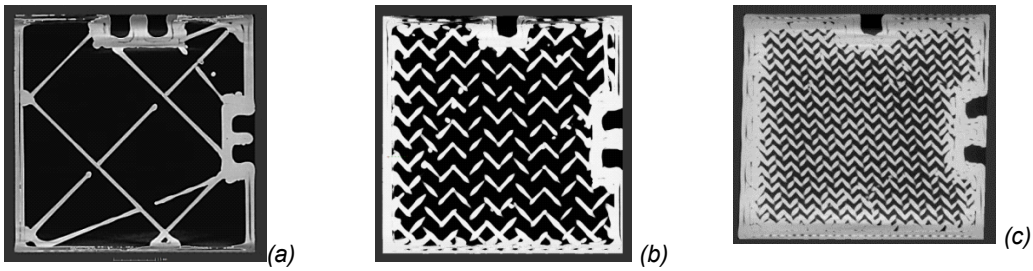
tomografice a cuburilor (figura 15a,b,c) putem efectua o primă comparație de ansamblu cu imaginile optice ale structuri interne a pieselor analizate (figura 14a,b,c) .



(a) *(b)* *(c)*

Figura 14. Piese printată utilizând imprimanta 3D Creality cu diferite grade de umplere:
(a) 10%; (b) 30 %; (c) 60%;

Gradul de umplere al cuburilor a fost evaluat utilizând algoritmi implementați în două pachete de programe: Volume Graphics (*VGStudio Max*) și Avizo for Industrial Inspection.



(a) *(b)* *(c)*

Figura 15. Secțiuni tomografice 3D pentru proba cub cu diferite grade de umplere:
(a) 10%; (b) 30 %;(c) 60%;

b) Analiza cantitativă avansată pe piese 3D prin procesare de imagini

Factorul de umplere local este definit ca raportul dintre volumul ocupat de material și volumul total al unei regiuni de interes. Suprafața de separare dintre material și aer este determinată prin metode avansate de analiză a nivelelor de gri din reconstrucția tomografică.

- *Analiza factorului de umplere prin modulul VGstudio MAX*

Gradul de umplere al cuburilor a fost determinat stabilind o regiune de interes din tot volumul reconstruit pentru a elimina fundalul din exteriorul cubului (figura 16a,b). Următorul procedeu a constat în separarea materialului solid de aer prin determinarea suprafeţei materialului reconstruit (surface determination) (figura 17).

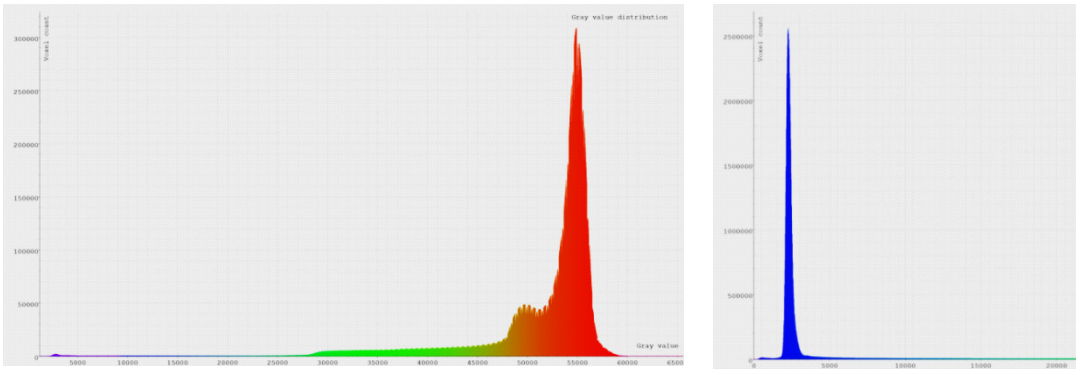


Figura 16. Histograma zonelor de interes: material (stânga), fundal (dreapta);

Folosind programul de analiză al nivelelor de gri (gray level analysis) am determinat volumul materialului reconstruit precum și al aerului din interiorul cubului. Volumele determinate din reconstrucţia tomografică sunt prezentate în tabelul 1.

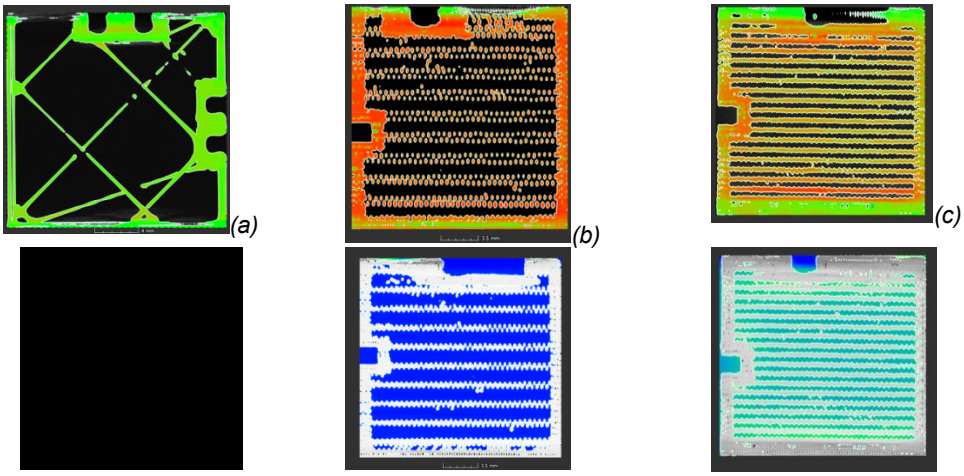


Figura 17. Secțiuni tomografice (front) ale celor 3 cuburi cu secțiunile corespunzătoare ce au fost prelucrate prin analiza nivelelor de gri pe material și background: (a) 10%, (b) 30%, (c) 60%;

Tabel 1: Volumul determinat în urma procesării de imagini prin modulul VGstudio MAX

Proba	Volumul total a regiunii de interes (mm^3)	Volum material (mm^3)	Volumul aerului din interiorul cubului (mm^3)
Cub10%	8203.46	1994.25	4389.78
Cub30%	8037.74	3445.24	1514.42
Cub60%	8221.96	3186.21	685.07

Analizând histogramele obținute în urma procesării nivelelor de gri ale materialul și aerului din interiorul cubului reconstruit putem deduce că selectarea regiunii de interes a fost realizată corespunzător deoarece în ambele moduri de analiză nu există variații semnificative ale nivelelor de gri care să sugereze de exemplu selecția accidentală a unei zone cu material atunci când este analizat nivelul de fond.

- *Analiza factorului de umplere prin modulul Avizo*

S-a propus, din tomografia celor 3 cuburi, să se determine gradul de umplere, respectiv, masa cubului. Aceste analize au fost realizate în două programe: VGA Studio Max și Avizo. Dimensiunea unui voxel, corespunzătoare unui pixel de imagine este: $1px = 1.62 \cdot 10^{-2} mm$. Pentru a compara rezultate obținute din datele tomografice, gradul de umplere al cuburilor au fost de asemenea determinate raportând masa fiecărui cub determinată cu ajutorul unei balanțe analitice la densitatea materialului din care este confecționat cubul. Astfel masele determinate pentru fiecare cub au fost: 3.28 g (proba A), 4.73 g (proba B) și respectiv 6.42 g (proba C).

După tomografierea și reconstrucţia imaginilor tomografice, datele volumetrice ale fiecărui cub au fost încărcate în programul Avizo. În figura 10a) este arătată proiecţia cubului 30 pe cele 3 planuri ortogonale XY, XZ și YZ.

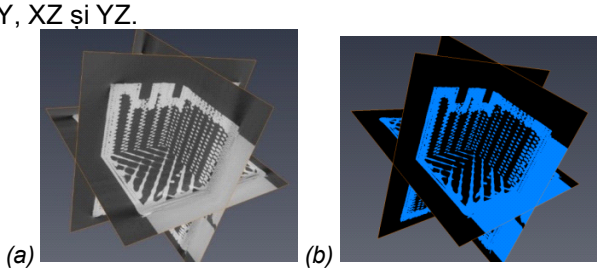


Figura 18. Vizualizarea tomografica a cubului 30% în programul avizo (stânga) și binarizarea corespunzătoare (dreapta);

Pentru măsurarea suprafeţei și a volumului de material dintr-un cub, volumul reconstruit este segmentat prin procedeul de binarizare de prag (threshold binarization). Prin binarizare,

materialul din imagine are valoarea 1, iar spaţiul gol are valoarea 0 (figura 18b). S-a determinat volumul de material estimat pentru cubul 30 % ca fiind:

$$V = \frac{m}{\rho_{p1,A}} = \frac{4.73}{1.25} = 3.784 cm^3$$

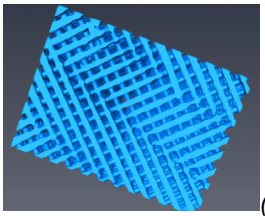
Din datele binare pentru cubul cu gradul de umplere de 30%, s-a determinat în programul Avizo aria și volumul: $V_{cub30} = 1967963 px^3 = 3.148 cm^3$, de unde rezultă un grad de umplere de:

$$E_{rr} = \frac{3.148}{3.784} \cdot 100 = 83.2\%$$

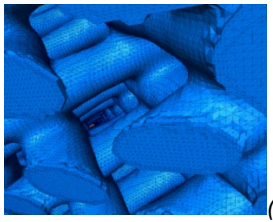
.

Procedeul prin care se determină gradul de umplere poate fi optimizat. Un factor de corecţie este reprezentat de gradul de discretizare dintre material și spaţiul gol determinat din tomografie. Acesta se poate corecta din măsurarea grosimii peretelui real.

Adiţional, în programul Avizo se poate continua cu modelări ale cubului tomografiat, prin conversia materialului în geometrie solidă. Din geometrie solidă, mai departe se poate realiza discretizarea în elemente finite (FEM) pentru simulări mecanice (figura. 19).



(a)



(b)

Figura 19. (a) Conversie în geometrie solidă; (b) Discretizarea elementelor finite (FEM);

4. Concluzii

În lucrarea de față se utilizează tomografia 3D ca metodă completă, neinvazivă, de calificare a tehnologiilor de manufacturare aditivă şi de placare laser.

În prima etapă au fost investigate piese relevante pentru industria metalurgică și procesate prin laser:

- a fost implementată o metodologie în vederea asistării tehnologiei de fabricare aditivă ce are la bază pulberi metalice; metodologia urmăreşte toate etapele procesului de manufacturare aditivă începând cu selecţia şi caracterizarea micro-morfologiei materiei prime, defectoscopia avansată 3D a acestora, până la caracterizarea metrologică a produsului finit;
- a fost propusă şi testată o metodologie de asistare prin tomografie de raze X a tehnologiei de reconstrucţie a componentelor industriale prin placare laser;
- prin scanare tomografică de mare rezoluţie s-au pus în evidenţă defecte de tip pori, lipsa de aderenţă, incluziuni în tot volumul probei;
- comparaţii între secţiunile tomografice 2D şi imaginile metalografice echivalente au demonstrat superioritatea controlului nedistructiv prin microtomografie de raze X. S-a determinat faptul că procesarea distructivă și laborioasă asupra probei în vederea investigării optice produce pierderi de informații în zona defectelor de dimensiuni reduse.

În a doua etapă s-a propus analiza nedistructivă a pieselor relevante pentru industria polimerilor:

- au fost realizate comparaţii între secţiuni virtuale determinate prin reconstrucţii 3D și imaginile optice ale secțiunilor extrase în urma unor procese distructive;
- s-au aplicat metodologii de determinare a factorului de umplere al structurilor printate. Factorul de umplere s-a evaluat prin algoritmi diferiţi din pachetele software comerciale: VGstudio Max şi Avizo.

Informaţiile obținute prin tomografia industrială oferă posibilitatea optimizării ulterioare atât a metodelor de manufacturare aditivă (rapid prototyping), cât și a metodelor de reparare a defectelor apărute.

Mulţumiri

Programul Nucleu al Institutului Naţional pentru Fizica Laserilor, Plasmei şi Radiaţiei PN 19 15 01 01 (contract nr. 16N/2019).

EVALUAREA CORECTĂ A REFLECTORILOR CU DIMENSIUNI MAI MICI DECÂT LUNGIMEA DE UNDĂ

CORRECT SIZING OF REFLECTORS SMALLER THAN ONE WAVELENGTH

Teodor Tranca – DIAC SERVICII srl

Abstract
In ultrasonic testing evaluation there are two key questions: which defects can be detected and – in case they are found – how do they restrict the use of the part? Regarding both questions, the prerequisite is a method for defect sizing. Over the last decades two methods were established for sizing, DGS (Distance Gain Size) and DAC (Distance Amplitude Correction), for defects smaller than the beam profile. These methods utilize the echo's amplitude and provide evaluations proportional to the defect area. However, these approximations are rather accurate only for the defects larger than one wavelength. Practical situations shows that they can be applied also for slightly smaller defects. The progress of material technology develops and in ultrasonic inspection techniques the challenges to smaller defects' detection and evaluation increased. Therefore, both for flat bottom holes and disc shaped reflectors the extention at small defects needs to be checked.In this paper it is investigated how to correctly evaluate defects below one wavelength. Using a grid-based simulation method the echo signals of cylinder and disc shaped reflectors of various sizes are calculated. By properly choosing the simulation method and grid it is sure that all wave modes are included in the simulation and that the discretization error is negligible.

1. Introducere

În controlul ultrasonic se disting două principale probleme:

- ce mărime si ce tip de defect poate fi găsit și dacă totuși este găsit,

- cât de mult influențează acest defect acceptabilitatea piesei respective?

Răspunsul la ambele întrebări îl reprezintă metoda de evaluare a defectelor. În ultimul deceniu, s-au definit două metode de evaluare a mărimii defectelor mai mici decât profilul fasciculului ultrasonic: DAM (*Distanță-Amplitudine-Mărime*) și DAC(*Distanță-Amplitudine-Corecție*). Aceste două metode folosesc amplitudinea ecoului de defect și furnizează rezultate proporționale cu suprafața defectului. Totuși, aceste aproximații sunt precise numai pentru defecte mai mari decât lungimea de undă, chiar dacă experiența arată că aceste metode pot fi aplicate și la defecte puțin mai mici.

O dată cu progresele înregistrate în tehnologia materialelor și în inspecția ultrasonică, nevoia de a detecta defecte din ce în ce mai mici a crescut. Prin urmare, atât pentru găurile cu fund plat cât și pentru defectele artificiale în formă de disc, trebuie verificată posibilitatea de a folosi defecte etalon din ce în ce mai mici.

În acestă lucrare este investigată posibilitatea de a evalua în mod corect defecte cu dimensiuni sub lungimea de undă a undei incidente. Folosind metode de simulare, au putut fi calculate semnalele ecourilor provenind de la diverse tipuri de defecte artificiale de diferite mărimi și forme. Prin alegerea corectă a metodei de simulare se asigură că toate modurile de undă sunt incluse în această simulare și că erorile de discretizare sunt neglijabile.

2. Evaluarea defectelor mai mici decât lungimea de undă

2.1 Metoda Distanță–Amplitudine-Mărime (DAM)

Evaluarea indicațiilor apărute la examinarea cu ultrasunete se face în mod curent prin metoda *eco-dinamică* sau prin metoda *suprafață-amplitudine*. Pentru indicațiile mai mari decât deschiderea fasciculului ultrasonic se foloseşte măsurarea eco-dinamică (metoda celor 6 dB) iar pentru indicaţii mai mici decât fasciculul ultrasonic se folosește metoda suprafață – amplitudine, cu reflectori de referinţă (DAC) sau cu scale/diagrame de evaluare (AVG).

În 1950, la numai 5 ani de la începutul controlului ultrasonic, Kinsler și Frey au publicat cartea despre *Acustica Fundamentală*, cu calculul câmpului sonic ca o sursă tip piston – vibrant în câmpul îndepărtat. Seki și alţii au dus această teorie câțiva paşi mai departe. Lucrările acestora au pus bazele tuturor teoriilor actuale de determinare a mărimii defectelor. În 1959, J.

Krautkramer a publicat metoda DAM (Distanță -Amplitudine - Mărime, cu inițialele in limba germană AVG), metodă larg folosită în Europa și în prezent. Relația dintre ecoul de răspuns al unei găuri cu fund plat și diamentrul acesteia a fost formulată incă de la începutul dezvoltării metodei de control nedistructiv cu ultrasunete. Krautkramer face referire la această gaură cu fund plat ca la un reflector în formă de disc și a dezvoltat cunoscuta metodă de evaluare a unui răspuns în raport de curbe corespunzătoare la reflectorul disc cu diametre diferite, curbe construite pentru fiecare tip de traductor în parte și denumită metoda AVG (germană) sau DGS (engleză) [2]. Relația matematică dintre amplitudinea ecoului, caracteristicile traductorului și diametrul găurii cu fund plat poate fi exprimată prin

$$\frac{v_f}{v_0} = \frac{SA}{\lambda^2}\frac{1}{T^2}e^{-2T\delta} \tag{1}$$

unde V_f - amplitudinea maximă a ecoului de la țintă, V_0 - semnalul maxim posibil dacă toată energia inițială este restituită către receptor, T - distanța până la țintă pe axa fasciculului, A - suprafața defectului, S - suprafața traductorului, λ - lungimea de undă, δ - coeficientul de atenuare specific.

Diagramele AVG (Fig.1) afișează pierderea de amplitudine (amplificare) dintre ecoul de fund și diferiți reflectori în formă de disc și este prezentată în funcție de distanță (scală logaritmică). Diferitele curbe din acest sistem de coordonate încep cu cea a ecoului de fund, în partea de sus a diagramei (cea mai mică valoare a amplificării) și continuă cu diferite curbe, corespunzătoare defectelor artificiale, în ordine descrescătoare a diametrelor. În câmpul îndepărtat, curba de ecou de fund are o înclinare de 6 dB la dublarea drumului sonic (dependența de 1/s) iar curbele corespunzătoare defectelor disc au o înclinație de 12 dB la dublarea drumului sonic (dependent de $1/s^2$).

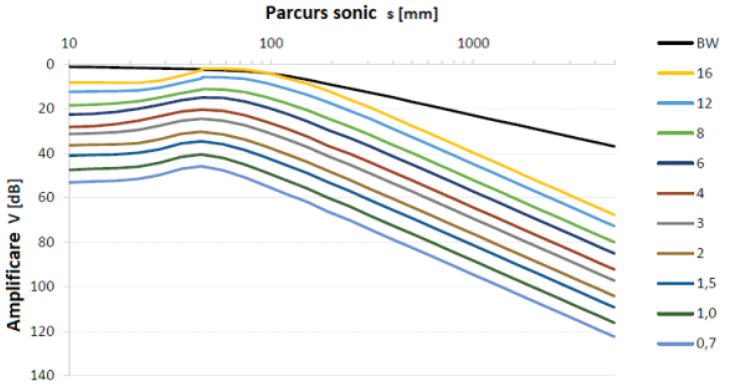


Fig. 1. Diagrama AVG convențională [5]

Distanța dintre curbele individuale este de 12 dB pentru dublarea diametrului discului (dependența de D_f^2). Cu aceste diagrame este foarte simplu să se calibreze echipamentul și de asemenea să se determine mărimea unei indicaţii și sensibilitatea de control.

Ecuația (2) care reprezintă baza teoretică pentru obținerea informațiilor în câmpul îndepărtat al diagramei AVG, exprimă o descreştere a intensităţii câmpului cu pătratul distanţei și este folosită pentru determinarea mărimii indicațiilor prin comparație cu curbe DAC ridicate în raport cu diametrul găurii cu fund plat. Pentru o radiație monocromatică, amplificarea *V* se poate deriva analitic prin integrarea pe suprafața traductorului-piston.

$$V = 20\log\left(\pi^2\frac{D_f^2}{D^2}\frac{N^2}{s^2}\right) = 20\log\left(\frac{D_f^2}{\lambda^2}D^2\left(\frac{\pi}{4s}\right)^2\right) \tag{2}$$

unde D_f - diametrul găurii cu fund plat, s - drumul sonic, D - diametrul efectiv al traductorului, N - câmpul apropiat, λ - lungimea de undă. Aproximaţia lui Kirchhoff presupune câmpul ultrasonic emis de un reflector ca fiind generat de o sursă reprezentată de fața iradiată a defectului și neexistând nici o sursă pe partea neiradiată a defectului. Conform Aproximaţiei lui Kirchhoff, amplitudinea ecoului unui reflector este proporțională cu suprafața intersectată, ceea ce este valabil numai dacă curbura reflectorului este mică în comparaţie cu lungimea de undă. Aceasta înseamnă că aproximația poate fi folosită numai pentru reflectorii mari în comparație cu lungimea de undă a radiației incidente.

O dată cu creșterea nivelului de exigență al controlului ultrasonic în domeniul metalurgic, o evaluare corectă a defectelor mici a căpătat o importanță crescută.

Au apărut următoarele probleme:

- Cât de mult pot fi folosite DAC, AVG și ecuația (2)?

- Cât de precis se poate face evaluarea reflectorilor mici?

Instrumentele de simulare standard folosesc abordarea unei surse punctiforme și sunt restricționate de Aproximaţia lui Kirchhoff. Experimentele cu găuri cu fund plat de dimensiuni mici sunt deosebit de interesante și trebuie aflat dacă găurile cu fund plat sunt modele viabile pentru reflectorii în formă de disc folosiți la diagramele AVG.

2.2 Metodologie

Scopul lucrării a fost determinarea amplitudinii reflexiei unui defect (inclusiv a unor defecte mai mici decât lungimea de undă) prin simularea precisă a unor fenomene fizice. Prin “simulare precisă” se înțelege o simulare care va lua în considerație toate fenomenele fizice acceptate, nu numai Aproximația lui Kirchhoff. A fost folosită metoda 3D-EFIT care simulează toate modurile de undă posibile în teoria elasto-dinamică și permite evaluarea cantitativă a dispersiei.

2.3 Tehnica de Integrare Elastodinamică Finită (EFIT) [6]

Ecuațiile de bază în elastodinamica lineară sunt conservarea momentului (ecuația Newton-Cauchy), viteza de creștere a întinderii și ecuațiile de material. Punând toate acestea impreună, ecuația undei în forma integrală pentru materiale izotropice într-un mediu omogen are formă:

$$\iiint_V \underline{\underline{s}} : \underline{\underline{T}}(\underline{R},t)\,dV = \iint_S \left\{ \underline{\underline{T}}(\underline{R},t)\,\underline{\underline{s}}(\underline{R},t) \right\} dS + \iiint_V \underline{\underline{h}}(\underline{R},t)\,dV$$

$$\iiint_V \rho\, \dot{\underline{v}}(\underline{R},t)\,dV = \iint_S \underline{\underline{T}}(\underline{R},t)\,\underline{\underline{s}}(\underline{R},t) + \iiint_V \underline{f}(\underline{R},t)\,dV \qquad (3)$$

unde T(R,t) - tensorul de stress, V(R,t) - vector de viteză al particulei, h (R,t) - tensorul de viteză de deformare, f (R,t) - vectorul densității de forță, s - tensor de conformitate (proprietățile materialului),ρ - densitatea materialului în stare de repaos.

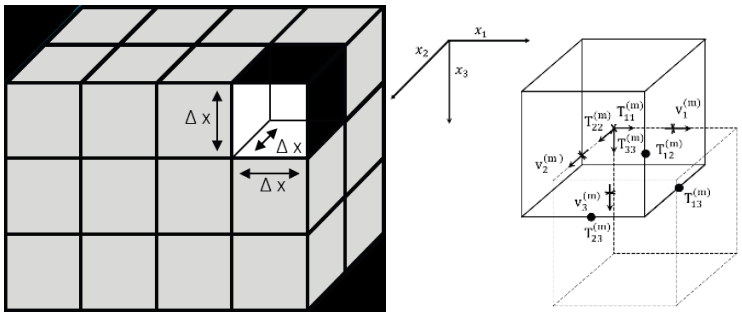


Fig. 2. Sistemul de grilă ortogonal-dual folosit în EFIT

Elementele vector de viteză și tensor de stres sunt atașate în diferite poziţii pe o celulă elementară. EFIT discretizează forma integrală a ecuației de undă în spaţiu și timp astfel încât aceasta să poată fi calculată numeric. Pentru discretizarea spaţială se foloseşte un sistem grilă dual-ortogonal prezentat în Fig. 2. Timpul de discretizare pentru vectorul viteză și tensorul de stres este înlocuit cu jumătate din timpul pentru fiecare dintre ele. Pentru modelarea reflectorilor, se introduc condiţii de frontieră. Pentru reflectori în formă de disc, frontierele libere pentru stres sunt plasate pe suprafața reflectorului.

2.4 Rezultatul investigației

Pentru a afla cât de mare este diferența dintre AVG, DAC cu găuri cu fund plat și ecuaţia (1), diferite mărimi de găuri cu fund plat și o undă incidentă longitudinală cu lungimea de undă de 2.95 mm (frecvența de 2 MHz în oțel) au fost folosite în simulare. Cel mai mare reflector disc are diametrul de 9 mm și cel mai mic de 0.1 mm. Aceasta inseamnă că cel mai mare reflector este mai mare decât lungimea de unda iar, pe de altă parte, cel mai mic este în mod clar mult mai mic decât lungimea de undă și este un bun indicator pentru extinderea acestei teorii.

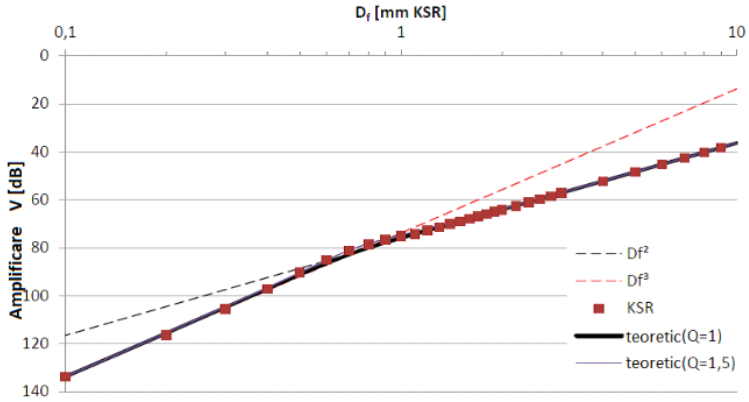


Fig. 3. Dependența pătratică și cubică a amplificării de diametrul D_f; valorile pentru reflector-disc calculate (linia din pătrate roșii), descriere teoretică cf. ecuaţiei 4 (linie neagră groasă) și ecuaţiei 3, pentru Q=1.5 (linie neagră subţire).

Fig. 3 prezintă rezultatele simulării pentru reflectorul disc (linia formată din puncte pătrate roșii) și dependent de diametrul D_f cu linie neagră întreruptă (dependența de ec. 1). În plus, Fig. 3 prezintă și o dependență cubică de diametrul D_f, cu linie roșie intreruptă.

Ca rezultat, pot fi indentificate trei regiuni:

1. Între 1.5 mm (λ/2) și 9 mm rezultatele simulării coincid cu teoria generală AVG. Aceasta este zona de reflexie geometrică unde funcționează Aproximația lui Kirchhoff.
2. În jurul lui 0.7 mm (λ/4) rezultatele simulării sunt mai mari. Aceste rezultate sunt datorate efectului de rezonanță și depind de forma defectului.
3. Pentru defecte mai mici de 0.5 mm (λ/6) rezultatele simulării urmăresc dependența cubică. Aceasta rezultă din împrăștierea radiației de tip Rayleigh.

Pe baza diagramelor lui Bode s-a determinat ecuația care guvernează complet rezultatele simulării așa cum sunt prezentate în Fig. 4.

$$V = 20\log\left(\left[\frac{\left(i\frac{D_f}{\lambda/4}\right)^3}{\sqrt{1+\frac{1}{Q}\left(i\frac{D_f}{\lambda/4}\right)+\left(i\frac{D_f}{\lambda/4}\right)^2}}\right]\frac{1}{16}D^2\left(\frac{\pi}{4s}\right)^2\right) \quad (4)$$

unde Q este factorul de calitate al efectului de rezonanță. Atunci când forma reală a defectului nu este cunoscută, o soluție adecvată este aceea de a ignora efectul de rezonanță (Q=1):

$$V = 20\log\left(\frac{D_f^2}{\lambda^2}\frac{4D_f}{\left|\sqrt{-16D_f^2+4iD_f\lambda+\lambda^2}\right|}D^2\left(\frac{\pi}{4s}\right)\right) \quad (5)$$

Diferența de reflectivitate dintre reflectorii-disc mari (D_f^2) și cei mici (D_f^3) se datorează mărimii relative a acestora în comparație cu lungimea de undă.

Reflectorii cu dimensiuni mari returnează semnalul într-o măsură mai mare decât reflectorii mici deoarece excitarea reflectorilor cu dimensiuni mari generează suplimentar unde de la marginea acestora către centru.

Pentru reflectori–disc cu diametre între λ/6 și λ/2, aceste moduri diferite de undă generate pe suprafaţa plată a reflectorului pot să interfereze, reușind să modifice amplitudinea ecoului de defect.

2.5 Calibrarea pe găuri cu fund plat (DAC-FBH)

Adesea, calibrarea pe găuri cu fund plat (FBH) este folosită în locul AVG sau pentru verificarea practică a diagramelor AVG. Fig. 4 prezintă rezultatele simulării pe calculator la care s-au folosit găuri cu fund plat (FBH) în loc de reflectori disc. Punctele pătrate roșii impreună cu linia punctată neagră reprezintă dependența anticipată faţă de relaţia (2). Suplimentar, Fig. 4 prezintă și dependența cubică pentru diametrul D_f cu linie roşie întreruptă.

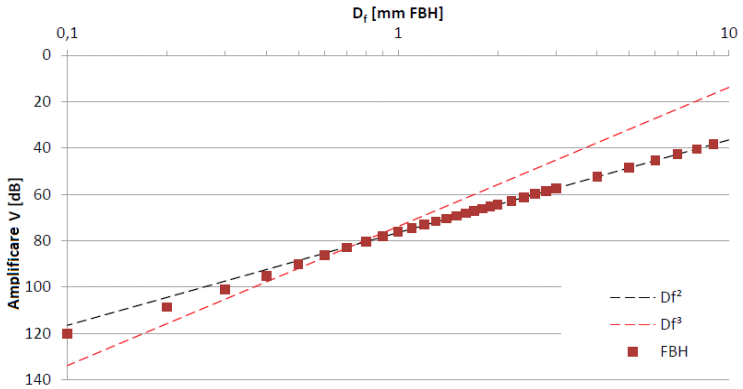


Fig. 4. Dependența cuadratică (linie neagră întreruptă) și cubică (linie roșie intreruptă); Rezultatele simulării sunt reprezentate prin punctele pătrate roșii.

Ca și reflectorii–disc, găurile cu fund plat urmează teoria cunoscută pentru valori de diametru între 1 și 9 mm. Totuşi, se intâlneşte fenomenul de rezonanță și pentru dimensiuni mai mici de λ/4, rezultatele simulării relevă un comportament de dependență intermediară între cuadratic și cubic. Aceasta se datorează geometriei găurii care se extinde într-o singură direcție și unda nu poate să înconjoare complet gaura cu fund plat. Defectele reale nu au această extensie într-o singură direcție și un defect real de dimensiuni mici trebuie excitat mai mult decât un defect mic convențional tip disc. Prin urmare, dacă sunt folosite găurile cu fund plat sau diagramele AVG pentru calibrare este necesară o compensare a amplificării de examinare pentru reflectorii de mici dimensiuni.

2.6 Calibrarea ultrasonică pentru defecte de mici dimensiuni

2.6.1 Metoda convențională

Figura 5 prezintă subdimensionarea apărută la ambele metode de evaluare, AVG și DAC cu FBH. Ambele metode funcționează corect până la limita inferioară a defectului de ~λ/4. Sub această limită, dimensionarea defectelor suferă o serioasă sub-evaluare.

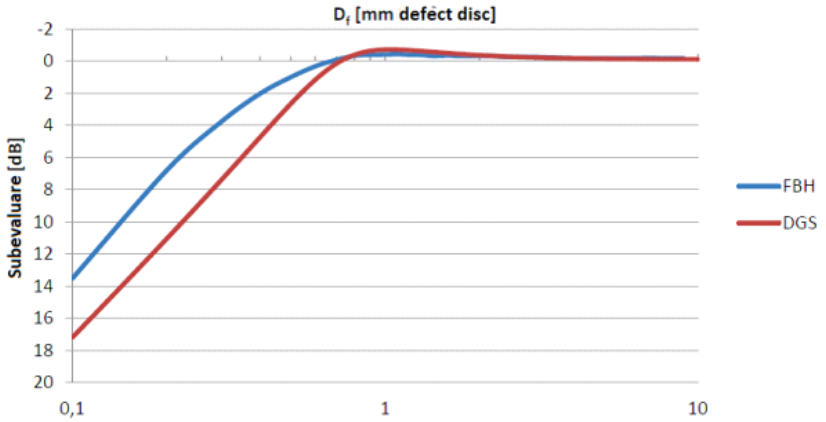


Fig. 5. Subevaluarea cu metoda DAC cu FBH (albastru) și AVG (DGS) convențional (roșu)

2.6.2 AVG extins

Prin aplicarea ecuaţiilor (4) și (5), diagrama AVG poate fi extinsă pentru orice mărime de indicație. Pentru indicații mai mari ca λ/4 rezultatul va fi o distanţă între curbe de 12 dB, similar cu varianta clasică, iar pentru valori mai mici ca λ/4 distanța dintre curbe va fi de 18 dB. Figura 6 prezintă diagrama AVG extinsă. Aceasta prezintă aceeași configurație cu varianta clasică (până la λ/4) incluzând partea convențională prezentată prin linii intrerupte.

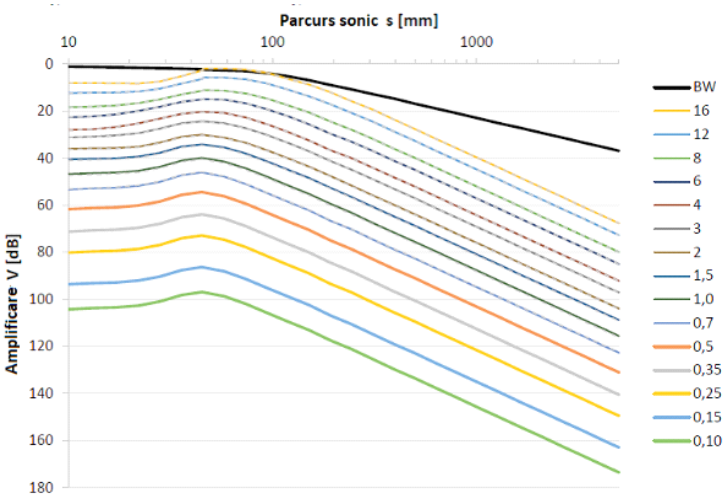


Figura 6. Diagrama AVG extinsă

3. Concluzii

Rezultatele simulărilor au pus în evidenţă că atât metoda AVG cât și DAC (care utilizează găuri cu fund plat), pot fi folosite pâna la o limită de ¼ din lungimea de undă a radiaţiei incidente. Sub această limită, ambele metode conduc la sub-evaluări severe ale mărimii defectelor. Totuşi, aşa cum se vede din acest material, metoda AVG poate fi extinsă pentru lungimi de undă mai mici schimbând dependenţa patratică a indicaţiei faţă de diametrul acesteia cu dependenţa cubică. De asemenea, pentru calibrări care folosesc găuri cu fund plat trebuie luată in consideraţie diferenţa de reflectivitate a acestora faţă de reflectorii de tip disc.

Este previzibil să avem aceleaşi rezultate și la examinarea cu unde transversale sau cu traductori de tip Emisie-Recepţie.

Bibliografie

[1] Auld B.A., *Acoustic felds and waves in solids, vol. ii, 1990*

[2] Krautkrämer J, *Fehlergrößenermittlung mit Ultraschall", Archiv für Eisenhüttenwesen 30,693-703, 1959.*

[3] Margetan F.J., Umbach J., Roberts R., Friedl J., Degtyar A., Keller M., Hassan W., Brasche L., Klassen A., Wasan H. and Kinney A., 2007. *Inspection developments for titanium forgings*. DOT/FAA/AR-05/46.

[4] Darmon M., Dorval V., Djakou A.K., Fradkin L. and Chatillon S., 2016. *A system model for ultrasonic NDT based on the Physical Theory of Diffraction (PTD)*. Ultrasonics, 64, pp.115-127.

[5] Seeber A., Vrana J., Mooshofer H. and Goldammer M., 2018. *Correct sizing of reflectors smaller than one wavelength*. 12th ECNDT, Gothenburg, Sweden.

[6] Muntean M., *Consideratii privind metoda elementelor de frontiera*- Revista Informatica Economica, nr. 1(25)/2003.

[7] Darmon M., Raillon R., Dorval V., *Generic GTD-Kirchhoff scattering model for the ultrasonic response of planar defects*- 10th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, 1-3 October 2013, Cannes, FRANCE (JRC-NDE 2013)

UTILIZAREA SIMULĂRILOR SOFTWARE PENTRU PROIECTAREA RADIOPROTECŢIEI SISTEMELOR DE SCANARE

SOFTWARE SIMULATION FOR DESIGNING RADIOPROTECTION OF SCANNING SYSTEMS

Nicuşor Bîrsan *(nicusor.birsan@mbtelecom.ro)*, Doru-Petru Munteanu,
Emil Studineanu, Ovidiu Popovici, Constantin Sima, Anton Coroianu
MB Telecom Ltd SRL

Abstract: The paper describes the approach of MB Telecom Ltd SRL (MBT) for designing high performance radiography systems while maintaining the radiation within the limits prescribed by international norms. The design of radiography systems implies a good balance between imaging performance, the possibility of extracting additional information (e.g. nature of materials), radiation protection and costs. The estimation of the parameters from the design phase is even more important as they cannot be improved after the system is realized (for example, the dose flow cannot be reduced for a certain source flow, the atomic number (Z) can no longer be extracted if the disturbances introduced by the geometrical deformations of the system are too great. The main performance indicators of the X-ray system are considered as image quality (steel penetration, wire detection, contrast sensitivity, spatial resolution); discrimination of materials; radiation protection. For the estimation of the parameters of the X-ray system, both analytical methods and Monte Carlo methods are used.

Rezumat: Lucrarea descrie abordarea MB Telecom Ltd SRL (MBT) pentru proiectarea sistemelor de radiografiere performante în condiţiile menţinerii expunerii la radiaţii în limitele prescrise de normele internaţionale. Proiectarea sistemelor de radiografiere presupune o bună balansare între performanţe de imagistică, posibilitatea extragerii informaţiilor suplimentare (ex. natura materialelor), protecţie radiologică şi cost. Estimarea parametrilor încă din faza de proiectare este cu atât mai importantă cu cât nu se mai pot îmbunătăţi după realizarea sistemului (de exemplu, debitul dozei nu mai poate fi redus pentru un anumit debit al sursei, numărul atomic (Z) nu mai poate fi extras dacă perturbaţiile introduse de deformările geometrice ale sistemului sunt prea mari). Se au în vedere principalii indicatori de performanţă ai sistemului de radiografiere cum ar fi calitatea imaginii (penetrarea în oţel, detecţia firelor, sensibilitatea de contrast, rezoluţia spaţială); discriminarea materialelor; protecţia la radiaţii. Pentru estimarea parametrilor sistemului de radiografiere se utilizează atât metode analitice cât şi metode Monte Carlo.

1. Introducere

Scanarea mijloacelor de transport este un factor important în descurajarea traficului cu diverse mărfuri periculoase precum droguri, arme, etc [1, 2]. Proiectarea sistemelor de radiografiere presupune un bun compromis între performanţe de imagistică, posibilitatea extragerii informaţiilor suplimentare (ex. natura materialelor), radioprotecţie şi cost. Estimarea parametrilor încă din faza de proiectare este cu atât mai importantă cu cât nu se mai pot îmbunătăţi după realizarea sistemului, de exemplu, rata dozei nu mai poate fi redusă pentru un anumit debit al sursei, numărul atomic (Z) nu mai poate fi extras dacă perturbaţiile introduse de deformările geometrice ale sistemului sunt prea mari. Pentru estimarea parametrilor sistemului de radiografiere se utilizează atât metode analitice cât şi metode Monte Carlo.

Pentru inspecţia de securitate a obiectelor mari, performanţele sistemului sunt evaluate după criteriile şi procedurile stipulate în ANSI/IEEE N42.46-2008 [3]. Standardul se aplică tuturor vehiculelor încărcate sau goale (incluzând containere marine şi aeriene, încărcături pe paleţi cu secţiunea transversală mai mare de $1m^2$). De asemenea, se aplică tuturor surselor, fie că sunt mono-energetice (radiaţie gamma) sau cu spectru larg (radiaţie X), precum şi celor care se bazează pe retroimpraştiere (backscatter). Standardul este introdus pentru definirea procesului şi cerinţelor echipamentului pentru măsurarea precisă a performanţelor sistemului de imagistică.

Respectarea standardului impune utilizatorilor efectuarea unui set de teste care caracterizează performanţele de imagistică ale sistemului de inspecţie. În plus, standardul include câmpul radiat în jurul echipamentului de testat, ca parte a caracterizării performanţei sistemului. Aceasta arată un contur al izodozei pentru 1 mSv/an, valoarea limită legală pentru lucrătorii care ar putea fi prezenţi 2000 de ore pe an la limita zonei de excludere. De asemenea, este specifică măsurarea altor nivele de expunere la radiaţie în scopul comparării cu alte sisteme. Obiectivul standardului este de a permite fabricanţilor, utilizatorilor potenţiali şi părţilor terţe să aibă un indicator consistent privind performanţele sistemului de verificare atunci când utilizează un sistem pentru inspecţia încărcăturii şi vehiculelor. Pentru aceasta standardul specifică un dispozitiv de testare care trebuie utilizat în scopul detectării obiectelor de test specifice, localizate în spatele plăcilor de oţel de diferite grosimi. Cu un asemenea dispozitiv se pot obţine măsurători standard pentru un număr de cerinţe de imagistică care cuprind: penetrarea, rezoluţia spaţială, detecţia firelor şi sensibilitatea de contrast. De asemenea, standardul specifică metoda de testare utilizând

dispozitivul de testare, care pentru cargo trebuie să se găsească la înălţimi bine definite, în funcţie de destinaţia scanerului.

2. Scurtă descriere a simulatorului

Simularea numerică este unealta principală utilizată pentru estimarea performanţelor sistemului de radiografiere. Există multe pachete software pentru simularea interacţiunii radiaţiei cu materia însă pentru produsele complexe dezvoltate în cadrul organizaţiei noastre am ajuns la concluzia că este mai rapid, mai simplu şi mai orientat pe specificul aplicaţiei să dezvoltăm propriul simulator.

Au fost dezvoltate două nuclee de simulare principale:

- *nucleu analitic* - un instrument care calculează spectrul fotonilor de raze X sau gamma la interacţiunea cu materia; se utilizează coeficienţi din baza de date XCOM de la NIST [4];
- *nucleu Monte Carlo (MC)* - oferă o imagine completă despre interacţiunea fotonilor cu materia, probabilităţile şi distanţa liberă, free path, sunt de asemenea calculate pe baza tabelelor XCOM.

Modelele au fost validate prin rularea multor cazuri de interacţiune şi compararea cu date reale sau rezultate MC pentru nucleul analitic. Baza de date preluată de la XCOM conţine coeficienţi pentru domeniul 1keV la 10MeV care acoperă întreaga gamă de scanere construite de MBT: *raze X de joasă energie* (scanere de bagaje, autovehicule şi avioane) şi *raze gamma şi raze X de înaltă energie* (scanere pentru inspecţia autocamioanelor şi containerelor).

În Fig. 1 sunt prezentate curbele de atenuare pentru materialele de interes în domeniul scanerelor destinate sistemelor de inspecţie pentru securitate, cu culorile în care sunt clasificate în imaginea radiografică cu discriminare de material.

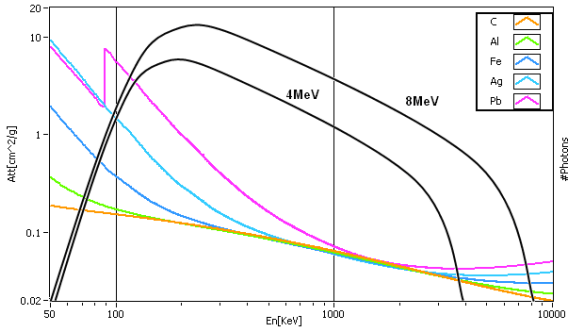


Fig. 1. Atenuarea pentru diferite materiale şi distribuţia Bremsstrahlung pentru 4/8 MeV

3. Simulatorul analitic

Simularea comportării sistemului de imagistică este implementată în LabVIEW sub forma unei biblioteci de instrumente virtuale (VI). Aceste module de simulare sunt cu atât mai utile cu cât pot fi utilizate încă din faza de concepere a sistemului, când nu este nimic construit sau nici măcar proiectat, deci nu sunt disponibile date experimentale. Abordarea este una fericită din moment ce literatura de specialitate conţine şi asemenea date sau măcar sinteze ale datelor experimentale. Având la dispoziţie acest simulator global al sistemului se pot impune ulterior parametri de performanţă necesari pentru componentele critice ale sistemului de scanare.

Deoarece se urmăreşte estimarea principalilor parametri ai sistemului şi a dependenţei acestora de construcţia şi caracteristicile funcţionale ale sistemului real, s-a căutat implementarea unui model simplu care să ofere un timp scurt de execuţie. În acest mod se pot evalua rapid limitările tehnologice sau fizice precum şi direcţiile de îmbunătăţire a sistemului.

3.1. Prezentare succintă a algoritmului implementat

Implementarea VI pentru modelarea interacţiunii fotonilor cu materia se bazează pe coeficienţii din baza de date XCOM, de unde sunt preluaţi coeficienţii pentru împrăştiere şi absorbţie pentru materiale cu număr atomic Z mai mic de 100.

Simularea exactă a împrăştierilor este dificil de realizat presupunând şi o descriere exactă a obiectelor care se găsesc în calea fasciculului de fotoni. De aceea împrăştierile intervin în model doar ca atenuări pentru obiectele scanate.

Aşa cum se prezintă în Fig. 2 sursa de radiaţie este considerată punctiformă iar obiectul scanat este caracterizat doar prin material şi grosime.

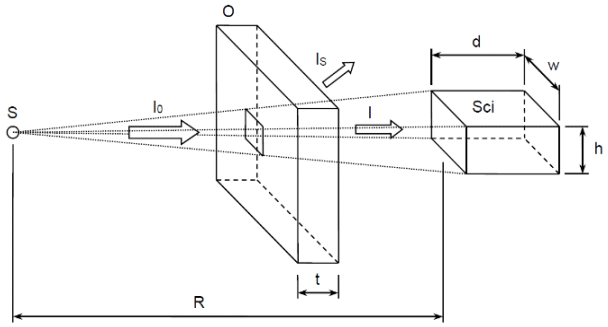


Fig. 2. Geometria sistemului de simulare analitică

Cunoscând grosimea *t*, densitatea şi coeficienţii de împrăştiere şi absorbţie se poate determina transparenţa obiectului O şi intensitatea I care ajunge la scintilator:

$$I = I_0 e^{-\mu_T X} \tag{1}$$

unde $\mu_T = \mu_C + \mu_S + \mu_A$ sunt coeficienţi de împrăştiere coerentă, împrăştiere incoerentă (Compton) şi, respectiv, de atenuare prin diferite efecte (fotoelectric la energii mici, producere de perechi la energii mari); $X = \rho \cdot t$ reprezintă produsul dintre densitatea şi grosimea materialului; I_0 reprezintă numărul total de fotoni generaţi de o sursă omnidirecţională în unitatea de timp. Astfel, poate fi uşor determinat fluxul recepţionat de o suprafaţă aflată la o anumită distanţă de sursă. De exemplu, prin suprafaţa scintilatorului putem spune că va trece fasciculul de intensitate I_{Sci}

$$I_{Sci} = I \frac{\Omega}{4\pi} \tag{2}$$

unde $\Omega = 4 \arctan\left(\frac{wh}{2R\sqrt{4R^2 + w^2 + h^2}} \right)$ reprezintă unghiul solid sub care se vede scintilatorul dinspre sursa de radiaţie, *R, w, h* sunt dimensiunile prezentate în Fig.2. Din numărul total de fotoni care intră în scintilator o parte sunt convertiţi în fotoni din domeniul vizibil care sunt „văzuţi" de traductor (fotodiodă sau PMT). Într-un model simplificat la ieşirea scintilatorului se obţine intensitatea

$$I_V = K_{Sci} I_{Sci} \left(1 - e^{-\mu_T X_{Sci}}\right) \left(\frac{\mu_{ASci}}{\mu_{TSci}} + k_S \frac{\mu_{SSci}}{\mu_{TSci}} \right) \tag{3}$$

Cu alte cuvinte, o parte din fotonii împrăştiaţi sunt absorbiţi de scintilator (coeficientul k_S).

3.2. Validarea generării spectrului Bremsstrahlung

În literatură există puţine expresii analitice pentru exprimarea spectrului radiaţiei emise de generatoare de raze X. Cel mai adesea se efectuează simulări Monte Carlo iar apoi forma spectrului este aproximată printr-o ecuaţie. Oricum, o astfel de ecuaţie este dată încă din 1923 sub forma regulii lui Kramers [5]

$$I(E) = K \cdot i \cdot Z (E_{\max} - E) \tag{4}$$

unde i - curentul prin tub, Z - numărul atomic al ţintei, K - constanta lui Kramer. Constanta lui Kramer trebuie să depindă de tubul generator dar nu a fost găsită o expresie în funcţie de parametrii constructivi ai generatorului. Deoarece sunt simulate doar generatoare cu tungsten, în modelul simulatorului a fost introdusă constanta:

$$K \cdot i \cdot Z = \frac{1}{4\pi} \frac{hc}{e} \frac{i}{e} \tag{5}$$

unde h - constanta lui Planck, c- viteza luminii, e - sarcina electronului, i/e - numărul total de electroni din fascicul.

Astfel, generatorul simulat este analog unei surse naturale de radiaţie, fiind punctiform, omnidirecţional, dar cu intensitatea spectrală dată de ec. (4). Fiecare componentă spectrală, cu lăţimea de 1 KeV, reprezintă numărul de fotoni pe steradian (1/sr). Pentru validare s-au utilizat alte simulatoare precum şi date ale unor generatoare reale. De exemplu, în ref. [6] este prezentat un mediu de simulare a spectrului emis de tuburi generatoare de raze X numit SpekCalc, software care poate fi descărcat de pe pagina de Internet a autorului. SpekCalc generează numeric spectrul energetic al radiaţiei doar pentru generatoare de energie medie, până la 300KeV. Deşi are această limitare, comparaţia modulului din simulatorul MBT cu rezultatele obţinute cu SpekCalc oferă o bună apreciere a corectitudinii calculelor şi limitările unui sistem simplificat, în comparaţie cu un mediu de simulare bazat şi pe date empirice rezultate în urma multor experimente efectuate de autorii lucrării [6].

Dacă se compară spectrele Bremsstrahlung simulate în SpekCalc cu cele obţinute în simulatorul dezvoltat în cadrul fazei curente se observă că forma celor două este asemănătoare însă există diferenţe numerice, ca în Fig.3, pentru un sistem cu energia maximă din spectru de 300KeV.

Pentru compararea rezultatelor obţinute în simulator cu măsurătorile efectuate pe sisteme reale a fost examinată foaia de catalog a acceleratorului LINS-06-100-MBT, prezentată în oferta firmei RadiaBeam Systems, LLC. Parametrii filtrului intrinsec din fereastra de ieşire au fost consideraţi 0.4 mmW, + 2mm Cu.

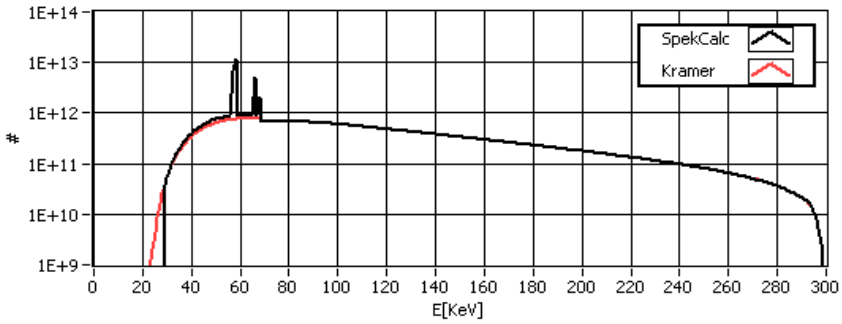


Fig. 3. Comparaţie între spectrele obţinute cu SpekCalc şi simulatorul analitic

Tabelul 1. *Doze reale şi simulate pentru LINS-06-100*

Caracteristica	Real	Simulat
Average current (3 MeV only @ 200 Hz)	325 μA	325 μA
Average current (6 MeV only @ 200 Hz)	100 μA	100 μA
X-ray Dose Rate (3 MeV only @ 200 Hz)	6.5 Gy/min @ 1m	**6.58** Gy/min @ 1m
X-ray Dose Rate (6 MeV only @ 200 Hz)	15 Gy/min @ 1m	**14.25** Gy/min@ 1m

Cu toate că se pot obţine debite uşor diferite putem spune că erorile de simulare sunt acceptabile şi simulatorul poate fi folosit pentru simularea generatoarelor de raze X cu tuburi şi acceleratoare liniare.

3.3. Validarea modulului de interacţiune cu materia

Simularea unui sistem de imagistică radiografică se bazează în primul rând pe modelul interacţiunii fotonilor cu atomii obiectului scanat. De implementarea corectă a acestui modul depinde precizia simulărilor şi, ca urmare, justeţea deciziilor în proiectarea sistemului. Chiar şi în exemplul comparativ cu LINAC real a fost utilizat modulul de interacţiune cu materia (de exemplu, calculul dozei se bazează pe interacţiunea fotonilor cu apa).

În ref. [7] este prezentat un sistem de scanare dual cu energii de 8/4 MeV împreună cu rezultatele obţinute la Efremov Scientific Research Institute, St. Petersburg, Rusia. Din lucrare au fost extraşi parametrii constructivi şi funcţionali ai sistemului, grupaţi în Tabelul 2.

Tabelul 2. *Parametrii sistemului 8/4MeV [7]*

Parametru	Valoare	Obs
E_1	7500 KeV	
E_2	4600 KeV	
Durata impulsului	5 μs	
Doza recepţionată de detectori (E_1)	330 μGy	Raport $T(E_1)/T(E_2)=11$
Doza recepţionată de detectori (E_2)	30 μGy	
Detectori CdWO4	3x3x20 mm	
Filtru Bremsstrahlung	4 mm Pb	

Calibrarea parametrilor introduşi în simulator se face pe baza algoritmului:

– introducerea filtrului de plumb de 4 mm;

– modificarea grosimii stratului de tungsten;

– ajustarea curentului în impuls pentru energia E_1 până când raportul semnal/zgomot ajunge la valoarea măsurată ($SNR_1 = 221$);

– ajustarea raportului IE_2/IE_1 până când raportul semnal/zgomot pentru energia E_2 ajunge la valoarea măsurată ($SNR_2 = 76$). Urmând acest algoritm s-au dedus: $t_w = 0.2mm$, $t_{Cu} = 1mm$, $IE_1 = 45mA$ şi $IE_2/IE_1 = 1/3$.

Cu aceste intrări a fost simulată interacţiunea cu fier având aceeaşi grosime ca în lucrarea menţionată. Rezultatele sunt prezentate comparativ în Tabelul 3.

Tabelul 3. *Comparaţie între rezultatele experimentale din [7] şi simulare*

		X[g/cm^2]					
		0	***20***	***40***	***60***	***80***	***120***
T(E_1)	***O&P***	1.0000	0.4368	0.2039	0.0989	0.0491	0.0127
	SIM	1.0000	0.4396	0.2057	0.0998	0.0495	0.0128
SNR$_1$	***O&P***	221.00	136.00	98.00	64.00	42.00	23.00
	SIM	221.24	138.07	90.85	61.58	42.48	20.85
T(E_2)	***O&P***	1.0000	0.3732	0.1527	0.0658	0.0295	0.0065
	SIM	1.0000	0.3772	0.1547	0.0669	0.0300	0.0065
SNR$_2$	***O&P***	76.00	43.00	27.00	17.00	9.00	4.00
	SIM	75.75	43.25	26.38	16.75	10.91	4.86

Raportul transparenţelor pentru cele două impulsuri a fost diferit faţă de cel prezentat în lucrare ($T(E_1)/T(E_2) = 13.5$ faţă de $T(E_1)/T(E_2) = 11$, în Tabelul 3).

4. Simulatorul MC

Simulatorul analitic este foarte rapid, oferind rezultate utile în câteva secunde de calcul pe o configuraie hardware uzuală (ex. cu procesor Intel i7), dar nu poate surprinde aspecte importante precum geometria sistemului de scanare şi a mediului în care operează. De aceea, după proiectarea rapidă a sistemului în simulatorul analitic, parametrii sunt verificai în simulatorul MC, mai cronofag dar cu rezultate mai precise şi mai complete.

Nucleul de simulare este implementat în C++ pentru creşterea vitezei de rulare dar interfaţa grafică şi algoritmul de simulare pentru diverse cazuri de test sunt tot în LabVIEW.

Modelele 3D pot fi preluate din proiectul mecanic al scanerului sau desenate simplificat (ex. în Autodesk 3ds Max Design). Intrarea în simulator se face cu modele STL, pentru care există deja instrumentele de citire în LabVIEW.

4.1. Strategii de simulare

Din moment ce generatorul de fotoni este deja validat în simulatorul analitic, ieşirea acestuia constituie intrare şi pentru nodul MC, ca spectru energetic.

Simularea MC este cronofagă şi reluarea întregii simulări pentru diverse cazuri de utilizare este o abordare care ar întârzia mult obinerea rezultatelor. De aceea se simulează mai întâi doar generatorul şi se salvează datele în fişiere. Deşi aceste fişiere au volum mare la început, când modelul conţine doar sursa

de radiaii, pe măsură ce se adaugă ecranarea şi ţinta, dimensiunea fişierelor se reduce semnificativ, pentru mulţi fotoni îşi pierd energia. Strategia permite şi validarea modelului încă din primele iteraţii. De exemplu în Fig.4. este prezentată radiaţia de scăpări pentru un accelerator liniar.

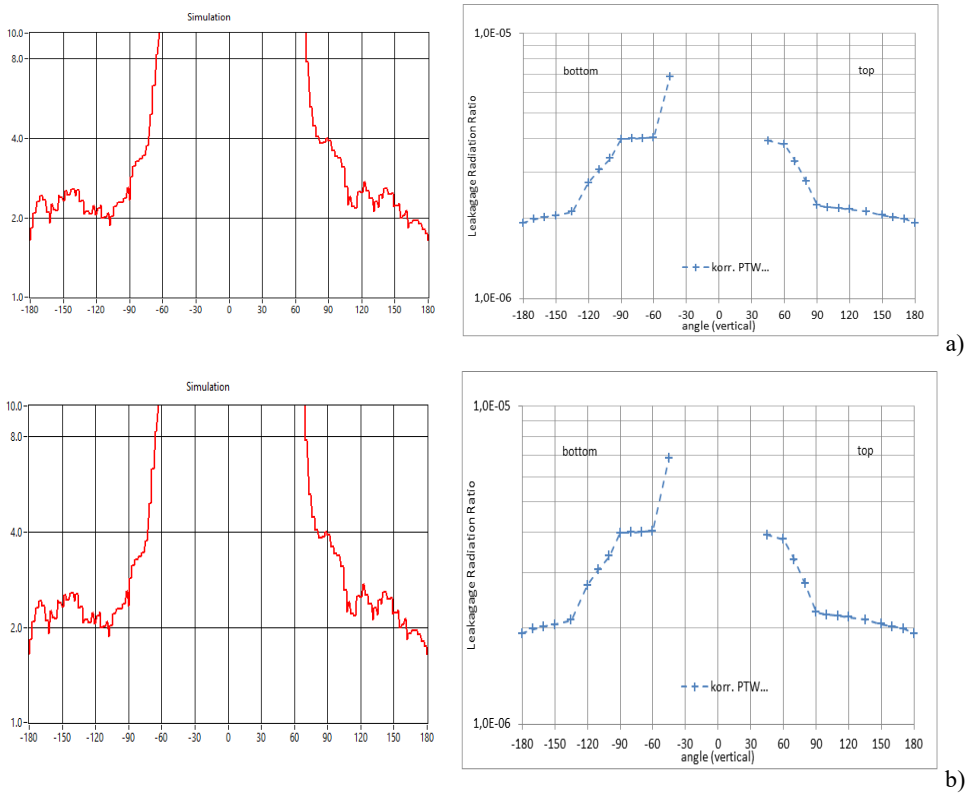


Fig. 4. Radiaţia de scăpări pentru un LINAC: simulare şi date reale:
a) în plan orizontal; b) în plan vertical

Se observă o bună concordanţă între profilul măsurat, în imaginile din dreapta, cu profilul obţinut prin simulare MC. Ca urmare modelul ecranului acceleratorului este validat pentru acest accelerator cu scăpări de $2x10^{-6}$.

4.2. Exemple de rezultate obţinute

Simulatorul îşi găseşte utilitatea în multe scenarii de utilizare şi cazuri de test:

– obţinerea de radiografii sintetice pentru estimarea performanţelor,
– măsurarea debitului de doză în perimetru şi la marginea acestuia,
– estimarea dozei integrate pe perimetru şi trasarea izodozelor,
– prezentarea de diverse alte măsurători simulate.

În Fig. 5 este prezentat un exemplu de scenariu de simulare, doza integrată pentru un portal de scanare cu LINAC. Scenariul simulat este cel mai defavorabil, în sensul că prin portal trece un container ISO de 40' plin cu materiale organice precum cereale, fapt ce conduce la o absorbţie redusă în ţinta scanată şi creşterea radiaţiei împrăştiate pe perimetru.

Izodozele sunt desenate pentru un flux de 180 vehicule pe oră, doza integrată de 0.5 µSv pe oră este echivalentă cu maximul de 1mSv pe an permis pentru persoane ce lucrează 2000 ore pe an. Dacă se utilizează ziduri de ecranare de 50 cm în faţa fasciculului şi 25 cm în rest atunci doza integrată în afara perimetrului de 40x10 m este comparabilă cu fondul.

Pentru validarea completă a scanerului cu simulatorul MC se obţin şi radiografii sintetice cu aceeaşi configuraţie şi parametri ai sistemului de scanare (accelerator, colimator, detectori, energie şi debit). Simulatorul poate exporta imaginile în formatul acceptat de aplicaţiile reale ale scanerului şi pot fi vizualizate în programele de analiză a imaginilor.

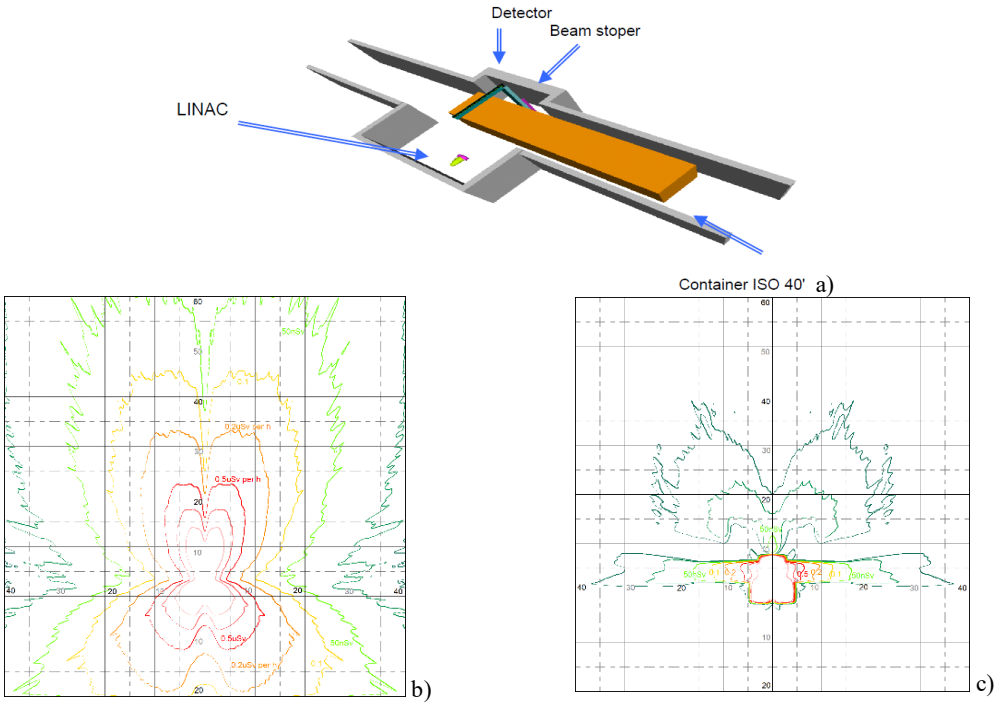


Fig. 5. Doza integrată pe perimetru pentru un portal cu LINAC:
a) scenariu, b) fără ziduri de ecranare; c) cu ziduri

În Fig.6, pe imaginea obţinută pentru testul de penetrare, săgeată cu grosimea de 60 mm în spatele unei plăci de 300mm, este aplicat filtrul *increased penetration* şi este prezentată cu filtrul pseudo-color.

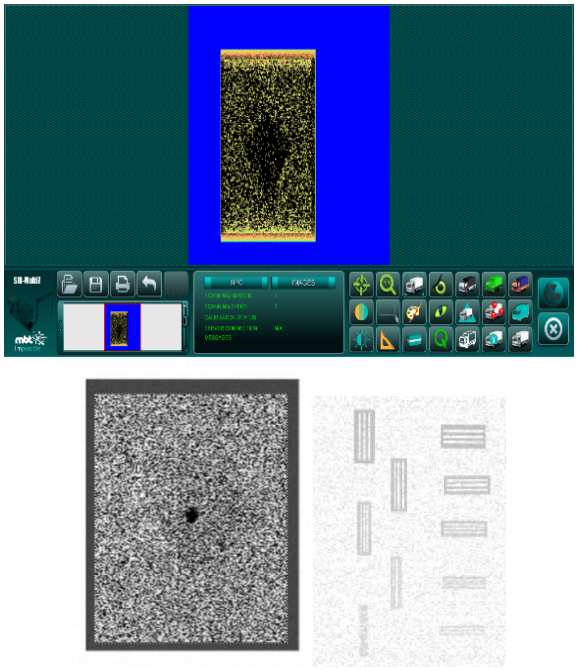


Fig. 6. Radiografii obţinute prin simulare MC penetrare, contrast şi rezoluţie spaţială

Tot în aceeaşi figură se observă imaginea de test pentru contrast, 1mm de fier în spatele unei plăci de 100mm, ceea ce înseamnă o sensibilitate de contrast de 1% pentru grosimi de 100mm. Pentru observarea obiectului de test şi orientarea acestuia pe imaginea radiografică este aplicat un filtru de egalizare locală a histogramei. Un alt exemplu prezentat în Fig.6 este testul de rezoluţie spaţială în aer.

5. Concluzii

Obţinerea unor doze reduse în sistemele mari de radiografiere necesită o analiză atentă a întregului sistem. Mărimea şi forma petei focale, colimarea, detectorii şi beam stopper afectează atât imagistica cât şi radioprotecţia. Proiectarea pleacă de la cerinţele de performanţă ţinând cont şi de modul de scanare. Aceasta conduce la alegerea parametrilor importanţi ai sistemului: energia, rata dozei, cerinţe de colimare şi configuraţia detectorilor. Apoi aceşti parametri sunt utilizaţi ca intrări pentru proiectarea colimatoarelor şi ecranelor de protecţie pentru obţinerea celui mai redus profil de radiaţie.

Verificarea proiectului în simulatorul MC înainte de construcţie permite validarea proiectului cu mult timp înainte de construcţia scanerului, permiţând modificarea proiectului, dacă este cazul. De aceea îmbunătăţirea mediului de simulare constituie un efort continuu în MB Telecom Ltd, SRL, ca o premisă pentru construirea unor scanere performante.

Bibliografie

[1] Ahmed S. N., *Physics and Engineering of Radiation Detection*, Academic Press, 2007.
[2] Miller, E.A., Caggiano, J.A., Runkle, R.C., White, T.A. and Bevill, A.M., 2011. *Scatter in cargo radiography*. Applied Radiation and Isotopes, 69(3), pp.594-603.
[3] *** *American National Standard for Determination of the Imaging Performance of X-Ray and Gamma-Ray Systems for Cargo and Vehicle Security Screening*, ANSI N42.46-2008.
[4] *** XCOM: Photon Cross Sections Database, NIST Standard Reference Database 8 (XGAM) http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm.
[5] Kramers, H. A.,*On the theory of X-ray absorption and of the continuous X-ray spectrum*, Philosophical Magazine, Vol. 46, 1923, pp 836-871.
[6] Poludniowski, G.G. and Evans, P.M., 2007. *Calculation of x‐ray spectra emerging from an x‐ray tube. Part I. Electron penetration characteristics in x‐ray targets*. Medical physics, 34(6Part1), pp.2164-2174.
[7] Ogorodnikov, S. and Petrunin, V., 2002. *Processing of interlaced images in 4–10 MeV dual energy customs system for material recognition.* Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams, 5(10), p.104701.

Sistemul de Scanare Mobil cu Accelerator Liniar 4/6 MeV tip ROBOSCAN Ml64, pentru care protecţia radiologică a fost proiectată si optimizată cu ajutorul simulatorului software.

INFORMAȚII ● ȘTIRI ● OPINII

INFLUENŢA LUMINOZITĂŢII ŞI A CONTRASTULUI ASUPRA EXAMINĂRILOR NEDISTRUCTIVE

HOW BRIGHTNESS AND CONTRAST IMPACT NDT INSPECTIONS

Emily Gibbons, Marketing Manager MAGNAFLUX
ing Florin Tricorache – Director General SC TEST TRADING Srl
Dealer MAGNAFLUX pentru ROMANIA Tel: + 40 21 2038971,
www.ndt-test-trading.ro

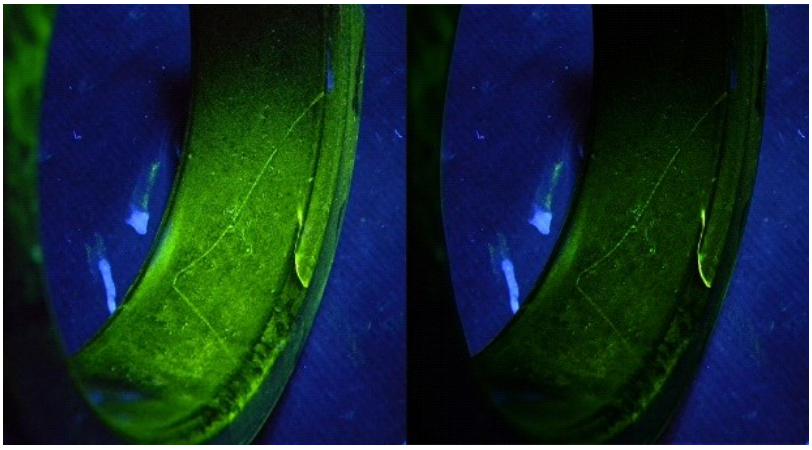
Abstract

Most nondestructive tests which rely on colored or fluorescent materials to identify discontinuities use the human eye as the primary detector.
In other words: the inspector needs to see the indication for the test to be successful.
There are many factors which can impact an inspector's ability to identify an indication. The amount of ambient light or UV light present, an inspector's vision acuity and an inspector's dark adaptation when performing an inspection are just a few examples which are commonly sighted and controlled for under industry standards.
In this article, we look at how perception and neighboring objects can have a significant, but currently unmeasured, impact on probability of detection

Introducere

Majoritatea examinărilor nedistructive care se bazează pe materiale colorate sau fluorescente pentru a identifica discontinuităţile folosesc ochiul uman ca detector primar. Cu alte cuvinte, pentru succesul examinării, inspectorul trebuie să vadă indicaţia.

Există mulţi factori care pot avea impact asupra capacităţii unui inspector de a identifica o indicaţie. Cantitatea de lumină ambientală sau prezenţa luminii UV, acuitatea vizuală a unui inspector şi capacitatea de adaptare la întuneric a inspectorului atunci când efectuează o examinare sunt doar câteva exemple care sunt observate în mod obişnuit şi controlate în conformitate cu standardele industriale.



Cu toate acestea, există şi alţi factori care influenţează capacitatea unui inspector de a detecta vizual o indicaţie, care sunt adesea mai puţin luaţi în considerare la configurarea sau efectuarea unei examinări cu particule magnetice sau a unei proceduri de examinare cu lichide penetrante. În acest articol, analizăm modul în care percepţia şi obiectele învecinate pot avea un impact semnificativ, dar care nu este măsurat în prezent, asupra probabilităţii de detectare.

Care este influenţa luminozităţii şi a culorii asupra a ceea ce vedeţi

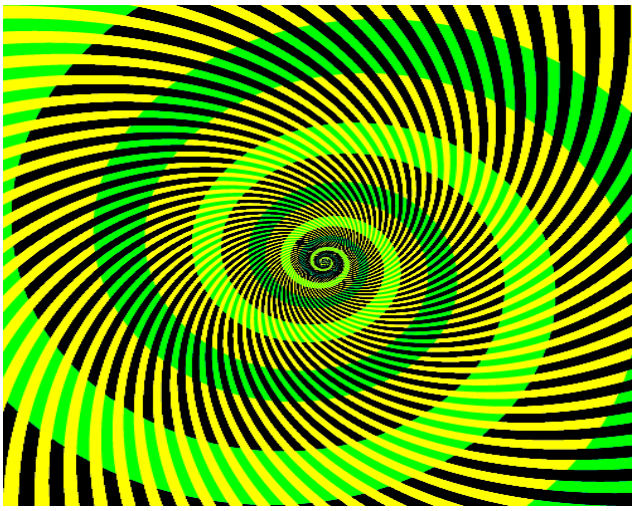
Ce vedeţi când priviţi următoarea imagine? Văd o spirală de un galben-verde strălucitor şi o spirală verde-turcoaz intersectate de raze galbene şi albastre. În mod clar, există două nuanţe de verde foarte diferite.

Copyright Akiyoshi Kitaoka 2002 (c)Akiyoshi Kitaoka "Trick eyes" Tokyo: KANZEN 2002

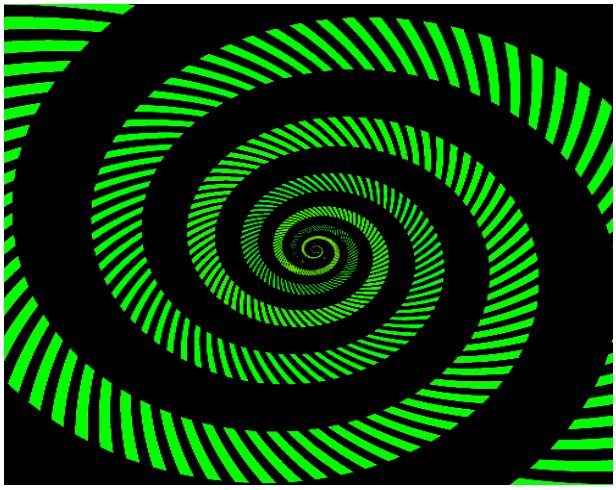
Dar greşesc...
există o singură nuanţa de verde!
Spirala galben-verde strălucitor şi spirala verde-turcoaz sunt exact de aceeaşi culoare.

Nu mă credeţi? Puteţi măsura valorile pixelilor de culoare pentru fiecare spirală sau puteţi utiliza un colorimetru pentru a măsura culoarea, dar rezultatele vă vor demonstra că galben-verde strălucitor şi verde-turcoaz din imaginea de mai sus sunt aceeaşi culoare verde strălucitor.

Pentru a demonstra acest lucru, putem începe prin înlocuirea cu negru a fundalului albastru din prima imagine.

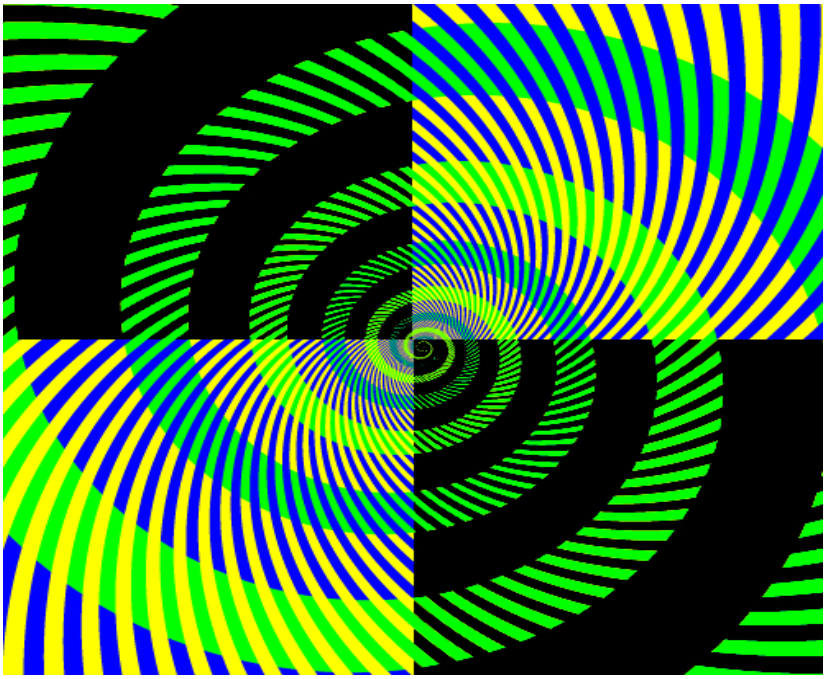


În continuare vom elimina fundalul galben:



Acum este evident că spiralele au aceeaşi nuanţa de verde.
Crezi că am schimbat culorile?
Dacă juxtapunem imaginea iniţială (cu fundalul galben şi albastru) cu imaginea finală modificată (cu

fundalul negru) puteţi urmări o singură spirală pentru a vedea că nuanţa de verde rămâne aceeaşi.

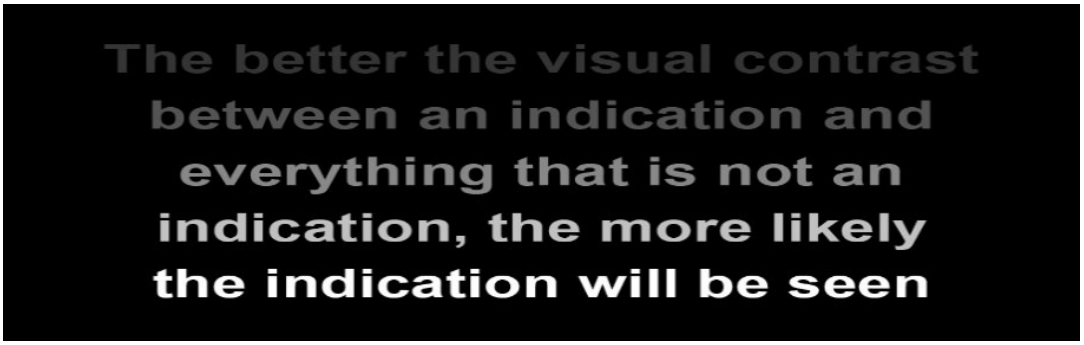


Această demonstraţie este mai mult decât un truc impresionant de salon – poate fi utilizată pentru a demonstra cât de subiective pot fi percepţiile noastre în privinţa culorilor în timpul examinărilor nedistructive cu fluorescenţă.

Deci, cum funcţionează această iluzie?

Potrivit lui Ben Backus de la Backus Labs şi Colegiului de Optometrie SUNY, *"Această iluzie funcţionează deoarece sistemul vizual măsoară culoarea la o scară spaţială mai grosieră decât luminanţa (adică luminozitatea). Astfel, culoarea aparentă a unui obiect mic poate fi contaminată de culorile obiectelor învecinate, ceea ce este foarte bine demonstrat de această iluzie. Atunci când culoarea verde este încadrată de galben, aceasta pare mai gălbuie decât atunci când este încadrată de albastru."*

Cu alte cuvinte, modul în care percepem culoarea unui obiect este adesea determinat de culorile şi luminozitatea obiectelor învecinate, iar acest efect este amplificat atunci când privim obiecte sau contururi mici – cum are fi indicaţiile sau discontinuităţile.



Ochiul uman, precum şi alte dispozitive de detectare, utilizează contrastul pentru a detecta o indicaţie în timpul unei examinări nedistructive, astfel încât este esenţial să existe suficient contrast între indicaţie şi restul suprafeţei. În caz contrar, va fi mai dificil pentru inspector să vadă indicaţia, mai ales dacă aceasta este foarte fină.

Cu cât este mai mare contrastul între indicaţie şi fundal, cu atât este mai probabil ca inspectorul să vadă indicaţia. În ceea ce priveşte examinarea cu particule magnetice şi lichide penetrante, există două tipuri de contrast care trebuie luate în considerare: contrastul de luminozitate şi contrastul de culoare.

Contrastul de luminozitate

Luminozitatea se referă la cantitatea de lumină reflectată de o suprafaţă, ceea ce noi vedem cam cât de "luminoasă" sau cât de "întunecată" este o culoare sau o imagine.

Un obiect cu luminozitate ridicată va reflecta cea mai mare parte a luminii care ajunge pe suprafaţa sa, făcând ca obiectul să pară "luminat" sau "luminos".

Un obiect cu luminozitate scăzută va absorbi o mare parte din lumina care ajunge pe suprafaţa sa, astfel încât obiectul pare "întunecat". Contrastul de luminozitate este diferenţa de luminozitate a două suprafeţe adiacente.

În examinarea nedistructivă, nu contează dacă indicaţia are luminozitate ridicată sau scăzută, contează doar că restul suprafeţei, fundalul, să fie de luminozitate opusă.

Contrastul de luminozitate în examinarea vizuală

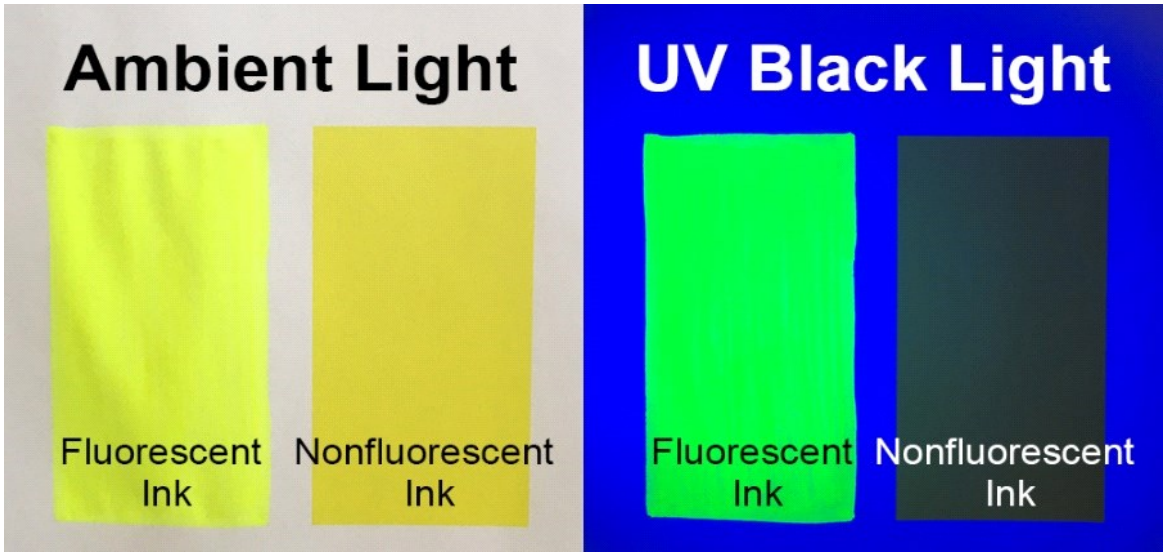
Indicaţiile vizibile cu lichide penetrante şi particule magnetice sunt de obicei de luminozitate redusă (exemple: lichid penetrant roşu sau particule magnetice negre) pe un fundal cu luminozitate ridicată (cum ar fi fundalul alb produs de revelator sau vopsea de contrast).

Raportul contrastului de luminozitate pentru cele mai vizibile examinări luminoase este 9:1, ceea ce este suficient pentru ca ochiul uman să detecteze, atâta timp cât indicaţia este suficient de mare pentru a fi rezolută.

Contrastul de luminozitate în examinarea fluorescentă

În examinările nedistructive fluorescente, indicaţia este foarte luminoasă deoarece materialul fluorescent absoarbe lumină ultravioletă de mare energie, care este invizibilă pentru ochii noştri şi reflectă înapoi această lumină la un nivel mai redus de energie, care este vizibilă pentru ochii noştri şi pe care o percepem ca pe o lumină "strălucitoare".

Dar, deoarece lumina ultravioletă conţine mai multă energie decât lumina vizibilă, atunci când colorantul fluorescent reflectă lumina vizibilă spre ochii noştri, acesta reflectă MAI MULTĂ lumină vizibilă, ceea ce crează "strălucirea" pe care o vedem.



De asemenea, fără altă lumină ambientală vizibilă în zona întunecată unde se face examinarea, ochii noştri primesc mai multă lumină reflectată din colorantul fluorescent decât dacă ar fi fost prezentă şi o altă lumină albă vizibilă.

Indicaţiile fluorescente "strălucitoare" de luminozitate ridicată contrastează puternic cu fundalul de contrast redus din mediul întunecat pentru a produce un raport mare de contrast de luminozitate de 200:1 sau mai mare, semnificativ mai mult decât raportul în examinarea cu lumină vizibilă.

Contrastul de culoare

Contrastul de culoare este diferenţa de culoare (lungime de undă) şi saturaţie (cantitatea de lungime de undă) dintre două culori de luminozitate egală.

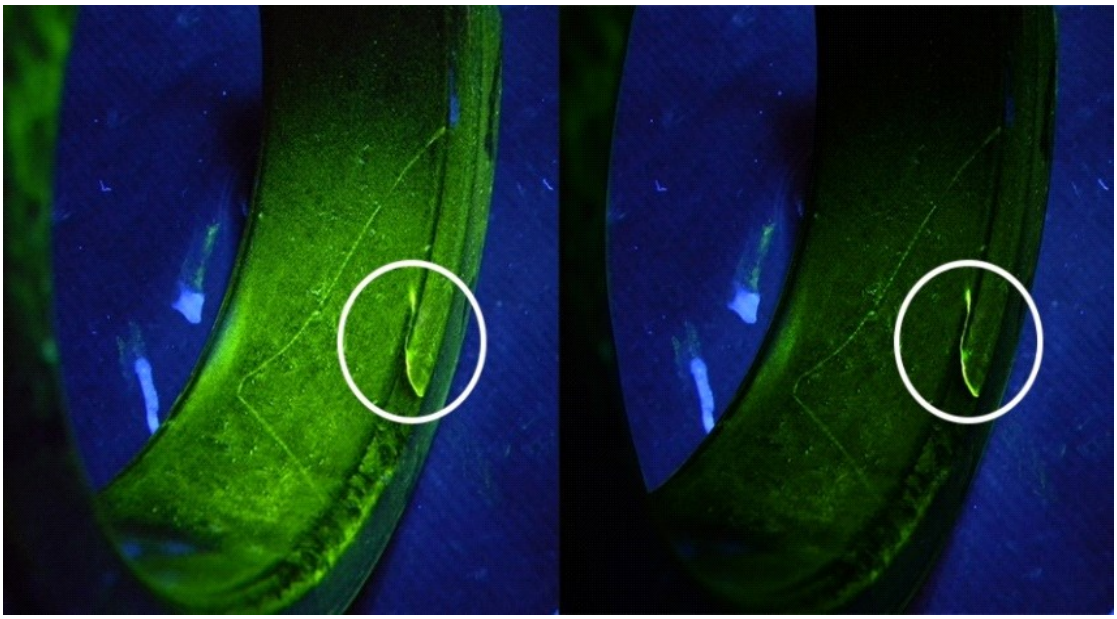
În pofida iluziei vizuale dramatice cu care am început, contrastul de culoare joacă un rol mai mic în ceea ce priveşte detectabilitatea în examinările nedistructive decât luminozitatea, dar este totuşi un factor important de luat în considerare la selectarea materialelor şi iluminării pentru o examinare cu particule magnetice sau cu lichide penetrante.

Cu toate acestea, ca şi în cazul luminozităţii, cel mai important factor pentru culori în examinarea nedistructivă este cât de diferită este culoarea indicaţiei faţă de culoarea restului piesei.

La examinările cu lichide penetrante vizibile şi fluorescente, revelatorii se utilizează în mod obişnuit pentru a îmbunătăţi contrastul de culoare deoarece aceştia produc un fundal alb strălucitor care reflectă semnificativ mai multă lumină decât lichidul penetrant, mărind astfel contrastul indicaţiei. Acelaşi lucru este valabil şi pentru vopseaua albă de contrast utilizată în examinările cu particule magnetice vizibile.

Care este impactul luminozităţii şi contrastului asupra examinărilor nedistructive

În iluzia culorilor de la începutul acestui articol aţi văzut cum culorile înconjurătoare şi luminozitatea pot transforma literalmente lucrurile pe care le vedem.



În imaginea de mai sus puteţi vedea cât de mult iese în evidenţă o indicaţie atunci când fundalul este mult mai întunecat decât indicaţia fluorescentă.

Acelaşi principiu se aplică atunci când inspectorii evaluează o piesă pentru indicaţii: ceea ce se întâmplă în jurul indicaţiei VA AVEA impact asupra capacităţii inspectorului de a identifica indicaţia. Acesta ar putea fi un fundal fluorescent excesiv ca în stânga imaginii de mai sus, prea multă lumină vizibilă în zona cabinei, neutilizarea revelatorului sau a vopselei albe de contrast pentru a reduce fundalul suprafeţei.

Există mulţi factori care concură la asigurarea unui contrast indicaţie/fundal cât mai mare posibil pentru cele mai de încredere examinări.

În iluzia culorilor de la începutul acestui articol aţi văzut cum culorile înconjurătoare şi luminozitatea pot transforma literalmente lucrurile pe care le vedem.

RECOMANDĂRI

1. Utilizaţi lichidul penetrant/particulele magnetice adecvate pentru aplicaţie

Ar putea fi tentant să utilizaţi cele mai mici particule magnetice sau lichidul penetrant cu cea mai mare sensibilitate disponibil dar, funcţie de aplicaţie, acest lucru s-ar putea să vă ofere o calitate generală mai redusă a examinării dacă ajungeţi la piese verzi strălucitoare cu fundal în exces sau dacă găsiţi o mulţime de indicaţii nerelevante.

Asiguraţi-vă că aveţi grijă atunci când selectaţi materialele adecvate pentru aplicaţia dumneavoastră specifică, pentru a vă maximiza probabilitatea de a găsi toate indicaţiile relevante.

Pentru lichidele penetrante, este foarte important ca fluorescenţa lichidului penetrant să reziste la procesare astfel încât indicaţiile să fie încă clare şi luminoase atunci când sunt evaluate. Unele lichide penetrante se pot degrada la căldură (într-un uscător) şi sub o lumină ultravioletă puternică (într-o cabină de examinare cu lumină UV puternică), deci asiguraţi-vă că aveţi un lichid penetrant robust care este conceput pentru a-şi păstra fluorescenţa. Acest lucru este deosebit de important dacă specificaţiile dumneavoastră necesită timp de uscare mai lung sau dacă există o întârziere între momentul prelucrării pieselor şi momentul examinării lor.

Pentru particulele magnetice, căutaţi particule magnetice durabile, care nu se vor degrada în timp. La particulele mai puţin durabile, pigmentul fluorescent se va separa în timp de particulele de fier, ceea ce va conduce la indicaţii cu mai puţină fluorescenţă şi va provoca un fundal în exces care poate ascunde indicaţiile. De asemenea, este important ca particulele să nu se adune împreună, particulele grupate nu se deplasează liber spre indicaţii şi produc o surafaţă cu pete/zone colorate de formă neregulată care pot masca indicaţiile.

2. Utilizaţi întotdeauna revelator sau vopsea albă de contrast

Revelatorii penetranţi şi vopseaua albă de contrast sunt concepute pentru a îmbunătăţi contrastul la examinarea cu lichide penetrante şi cu particule magnetice vizibile, şi acestea funcţionează.

Căutaţi un revelator sau o vopsea albă de contrast care să ofere o acoperire alb strălucitor, uniformă şi opacă. Cu un revelator bun sau vopsea albă de contrast nu veţi putea vedea deloc suprafaţa piesei, chiar şi cu un strat subţire de produs.

Încercaţi să aplicaţi revelatorul sau vopseaua albă de contrast în strat cât mai subţire cu putinţă, care să ofere totuşi o acoperire complet opacă.

3. Asiguraţi-vă că mediul de transport, produsele de curăţare, etc. sunt aprobate pentru examinări nedistructive

Asiguraţi-vă că singurul material cu fluorescenţă este lichidul penetrant sau particulele magnetice ale dumneavoastră.

Uleiurile de transport nespecifice pentru examinări nedistructive devin adesea fluorescente sub lumină ultravioletă, ceea ce crează automat un fundal pe orice suprafaţă a piesei şi interferează cu examinarea. Acelaşi lucru este valabil pentru orice aditiv sau produs de curăţare care este pus pe suprafaţa piesei.

Nu distrugeţi o examinare atent gândită şi executată folosind un mediu de transport, produs de curăţare sau aditiv care nu este aprobat NDT.

Examinarea nedistructivă este o industrie cu numeroase controale şi cerinţe standard, dintr-un motiv întemeiat! Atunci când este vorba despre siguranţă, este important ca toţi cei care au legătură ce examinarea nedistructivă să îşi facă treaba, pentru a se asigura că fiecare examinare este făcută corect.

Data viitoare când configuraţi o examinare cu particule magnetice sau efectuaţi o examinare cu lichide penetrante, gândiţi-vă puţin la fundal, luminozitate şi culoare şi întrebaţi-vă dacă sunteţi sigur că dumneavoastră sau inspectorii dumneavoastră văd tot ceea ce trebuie găsit.

Mulţumiri

Mulţumiri lui Tania Lombrozo pentru că mi-a permis să utilizez extrase din această postare originală. Pentru mai multe informaţii privind acest experiment consultaţi articolul original pe care l-am citit despre iluzia menţionată în primul capitol, *The Green You See Is Not The Green You See*.

Mulţumiri şi lui *Akiyoshi Kitaoka* pentru că ne-a acordat permisiunea de a utiliza imaginea sa, "*Green Spirals*".

Ca referinţă pentru acest articol am folosit noul *ASNT Nondestructive Testing Handbook on Liquid Penetrant Testing* (în culori!) şi pe care îl recomand cu mare încredere.

ASPECTE CRITICE ALE PRACTICII CU TEHNICA RADIOGRAFIEI COMPUTERIZATE

CRITICAL ASPECTS OF PRACTICES WITH COMPUTER TOMOGRAPHY TECHNIQUE

Vrapciu Dorian-Mugurel, RT-3/SNT TC-1A, Total Control SRL, mugurel@tcontrol.ro

Abstract

The benefits of the CR technique are as the investment in the purchase of the CR system. These advantages can be easily lost if the practice of this technique does not consider specific aspects of CR practice. Ultimately, the differences from the classical film technique originates in the structure of the detector (imaging plate). Ignoring its peculiarities may greatly reduces the benefits expected by the user.

1. Introducere

Înlocuirea tehnicii radiografice clasice cu film de către tehnica radiografiei computerizate (CR) este o tendință care nu poate fi ignorată. Atunci când resursele financiare permit și productivitatea examinării, reducerea costurilor, considerentele de mediu (eliminarea procesării chimice și deșeurilor asociate) prevalează, trecerea la tehnica CR poate fi o alternativă viabilă.

Imaginea radiografică obținută cu tehnica CR produce o impresie optică similară cu aceea obținută pe film și, la prima vedere, induce ideea că personalul calificat pentru tehnica clasică se poate adapta rapid și fără probleme deosebite, la tehnica CR. Totuși, tehnica CR are particularitățile ei și neglijarea acestora reduce considerabil beneficiile așteptate de către utilizator.

2. Placa imagine face diferența

La fel ca tehnica cu film, tehnica CR implică un proces cu două etape. Asemănarea se termină aici, fiindcă formarea imaginii latente, rezultate după expunere, are loc în stratul de fosfor fotostimulabil al plăcii imagine. În ultimă instanță, particularitățile aplicării tehnicii CR rezultă din structura detectorului (placa imagine), a cărei ilustrare tipică este redată în Fig. 1 [1]:

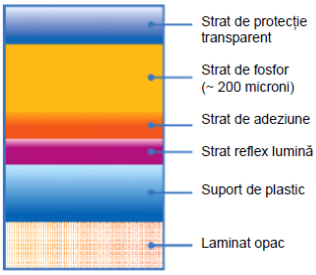


Fig. 1. Structura tipică a plăcii imagine

Grăunții de fosfor au forme neregulate și mărimea medie de ordinul a 10μm, deci semnificativ mai mare decât a grăuntelui de halogenură de argint a filmului clasic (câțiva microni) [2]. Acest aspect are consecințe importante:

1. Structura plăcii imagine este neomogenă și foarte dispersivă, acest tip de detector favorizează împrăștierea radiației incidente.
2. Zgomotul intern al păcii imagine este semnificativ mai mare decât cel al filmului.
3. Informația utilă (raportul semnal/zgomot) din imaginea digitală este limitată de zgomotul intern al plăcii imagine [3].

Stratul de protecție este un polimer de înaltă densitate, care limitează drastic efectul intensificator al ecranelor tradiționale din plumb folosite la tehnica cu film [4]. Ecranele intensificatoare din plumb se folosesc cu tehnica CR mai ales în conjuncție cu surse de radiații gamma de energie mare. Curba de absorbție funcție de energia radiației incidente pe o placă imagine tipică (Fig. 2, [1]) arată că eficiența detecției este scăzută atunci când se folosesc radiații cu energie peste 500KeV și că placa imagine este foarte sensibilă la radiații cu energie scăzută, cum ar fi cazul radiației împrăștiate.

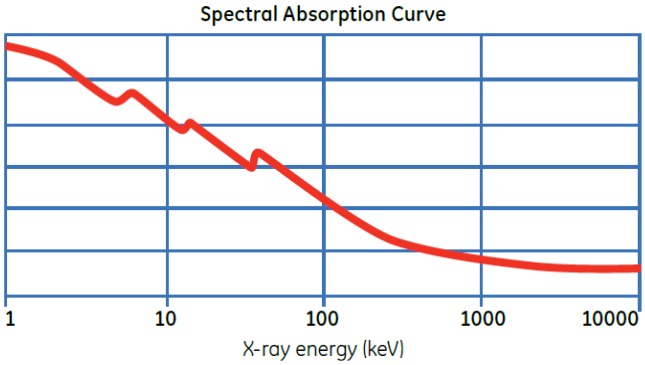


Fig. 2. Curba de absorbție funcție de energia radiației

Avantajul și totodată dezavantajul plăcii imagine este intervalul dinamic extrem de larg (latitudinea de expunere), aceasta reacționând cvasiliniar la doza de radiație primită, în timp ce filmul convențional reacționează exponențial (Fig. 3, [2]).

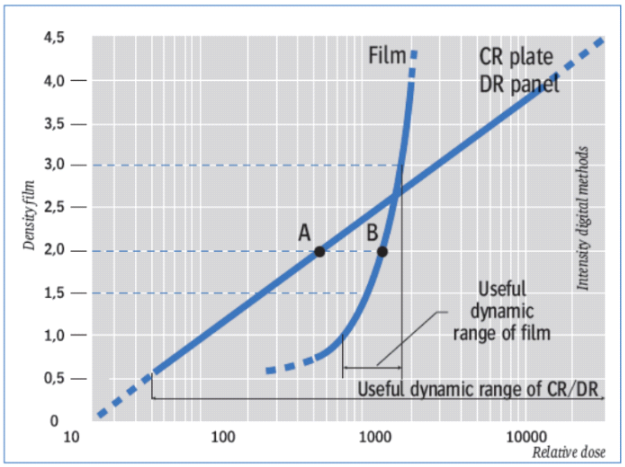


Fig. 3. Densitatea/intensitatea imaginii radiografice funcție de doza de radiație

Aceasta permite examinarea materialelor cu variații semnificative de grosime, folosind imaginea digitală rezultată de la o singură expunere, și compensarea eventualelor subexpuneri prin ajustarea imaginii cu software-ul de procesare al sistemului CR.

Dar răspunsul liniar al plăcii imagine, precum și sensibilitatea ridicată la radiația de energie redusă, implică măsuri severe de limitare a contribuției radiației împrăștiate la formarea imaginii latente. Deși unele dintre aceste măsuri sunt comune cu cele folosite la tehnica cu film este absolut necesară aplicarea lor la tehnica CR.

3. Particularități ale tehnicii de expunere la tehnica CR

Ori de câte ori este posibil, expunerea ar trebui efectuată cu generatori de radiații X. Mai mult, pentru a diminua neclaritatea imaginii digitale, este de dorit ca pata focală/dimensiunea sursei să fie cât mai mică, de exemplu generatori X direcționali cu pata focală de 1 mm.

Niciuna din măsurile de reducere a nivelului de zgomot în imaginea digitală nu trebuie neglijată [2]:

1. Diafragmarea/colimarea fasciculului de radiații.
2. Filtrarea radiației la fereastra tubului generatorului X.
3. Ecranarea radiației împrăștiate în materialul examinat cu ecrane metalice dispuse între fața activă a plăcii imagine și piesă.
4. Protecția plăcii imagine la radiația retroîmprăștiată.
5. Optimizarea distanței de expunere, în general, și a energiei radiației incidente (numai pentru cazul generatorilor de radiații X).
6. Selectarea tipului de placă imagine în concordanță cu natura materialului examinat, grosimea

acestuia și energia radiației incidente.

7. Ajustarea parametrilor de expunere astfel că nivelul raportului semnal/zgomot în imaginea digitală să fie suficient de ridicat pentru o durată de expunere cât mai scurtă.

Dacă diafragmarea/colimarea fasciculului de radiații și filtrarea radiației X sunt practici recomandabile comune pentru tehnica cu film și tehnica CR, în cazul celei din urmă devine o necesitate. Fiindcă împrăștierea radiației în materialul examinat poate înrăutăți semnificativ calitatea imaginii, mai ales la expuneri cu radiație X, este utilă plasarea unui ecran de 0.2–0.5mm din cupru sau oțel pe partea frontală a casetei radiografice. Utilizarea ecranelor frontale de plumb este necesară numai la utilizarea radiației gamma (Se, Ir, Co), dar numai împreună cu ecrane adiționale din cupru/oțel plasate între ecranul din plumb și caseta radiografică [4, 5].

Ecranarea intermediară cu cupru/oțel este necesară și atunci când se folosește plumbul la protecția împotriva radiației retroîmprăștiate, pentru a limita efectul radiației X de fluorescență a plumbului [4].

Spre deosebire de tehnica cu film, creșterea distanței de expunere nu aduce neapărat beneficii tehnicii CR, deoarece implică un fascicul de radiații cu deschidere mai mare și creșterea timpului de expunere, deci favorizează fenomenul de împrăștiere. Ajustarea distanței de expunere necesită un compromis între menținerea neclarității geometrice la un nivel redus și maximizarea raportului semnal/zgomot în imaginea digitală.

În general, valorile limită ale energiei radiației X sunt cele de la tehnica cu film. Totuși, pentru a obține imagini digitale de calitate, plăcile imagine rapide ar trebui expuse cu energii cu aproximativ 20% mai reduse decât cele folosite cu filmul clasic, în timp ce plăcile imagine lente pot fi expuse cu energii semnificativ mai mari, dacă astfel se obține o îmbunătățire a raportului semnal/zgomot [4]. Utilizarea surselor de radiații gamma, cu tehnica CR, la grosimi reduse (sub 14mm oțel) nu conduce la imagini digitale de bună calitate (raport semnal zgomot redus), comparativ cu generatorii de radiații X.

Alegerea plăcii imagine potrivite obiectului de examinat și scopului examinării se face pe criterii similare cu cele de la tehnica cu film. În Fig. 4 sunt ilustrate simbolic trei tipuri de placă imagine produse de Agfa [1], marcate și poziționate într-un sistem de axe pe baza raportului semnal/zgomot, sensibilității la radiație și neclarității interne. Placa imagine IPU este cea mai lentă, prezintă neclaritate internă foarte redusă și conduce la imagini digitale cu raport semnal/zgomot ridicat.

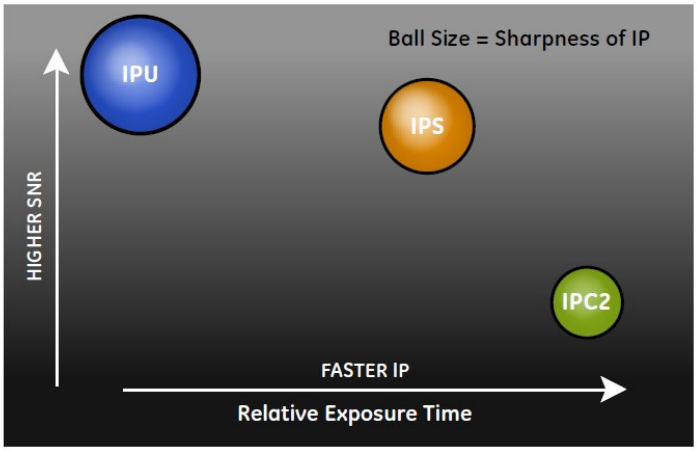


Fig. 4. Reprezentarea diverselor tipuri de placă imagine funcție de caracteristicile de bază

La acest tip de placă, mărimea medie a grăuntelui de fosfor este redusă, la fel și grosimea stratului fotosensibil, utilizarea ei necesitând timpi de expunere mai lungi decât la tehnica cu film [6]. O astfel de placă imagine poate fi folosită pentru examinarea unor grosimi relativ reduse și atunci când criteriile de acceptare sunt severe, cea mai bună calitate a imaginii se obține la expuneri cu radiații X. Placa imagine IPC2 se află la polul opus, este cea mai rapidă dar și cea mai zgomotoasă, datorită grăunților fotosensibili mari și a stratului fotosensibil mai gros.

Acest tip de placă poate fi utilizat în cazul grosimilor mari, când reducerea timpului de expunere este o prioritate. Cu o placă imagine de acest tip se pot obține timpi de expunere sensibil mai mici decât în cazul filmului clasic [6]. Deoarece sensibilitatea plăcii imagine la radiație scade la energii mari, plăcile imagine cu structură grosieră se folosesc mai ales cu surse de radiații gamma. Placa imagine IPS reprezintă o soluție constructivă de compromis pentru un raport semnal/zgomot ridicat la timpi de expunere rezonabili, comparabili cu timpii de expunere folosiți la tehnica cu film.

Plăcile imagine fiind mai sensibile la radiația împrăștiată cu energie redusă (mai zgomotoase), comparativ cu filmul clasic, regula generală este: cu cât timpul de expunere este mai scurt cu atât este mai mică împrăștierea și este mai bună calitatea imaginii. De aceea, când expunerea se realizează cu generatori X, este de preferat ca îmbunătățirea raportului semnal/zgomot să se facă mai ales prin creșterea amperajului, menținând timpul de expunere cât mai mic posibil. Acest mod de lucru este mai ușor realizabil cu generatori X de mare putere.

4. Calitatea imaginii digitale

Calitatea informației din imaginea digitală nu poate fi mai bună decât calitatea informației purtate de fasciculul de radiație care ajunge la detector (placa imagine). Imperfecțiunile vor fi vizibile numai dacă imaginea digitală are un contrast suficient de ridicat, superior nivelului zgomotului de fond. În Fig. 5 este ilustrată relația dintre un contrast progresiv mai bun, pe măsură ce nivelul zgomotului scade [2].

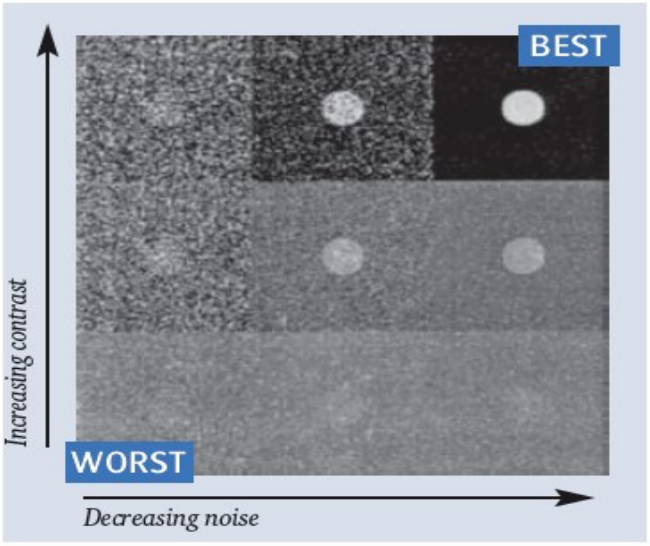


Figura 5. Relația contrast-zgmot în imaginea digitală

Sursele de zgomot cu tehnica CR sunt multiple (scanerul, tehnica de expunere, structura plăcii imagine), dar raportul contrast/zgomot poate fi crescut prin creșterea raportului semnal/zgomot.

Acest raport crește proportional cu radical din doza de expunere și permite obținerea unei sensibilități de contrast superioară tehnicii cu film, deși rezoluția spațială a imaginii digitale rămâne inferioară [6]. Particularitățile tehnicii CR au condus la înlocuirea densității filmului, ca mărime de evaluare a calității imaginii, cu raportul semnal/zgomot normalizat prin rezoluția spațială de bază a sistemului CR (scaner și placă imagine).

Calitatea imaginii digitale este apreciată pe baza valorii minime de atins a acestei mărimi și pe baza sensibilității de contrast, stabilită cu aceeași indicatori de calitate a imaginii (ICI) folosiți la tehnica cu film. Suplimentar la ICI uzuali, tehnica CR mai necesită și utilizarea ICI tip duplex, folosiți la stabilirea rezoluției spațiale de bază a sistemului utilizat. Măsurarea rezoluției spațiale în imaginea digitală a materialului examinat nu este obligatorie, dar poate fi cerută de client, caz în care ambele tipuri de ICI trebuie utilizate și trebuie să fie vizibile în imaginea digitală [4]. Sensibilitatea de contrast mai ridicată a tehnicii CR poate compensa o rezoluție spațială insuficientă, considerându-se că un nivel de contrast mai ridicat decât cel cerut este suficient pentru vizualizarea detaliilor fine (principiul de compensare II [4]).

5. Artefacte specifice imaginii digitale și prevenirea acestora

Imaginea digitală include artefacte comune cu cele întâlnite la tehnica cu film, dar și artefacte specifice. Placa imagine fiind refolosibilă, contaminarea cu praf, grăsimi și alte corpuri străine este mult mai probabilă decât în cazul filmului clasic. Particulele de praf de pe suprafața plăcii pot cauza zgârieturi pe fața activă, atunci când placa este introdusă/scoasă în/din casetă. Când placa este scanată (developată) zonele imaginii de dedesubt și care înconjoară zonele contaminate cu praf sau grăsimi nu vor fi stimulate

uniform de laser și zona afectată va prezenta un nivel de semnal puțin mai mic decât zona înconjurătoare (puncte albe). În același mod, difracția luminii laser pe marginile ascuțite ale zgârieturilor va provoca stimularea neuniformă a fosforului și, prin urmare, un nivel de semnal neuniform.

Corpurile străine nu doar că produc artefacte, dar pot pătrunde în mecanismele scanerului și pot contamina elemente sensibile ale acestuia, de exemplu sistemul de antrenare a plăcii în cursul scanării și capul optic. Contaminarea sistemului de antrenare poate produce deteriorarea stratului de protecție al feței active a plăcii imagine (zgârieturi) și neuniformitatea vitezei de scanare. Din acest punct de vedere, scanerele cu antrenare non-contact (magnetică) prezintă un avantaj incontestabil [7].

Atât neuniformitatea vitezei de scanare, cât și murdăria pe capul optic al scanerului, vor produce o neuniformitate accentuată a semnalului în imaginea digitală. Din aceste motive este necesar să se asigure un mediu de manipulare curat și lipsit de praf, coroborat cu operațiuni periodice de mentenanță a sistemului CR, inclusiv curățarea periodică a suprafeței active a plăcilor imagine utilizate, cu agentul de curățire recomandat de producător.

Un artefact tipic la tehnica CR sunt așa numitele imagini fantomă, care apar atunci când placa este expusă excesiv și ajunge la saturație. La folosirea ulterioară, resturi de informație de la precedenta utilizare apar în imaginea digitală curentă. Saturația se poate produce în zonele plăcii unde fasciculul de radiații ajunge fără a trece prin materialul piesei examinate, de ex. zonele plăcii aflate în jurul piesei examinate. Următoarele măsuri previn expunerea plăcii la nivelul de saturație [8]:

- Ecranarea zonei din jurul piesei (mascarea zonei de interes);
- Intercalarea unui ecran de cupru între placa imagine și piesă;
- Selectarea dimensiunii plăcii imagine în corelare cu dimensiunile piesei examinate, astfel ca piesa să acopere cât mai mult din suprafața plăcii imagine;
- Evitarea folosirii dozelor excesive de radiație pe timpul expunerii;
- Eliminarea imaginilor fantomă nu este un proces rapid și poate impica [8];
- Cicluri de ștergere multiple;
- Expunerea plăcii afectate la lumina directă a Soarelui timp de minim 30 de minute, urmată de aplicarea ciclurilor de stergere suplimentare;
- Saturarea plăcii în profunzime, prin expunere la un nivel redus de energie (de ex. 50 kV)

timp de 30 minute, urmate de mai multe cicluri scanare/ștergere. Apoi, efectuarea unei expuneri nesaturate a plăcii, prin acoperirea integrală a acesteia cu o tablă de oțel cu grosimea de aproximativ 3 mm și scanarea plăcii astfel expusă pentru a verifica dacă mai sunt prezente imagini fantomă.

Suplimentar la operațiile de mentenanță recomandate de producător, stabilitatea funcționării în timp a sistemului trebuie verificată periodic pentru a se asigura că acesta continuă să îndeplinească criteriile de performanță declarate și certificate inițial. Informațiile conținute în imaginea latentă sunt transformate în informație digitală printr-o succesiune de procese complexe care au loc în scaner, apoi sunt afișate pe ecranul computerului din dotarea sistemului CR și procesate cu software-ul specializat în vederea vizualizării. Când fie și un singur proces din acest lanț încetează de a îndeplini parametrii nominali, imaginea digitală este viciată. Verificarea stabilității pe termen lung a sistemului presupune folosirea unui dispozitiv special (fantoma CR) [9].

REFERINȚE

[1] Phosphor Imaging Plates, Computed Radiography, GE Sensing & Inspection Technologies, 2010.
[2] Industrial Radiography. Image Forming Techniques, GE Sensing & Inspection Technologies, 2009.
[3] Ewert, U., Zscherpel, U. and Bavendiek, K., Strategies for Film Replacement in Radiography. In IV Conferencia Panamericana de END. 2007
[4] EN ISO 17636-2/2013, Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors.
[5] Pöhler U., DÜRR NDT CR Workshop, AROEND Conference, 2019.
[6] Ewert U., Zscherpel U., Computed Radiography – New Strategies and Film Replacement, BAM, 2007.
[7] CRxVision Operating Manual V 2.0, GE Measurement & Control Solutions, 2014.
[8] CRx25P Operating & Maintenance Manual – Rev. 1, GE Measurement & Control Solutions, June 2011.
[9] EN 14784-1/2005, Non-destructive testing. Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates. Classification of systems.

Ploieşti, B-dul. Bucureşti, nr. 264,
cod poştal 100515, Judeţul Prahova
Telefon: 0344/802.355/Fax: 0344/802.356
Nr. înreg. R.C.: J29/1796/13.07.2007, CUI: RO 22112765
Sediul din Bucureşti, Str. Soldat Gheorghe Matac nr. 31, etajul 3, cod poştal 020341, sectorul 2, Fax: 031/426.09.61
Certificată ISO 9001:2015; ISO 14001:2015; OHSAS 18001:2008; ISO 13485:2016
Autorizaţie CNCAN: AI 1915/2019

Dyomedica CND S.R.L. este o societate comercială cu capital privat înfiinţată în anul 2007, are sediul social în municipiul Ploieşti, b-dul. Bucureşti nr. 264, cod postal 100515, judeţul Prahova şi punctul de lucru în municipiul Bucureşti, str. Soldat Gheorghe Matac nr. 31, etajul 3, cod postal 020341, sectorul 2, fax 031/426.09.61.

Dyomedica CND S.R.L. este certificată ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, OHSAS 18001:2008, ISO 13485:2016 şi posedă autorizaţia de manipulare nr. AI 1915/2019, eliberată de CNCAN şi este valabilă până la data de 01.10.2022.

Dyomedica CND S.R.L. posedă Anexa din data de 29.03.2019 la Avizul de Funcţionare nr. 5406 din 06.08.2018 eliberat de Ministerul Sănătăţii – Agenţia Naţională a Medicamentului şi a Dispozitivelor Medicale în vederea desfăşurării următoarelor activităţi:

- import dispozitive medicale;
- distribuţie dispozitive medicale;
- depozitare dispozitive medicale;
- reparare, mentenanţă şi punere în funcţiune/instalare pentru dispozitive medicale.

Dyomedica CND S.R.L., membru susţinător al ARoENd, îşi desfăşoară activitatea pe mai multe domenii de activitate, precum:

- Servicii industriale de inspecţie cu radiaţii ionizante;
- Servicii industriale de examinare nedistructivă a sudurilor prin diferite metode;
- Consultanţă în domeniul radioprotecţiei prin elaborarea documentaţiilor tehnice de autorizare la CNCAN;
- Comercializare/furnizare instalaţii radiologice şi echipamente individuale de protecţie împotriva radiaţiilor ionizante;
- Manipulare instalaţii radiologice şi surse de radiaţii: **Domeniul Medical:** instalaţii radiologice de röntgendiagnostic fixe şi mobile dedicate uzului uman şi/sau veterinar, de diverse tipuri: radiografie şi/sau fluoroscopie de diagnostic, computer tomograf, terapie superficială sau de profunzime, mammografie, röntgendiagnostic dentar (intraoral, panoramic, panoramic şi ceph, Cone Beam CT), osteodensitometrie**; Domeniul Industrial:** instalaţii radiologice de gammagrafiere industrială, de radiografiere industrială, surse închise de radiaţii ionizante, surse de neutroni, sisteme de investigare geofizică, de carotaj radioactiv şi gamadensimetrie, instalaţii radiologice de tehnică nucleară (nuclear gauge);
- Transport materiale radioactive, instalaţii radiologice de gammagrafiere industrială, surse închise de radiaţii ionizante, surse de neutroni, sisteme de investigare geofizică, de carotaj radioactiv şi gamadensimetrie, substanţe periculoase din cadrul clasei 7 ADR (substanţe radioactive), în colete tip A şi B(U), conform autorizaţiei de transport nr. DYOMEDICA TRANSPORT_02/2019);
- Organizare cursuri de radioprotecţie nivel 1 şi nivel 2, domeniul medical şi industrial, autorizate de CNCAN conform prevederilor Ordinului nr. 14 din 18.01.2018 al preşedintelui CNCAN şi publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 130 din 12.02.2018 pentru aprobarea "Procedurii privind cerinţele de eliberare a avizelor pentru programele de pregătire în protecţie radiologică";
- Activităţi şi servicii de decontaminare radioactivă conform Autorizaţiei de mediu nr. PH – 124 din 26.06.2019 eliberată de Ministerul Mediului, Agenţia pentru Protecţia Mediului Prahova;
- Comercializare consumabile industriale/medicale;
- Efectuarea de activităţi cuprinse în "Planul de răspuns la urgenţă radiologică" aprobat de preşedintele CNCAN, cu adresa nr. 2572/27.05.2019, Cod: DYO-CND-PRUR.

Laboratorul de CND X şi Gamma din cadrul Dyomedica CND S.R.L. posedă următoarele autorizaţii eliberate de Comisia Naţională pentru Controlul Activităţilor Nucleare (CNCAN):

- Autorizaţia de utilizare nr. CG 942/2015 (utilizare pentru instalaţii radiologice de gammagrafiere industrială ale căror containere de lucru conţin uraniu sărăcit aflat sub control de garanţii nucleare) şi aflată în procedură de prelungire la CNCAN;

- Autorizaţia de deţinere nr. CG 945/2015 (deţinere cu drept de utilizare pentru instalaţii radiologice de gammagrafiere industrială ale căror containere de lucru conţin uraniu sărăcit aflat sub control de garanţii nucleare) şi aflată în procedură de prelungire la CNCAN.

Laboratorul de CND X şi Gamma din cadrul Dyomedica CND S.R.L. posedă următoarele autorizaţii eliberate de Ministerul Economiei, Comerţului şi Relaţiilor cu Mediul de Afaceri – Inspecţia de Stat pentru Controlul Cazanelor, Recipientelor sub Presiune şi Instalaţiilor de Ridicat (ISCIR):

- Actualizare a Autorizaţiei DISPR/CR6/TIPE/0033/1/19.12.2014 pentru domeniul de autorizare: UT(g) – Măsurarea grosimilor cu ultrasunete, specialitatea (g) la temperaturi ridicate (max. 200 ^{0}C);
- Actualizare a Autorizaţiei DISPR/CR6/TIPB/0027/0/28.07.2011 pentru domeniul de autorizare: MT – Examinarea cu particule magnetice;
- Actualizare a Autorizaţiei DISPR/CR6/TIPA/0033/0/28.07.2011 pentru domeniul de autorizare: PT – Examinarea cu lichide penetrante;
- Actualizare a Autorizaţiei DISPR/CR6/TIPC/0008/0/28.07.2011 pentru domeniul de autorizare: RT – Examinarea cu radiaţii penetrante, specialitatea (X);
- Actualizare a Autorizaţiei DISPR/CR6/TIPD/0012/0/28.07.2011 pentru domeniul de autorizare: RT – Examinarea cu radiaţii penetrante, specialitatea (γ);
- Actualizare a Autorizaţiei DISPR/CR6/TIPE/0033/0/28.07.2011 pentru domeniul de autorizare: UT(g) – Măsurarea grosimilor cu ultrasunete;
- Actualizare a Autorizaţiei DISPR/CR6/TIPF/0028/0/28.07.2011 pentru domeniul de autorizare: UT – Examinări cu ultrasunete, specialitatea (s,t).

Personalul de specialitate din cadrul Laboratorului de CND X şi Gamma posedă următoarele permise de exercitare şi certificări:

- Responsabilii cu protecţia radiologică, posesori ai permiselor de exercitare nivel 2, domeniile GR, SI, specialităţile CNDX, CNDSI, eliberate de CNCAN;
- Persoană responsabilă cu protecţia radiologică posesoară a permisului de exercitare nivel 1, domeniul ARN, specialitatea TN(X), eliberat de CNCAN;
- Persoane certificate pentru calificarea NDT, nivel 3, eliberate de BUREAU VERITAS ITALIA S.p.A. prin ACCREDIA Cente Italiano de Accreditamento pentru următoarele metode: Radiographic Testing (RT), Base Test, Visual Testing (VT), Magnetic Testing (MT), Ultrasonic Testing (UT), Penetrant Testing (PT);
- Persoane certificate ISCIR nivel 2 şi nivel 3;
- Persoane certificate ISIM nivel 2;
- Persoane certificate RINA nivel 2;
- Persoane certificate ASME nivel 2 şi nivel 3.

Verificaţi-vă cunoştinţele din CND - Examinarea radiografică

Examinarea cu radiaţii penetrante Nivel 1; Examinare generală

1) Care dintre urmatoarele ecrane intensificatoare nu sunt utilizate in radiografia industrială?
(a) Plumb
(b) Flourescente
(c) Halogenura de argint
(d) Toate cele de mai sus

2) Instalatiile de tip Betraton sunt utilizate pentru a produce radiatie X, in ce domeniu de energie?
(a) Câţiva MeV
(b) 50-500 keV
(c) 500-1000keV
(d) 0-50keV

3) Care dintre următorii izotopi utilizaţi in industrie nu este produs artificial?
(a) Ir-192
(b) Ra-226
(c) Co-60
(d) Toate cele de mai sus

4) Utilizând Ir-192, grosimea de injumătăţire pentru Plumb este?
(a) 12 mm
(b) 4 mm
(c) 2 mm
(d) 25 mm

5) Utilizând Co-60, grosimea de injumătăţire pentru Plumb este aproximativ?
(a) 12 mm
(b) 4 mm
(c) 2 mm
(d) 25 mm

6) Etapa de developare in care bromura de argint nedevelopată este indepartată din emulsia filmului este?
(a) Revelarea
(b) Spălarea intermediară
(c) Fixarea
(d) Spălarea finală

7) Echipamentul care produce radiaţie penetrantă de una sau câteva energii discrete se numeşte?
(a) generator de radiaţii X
(b) acelerator liniar
(c) sursa de radiaţii gamma
(d) betraton

8) Efectul de intensificare a ecranelor de plumb este dat de ?
(a) radiaţia X secundară
(b) radiaţia gamma secundară
(c) flourescenţa ecranelor de plumb
(d) emisia de electroni

9) Cea mai mare parte din energia primită de un tub X este transformată in?
(a) radiaţie X
(b) lumină
(c) căldură
(d) radiaţie ultravioletă

10) Radiografierea ţevilor prin tehnica doi pereţi / interpretare perete dublu, este in special utilizată pentru?
(a) ţevi cu diametrul peste 38 mm
(b) ţevi cu diametrul de 88 mm sau mai puţin
(c) ţevi cu diametrul de 125 mm şi mai puţin
(d) ţevi cu diametrul sub 25 mm

Examinarea cu radiatii penetrante
Nivel 1; Examinare Specifică

1) Radiografia gamma este produsă aproape in toatalitate artificial de?
(a) particule
(b) izotopi
(c) radiu
(d) generatoare de radiaţii X

2) Un Curie (37 gigabecqerel) de material radioactiv se va dezintegra cu o rată de?

(a) 3.7 x 10^7 dezintegrări pe secundă
(b) 3.7 x 10^{10} dezintegrări pe secundă
(c) 3.7x 10^{13} dezintegrări pe secundă
(d) Niciuna din variantele de mai sus

3) Activitatea specifică a izotopului radioactiv este masurată în

(a) MeV
(b) R/h sau Grey /ora
(c) Ci/g sau Becqurel/gram
(d) C/min = numărători pe minut

4) Care este diferenţa esenţială intre radiaţia X si radiaţia gamma la aceiaşi valoare a energiei:

a) lungimea de undă
b) frecvenţa
c) viteza
d) originea

5) Ecranele ar trebui sa fie:

a) despărţite de film printr-o foiţă curată de hartie albă
b) la o distanţă de film de cel puţin 3.125 mm
c) in contact direct cu filmul
d) despărţit de film prin propriul suport de carton

6) Folia de plumb in contact direct cu filmul încasetat absoarbe :

a) toate radiaţiile pentru a preveni expunerea filmului
b) radiaţia luminoasă la care ar putea fi expus filmul
c) radiaţia cu lungime de undă lungă mai mult decat radiaţia cu lungime de undă scurtă
d) radiaţia cu lungime de undă scurtă mai mult decat radiaţia cu lungime de undă lungă

7) Ecranele de plumb influenţează in principal “.....” pentru radiografia finală

a) densitatea
b) contrastul
c) expunerea
d) definiţia

8) Folia de plumb este plasată in spatele filmului pentru:

a) A absorbi cat mai mult din radiaţia imprăstiată laterală
b) A reduce formarea de imagini nerelevante datorate expunerii din spate la radiaţia împrăştiată
c) Reducerea calităţii radiografiei obţinute prin radiaţia primară
d) Limitarea cantităţii de lumină care ajunge le film

9) Filtrul va reduce cantitatea de „……” din radiaţia primară

a) radiaţie impraştiată
b) electroni
c) radiaţie cu energie mare
d) radiaţie cu energie mică

10) Filtrul este plasat:

a) intre sursă şi piesă
b) intre piesă şi film
c) împrejurul piesei
d) în spatele filmului

Nota:

1) Întrebările sunt traduse din "IAEA Training Course Series 45, Non Destructive Testing: Samples Questions for Conduct of Examination at Level 1 and 2 ", cu contribuţia D-lui ing. Gabriel Stere.

2) Răspunsurile in numărul următor !

COMUNICATE ARoENd

ARoENd pune la dispoziția membrilor, agenților economici și firmelor interesate paginile revistei END pentru:

- Publicarea de materiale tehnice cuprinzând aspecte din experiența proprie, precum și noutăți în domeniu.
- Anunțuri privind manifestările tehnico - științifice și expoziționale.
- Anunțuri privind cereri și oferte de aparatură, accesorii și materiale specific.
- Oferte de servicii și service în domeniul examinărilor nedistructiv.
- Cereri și oferte de serviciu.
- Reclame.

TARIFELE DE PUBLICARE A RECLAMELOR ÎN REVISTA END (în lei, fără TVA)

COPERTE	PAGINI INTERIOARE (POLICROME)	PAGINI INTERIOARE ALB/ NEGRU
Coperta III 400 EUR	A4 .....300 EUR	A4…..200 EUR
	A5 .....200 EUR	A5…..150 EUR
Coperta IV…350 EUR	A6 .....150 EUR	A6…..100 EUR
	A3 mijloc revista…500 EUR	A3 mijloc revista…350 EUR
Spaţiile pentru publicarea reclamelor se asigură în ordinea primirii solicitărilor Membrii susţinători ai ARoENd beneficiază de o reducere de 25% la prima reclamă, pe care doresc să o insereze în unul din numerele revistei.		

Asociația Română de Examinări Nedistructive - ARoENd vă aduce la cunoștință că, în conformitate cu prevederile statutului și a practicii asociațiilor similare din străinătate, firmele și agenții economici interesați în probleme legate de examinările nedistructive pot deveni, la cerere, membri susținători ai ARoENd.

Devenind membri ai ARoENd, firmelor și agenților economici li se facilitează accesul la materiale documentare în domeniu, participarea la simpozioanele și manifestările tehnico-științifice, obținerea (la cerere) de asistență tehnică în examinările nedistructive, organizarea de cursuri de perfecționare pentru toate metodele, posibilitatea de a-și face reclamă în publicațiile asociației.

Membrii susținători ai ARoENd beneficiază de: o reducere de 25% la o reclamă pe care doresc să o insereze în unul din numerele revistei.

Asociația Română de Examinări Nedistructive își exprimă regretul pentru încetarea prematură din viață a distinsului **inginer Petre Ţenchea**, vechi și neobosit colaborator al asociației. Domnul ing. Petre Ţenchea a fost , prin activitaţile desfaşurate, mereu aproape de problemele lucrătorilor din domeniul examinărilor nedistructive .Să menţionam câteva din contribuţiile sale de care am beneficiat cu toţii :

- elaborarea si preluarea standardelor din domeniul examinărilor nedistructive si sudării ca colaborator si apoi presedinte al Comitetelor Tehnice de specialitate ASRO nr. 39 si ASRO nr. 40
- editarea cunoscutelor culegeri de standarde, foarte utile in acea perioadă :

  Atlas de incercări mecanice ale imbinărilor sudate. 1980

  Controlul Nedistructiv al metalelor .Culegere de standarde comentate.1985.

  Ghid privind calificarea și certificarea personalului pentru examinări nedistructive, 1994

A manifestat interes pentru revista „ Examinări Nedistructive" pentru care a scris articolul „ Contribuții ale standardizării la asigurarea competențelor în domeniul examinărilor nedistructive „ publicat in nr.1(7) 2017.

In aceste momente suntem alături de familia indoliată si subscriem la aprecierile colegilor de la Asociaţia de Sudură :"*Petre Ţenchea va rămâne in amintirea tuturor celor care l-au cunoscut ca un reputat inginer, specialist in domeniul managementului calităţii si al standardizării, un intelectual de inaltă clasă si un om deosebit* „

În conformitate cu prevederile procedurii DC-ARoENd - PSC-04" Supravegherea personalului certificat", precum și obligațiilor acceptate la semnarea cererii de certificare, persoanele certificate au obligația ca în termen de maxim 30 de zile să anunţe în scris DC-ARoENd eventuala schimbare a locului de muncă în vederea supravegherii activităţii ca persoană certificată şi să trimită confirmarea anuală a stării de sănătate şi dovada activităţii fără întreruperi semnificative, conform cerinţelor SR EN ISO 9712:2013. **În caz contrar, certificatul îşi pierde automat valabilitatea.**

Reînnoirea certificatului

După expirarea primei perioade de valabilitate şi în continuare la fiecare 10 ani, certificarea poate fi reînnoită de către DC-ARoENd, pentru o nouă perioadă de 5 ani, dacă sunt îndeplinite următoarele condiţii:

- persoana furnizează dovada că a reuşit la ultima verificare anuală a acuităţii vizuale;
- persoana furnizează dovada că şi-a desfăşurat activitatea în mod satisfacător, fără întreruperi semnificative în domeniul metodei pentru care este certificată. Această dovadă este furnizată prin documentul ”Anexă la certificatul nr…….”, completat de angajator.

DC – ARoENd se asigură că persoanele care solicită reînnoirea certificatului şi-au păstrat capabilitatea de interpretare a standardelor corespunzătoare metodei şi sectorului pentru care se solicită reînnoirea prin prezentarea dovezilor de instruire în perioada de la obţinerea ultimului certificat. Absolvirea cu succes a unui curs de reciclare organizat de un centru de şcolarizare recunoscut de DC – ARoENd reprezintă dovada că solicitantul îşi poate îndeplini cu succes sarcinile specifice nivelului certificat.

In cadrul manifestării „The X-th International Workshop NDT in Progress 2019” organizată de Societatea Cehă de Examinări Nedistructive (CNDT) impreună cu Institutul de Termodinamică al Academiei de Ştiinte Cehe, sub auspiciile Academiei Internationale NDT şi a Federaţiei Europene de Examinări Nedistructive (EFNDT), au fost conferite două plachete comemorative de catre Chairmen al Conferinţei Prof. Prevorovski. din partea AROEND, pe baza unei jurizări in plen a lucrărilor prezentate de tineri cercetători, astfel:

Placheta 1 , in memoriam Ing. Adrian Stanciu,a fost acordată Drd. Tomas GRABEC – The Institute of Thermomechanics – Academy of Sciences Cehia, pentru lucrarea : „Modeling of Grain-Boundary Scattering of Ultrasonic Waves for Characterization of Grain-Size Distribution” (prezentare orală) iar

Placheta 2, in memoriam Dr. Iulian Panaitescu, a fost acordată Drd. Tristan JULIEN – Departement d'Etudes des Reactors / Centre d'Etudes de Cadarache ,pentru lucrarea „Design of an Experimental Mockup to Study the Possibilities of Acoustic Measurements for Nuclear Reactor Fuel Element Testing” (poster)

Prin această inițiativă s-a pus in evidenţă interesul AROEND pentru activitătile promovate de partenerii europeni si EFNDT, in particular pentru acţiunile de promovare a tinerei generaţii şi a schimbului de bune practici in domeniul NDT.

Invitație la Simpozionul Internațional ARoENd, Editia XXVII, Mamaia-Constanța, 17.06. 2020 - 19.06.2020

Comitetul Director al Asociației Române de Examinări Nedistructive are plăcerea să vă invite la cea de-a XXVII-a ediție a Simpozionului Internațional ARoENd, Mamaia-Constanța, in 17.06.2020- 19.06.2020 , manifestare tehnico-științifică, la care specialiști în domeniul examinărilor nedistructive, români și străini, vor prezenta comunicări tehnice, reprezentantii celor mai cunoscute firme vor expune ultimele noutăți în domeniul tehnologiilor moderne, aparaturii, si accesoriilor de control . Tema propusa este :

Noi provocari in controlul si evaluarea nedistructiva a materialelor si produselor industriale in deceniul al 3-lea al sec 21"

Va asteptam cu lucrari privind

- Dezvoltari noi în domeniul examinărilor nedistructive – metode,tehnici, echipamente - cu aplicabilitate generala sau specifica
- Solutii in rezolvarea unor probleme concrete de examinare nedistructiva în activitatea firmelor/ laboratoarelor . Concluzii utile
- Probleme de reglementare : standardizare, autorizare a tehnicilor si laboratoarelor
- Certificarea personalului în examinări nedistructive;

Condițiile de prezentare ale comunicărilor:

- Titlul in limba română și engleză;
- Rezumatul în limba engleză (10-12 rânduri);
- 10-12 pagini dactilografiate la 1 - 1 1/2 rânduri (comunicarea se transmite in format electronic - Word)
- Timpul de prezentare 15 minute
- Autorii de comunicări au la dispozitie videoproiector.

Pentru a fi introdus in programul sinpozionului, titlul lucrării si rezumatul se vor transmite până la data de 31.03.2020, iar lucrarea completă cel târziu până la data de 30.04.2020.

Vă rugăm să confirmati pana la 29.02.2020 participarea echipei dvs si sa trasmiteți talonul de participare până la data de 17.04.2020.

Având în vedere problemele organizatorice deosebite, vă rugăm ca acest talon să cuprindă toate datele cerute, transmiterea acestuia constituind angajament ferm din partea Dumneavoastră.

In cazul în care unii dintre colegii Dumneavoastră își manifestă interesul de a participa la Simpozionul ARoENd, vă rugăm să multiplicați talonul de participare, să-l completați cu datele cerute și să ni-l expediați.

Taxa de participare la Simpozion este:

Pâna la data de 14.02.2020 :

- 200,00 lei + 19%TVA / persoană, pentru membrii ARoENd;
- 275,00 lei + 19%TVA / persoană , pentru cei care nu sunt membri ai ARoENd;
- 125,00 lei + 19%TVA/persoană, pentru persoane însoțitoare (numai membrii de familie);

Dupa data de 15.02.2020 pana 15.05.2020:

- 250,00 lei + 19%TVA / persoană, pentru membrii ARoENd;
- 350,00 lei + 19%TVA/persoană , pentru cei care nu sunt membri ai ARoENd;
- 150,00 lei + 19%TVA/persoană, pentru persoane însoțitoare (numai pentru membrii de familie);

După data de 16.05.2020:

- 300,00 lei + 19%TVA / persoană, pentru membrii ARoENd;
- 450,00 lei +19%TVA/persoană , pentru cei care nu sunt membri ai ARoENd;
- 200,00 lei + 19%TVA/persoană, pentru persoane însoțitoare (numai membrii de familie);

Cheltuielile de cazare, masă și transport se suportă de fiecare participant.

Taxa de participare se reduce cu **50%** pentru autorii lucrarilor ce vor fi prezentate in cadrul Simpozionului .

Vă rugăm să virați taxa de participare în contul ARoENd CUI RO 6222677 RO59RNCB0067004779290001, deschis la BCR Sucursala DR.FELIX București și să ne transmiteți copia OP la nr.fax 0213325843 sau adresa de email : ego_adrian@yahoo.com.

Vă informăm că, pentru persoanele care nu respectă termenele menționate mai sus, Comitetul de Organizare nu va putea asigura rezervarea hotelieră la tarifele negociate de ARoENd.

In numele Comitetului Director, Presedinte ARoENd,
Anton Coroianu