

Radiation protection when using mobile particle accelerator scanning systems in small spaces

(Radioprotecția la utilizarea sistemelor mobile de scanare cu acceleratoare de particule în spații restrânse)

Rasvan IONESCU, Emil STUDINEANU, Constantin SIMA, Mihai RECEANU,
Nicusor BÂRSAN

MB Telecom-LTD SRL, Bucharest, Romania

Abstract. The use of a mobile linear particle accelerator system for scanning trucks and containers requires an exclusion zone (controlled area) for radiation protection of operators, members of the public and the environment. The paper presents how the exclusion zone can be reduced for small spaces and the radiation protection characteristics in this situation. The ROBOSCAN ML64 scanning system with remote operation provides the operator with the best protection from ionizing radiation because he is not in the controlled area during the scans. This equipment produced by MB Telecom-LTD SRL is CE certified and all the practices with this scanning equipment are authorized by Romanian National Commission for Nuclear Activities Control (CNCAN).

Rezumat. Utilizarea unui sistem mobil cu accelerator linear de particule pentru scanarea camioanelor și containerelor necesită o zonă de excludere (zonă controlată) pentru protecția la radiații a operatorilor, persoanelor din populație și a mediului. În lucrare se prezintă modul cum se poate reduce zona de excludere pentru spații de lucru restrânse și caracteristicile de radioprotecție în această situație. Sistemul de scanare tip ROBOSCAN ML64 având operarea de la distanță asigură pentru operator cea mai bună protecție la radiațiile ionizante deoarece acesta nu se află în zona controlată pe perioada scanărilor. De asemenea se asigură o bună radioprotecție pentru persoanele din populație și pentru mediu. Acest echipament produs de MB Telecom-LTD SRL este certificat CE iar toate practicile cu acest echipament de scanare sunt autorizate de Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN).

1. INTRODUCERE

Combaterea activităților teroriste, contrabanda și transportul ilegal necesită sisteme de securitate de înaltă performanță. O atenție deosebită trebuie acordată zonei transportului internațional de mărfuri care este de obicei vectorul preferat pentru contrabanda cu arme, materiale radioactive și explozive, droguri, narcotice și alte materiale interzise, ușor de ascuns în interiorul unui volum mare de mărfuri. Creșterea zilnică a volumului de mărfuri transportate face imposibilă inspectarea fizică a tuturor transporturilor suspecte.

Conceput, proiectat și realizat de MB Telecom, sistemul mobil de scanare cu accelerator liniar de particule pentru camioane și containere ROBOSCAN ML64 este cel mai avansat scanner mobil cu accelerator linear de particule (LINAC) disponibil pe piața mondială, cu capacități impresionante de analiză a imaginii care asigură cea mai mare productivitate pentru aplicațiile de inspecție a mărfurilor fără a compromite siguranța și securitatea operatorilor. Scopul acestei lucrări este de a prezenta măsurile de radioprotecție, astfel încât să permită utilizarea în siguranță a sistemelor mobile de scanare cu acceleratoare liniare de particule, pentru protecția personalului expus profesional, a populației și a mediului înconjurător împotriva radiațiilor ionizante.

Sistemul robotizat de scanare ROBOSCAN ML64 pentru camioane și containere este singurul scanner din lume operat complet de la distanță de un singur operator, asigurând protecție totală împotriva radiațiilor ionizante. Principiul de operare de la distanță brevetat internațional de MB Telecom, este o caracteristică unică cu impact pozitiv asupra costurilor de operare, făcându-l singurul scanner mobil care

garantează operatorilor săi o expunere profesională zero la radiații și protecție totală împotriva incidentelor cauzate de mărfuri periculoase sau încercări teroriste care tranzitează punctele de control de securitate.

ROBOSCAN ML64 este un instrument eficient care aduce o îmbunătățire semnificativă pentru inspecțiile personalizate, prin capacitatea sa de a genera în câteva minute o imagine radiografică laterală de înaltă rezoluție a întregului camion sau container.

2. DESCRIEREA SISTEMULUI

Sistemul de scanare constă în principal într-o unitate mobilă de scanare (MSU), care va efectua scanarea mărfurilor prin telecomandă și un centru mobil de comandă și control (MCCC) sau un centru fix de comandă și control (FCCC).

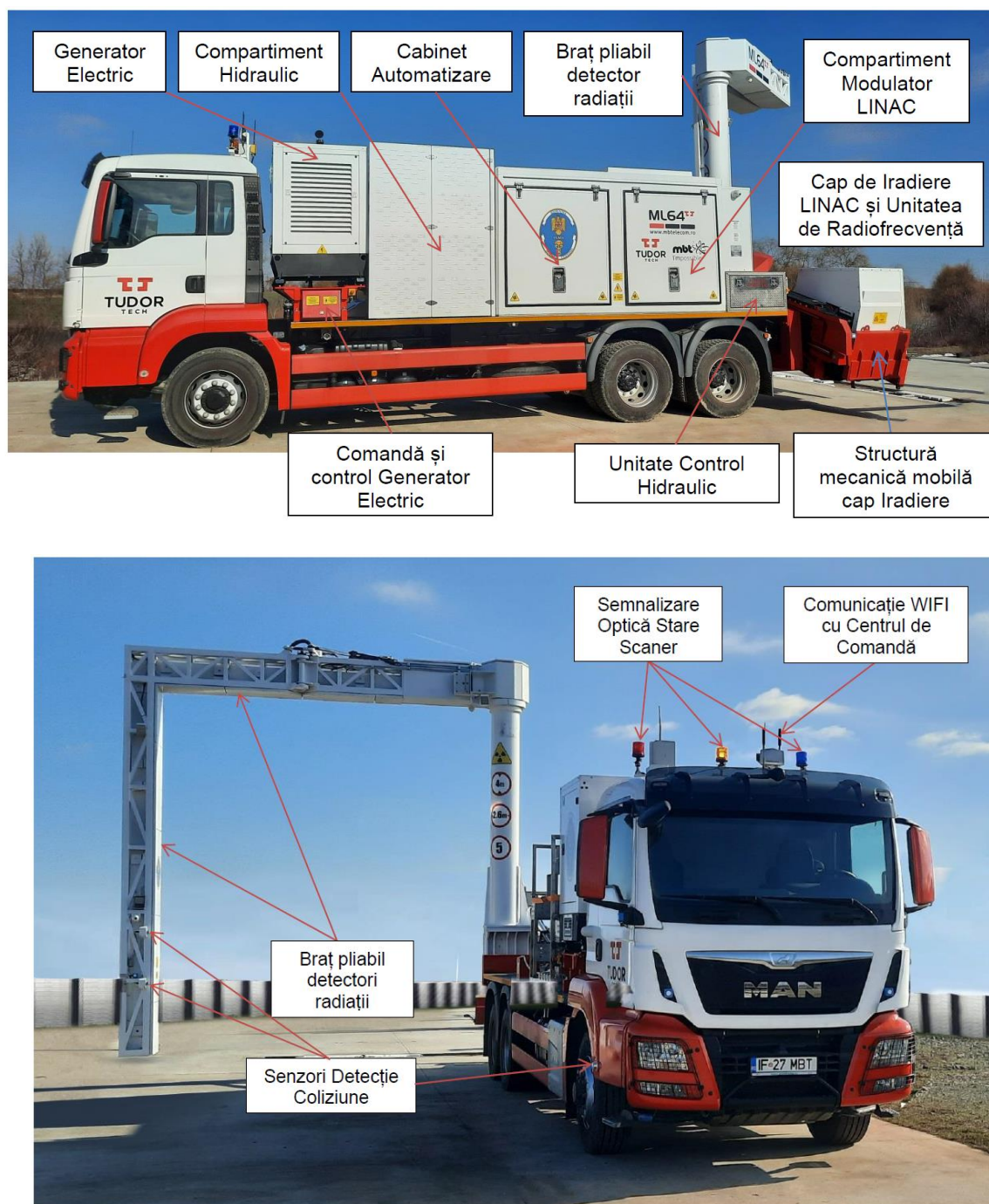


Figura 1 Componentele instalate pe unitatea mobilă de scanare tip ROBOSCAN ML64

Pentru deplasarea pe drumurile publice, componentele Mobile Scanning Unit (MSU) sunt instalate și transportate pe un șasiu comercial modificat, ca în Figura 1. Parametrii fizici ai MSU (dimensiuni și greutate) permit sistemului să circule pe toate drumurile publice fără restricții și fără a necesita autorizație specială de călătorie din partea administratorilor drumurilor, conform reglementărilor internaționale de circulație.



Figura 2. Centrul de comandă și control mobil - stânga și

Centru de comandă și control fix - dreapta

Unitatea de scanare mobilă (MSU) folosește un șasiu comercial, modificat în consecință. În acest sens, MSU este independent și complet robotizat, conținând sursa de raze X de înaltă energie, detectoarele de imagini, structura suport și celelalte subsisteme necesare funcționării sistemului de scanare.

Figura 1 prezintă principalele subsisteme instalate pe MSU:

- Șasiu
- Structura mecanică cu acționare hidraulică
- Sistem de imagistică – detectoare și LINAC
- Sistem de semnalizare și iluminare
- Sistem de supraveghere video
- Sistem de comunicare
- Cabinet de automatizare
- Sistem de siguranță
- Sistem de alimentare
- Sistem de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC).
- Sistem software

Șasiul – structură mecanică care permite legătura între șasiul comercial și celelalte elemente ale caroseriei specifice.

Sistem hidraulic de mișcare lentă (HSMS) – un sistem care permite deplasarea MSU-ului în timpul procesului de scanare, în ambele direcții opuse, cu viteză redusă, reglabil continuu.

Sistemul de control al direcției de la distanță - un sistem care permite controlul de la distanță a direcției de mișcare a MSU.

Structura mecanică cu acționare hidraulică constă în:

- cadrul de scanare realizat de structura suport a detectorilor de radiații (brațul de scanare)
- suportul mecanic al capului de iradiere și al unității de radiofrecvență a LINAC

Cadrul de scanare desfășurat reprezintă suportul fizic pentru configurarea tunelului de scanare. Dimensiunile interne (înălțime și lățime) ale cadrului de scanare reprezintă dimensiunile tunelului de scanare.

Trecerea cadrului de scanare de la configurația de transport la configurația de scanare se face complet robotizat prin utilizarea algoritmilor de control implementați în automatul programabil (PLC).

Structura de susținere mecanică a capului de iradiere și a unității de radiofrecvență a LINAC – ului este parte a cadrului de scanare (Figura 1.), care asigură deplasarea acceleratorului din poziția de configurație de transport în poziția de configurație de scanare. Se asigură de asemenea coplanaritatea fasciculului de radiații cu planul unde sunt amplasate cristalele detectorilor de radiații de mare energie.

Sistemul de imagistică are rolul de a genera radiația X și de a detecta radiația transmisă în întregul vehicul inspectat. Sistemul de imagistică este un „sistem de energie dublă” care are capacitatea de a detecta natura materialelor scanate (funcție numită „discriminare de material”), prin evaluarea numărului Z echivalent.

Sursa de radiații X de înaltă energie întrețesută – un accelerator liniar (LINAC) cu impulsuri întrețesute de energie duală cu energie maximă de 6 MeV și energie scăzută de 4 MeV. Capul de iradiere și unitatea de radiofrecvență sunt asamblate ca o singură unitate care asigură emisia efectivă a fasciculului de radiație.

Colimatorul – dispozitivul dintr-un material dur greu penetrabil, plasat între generatorul de radiații X și ținta radiografiată, care asigură îngustarea fasciculului de radiații ce lovește ținta pentru a reduce atât doza de radiație aplicată acestuia, cât și efectul de estompare a imaginii din cauza radiației împrăștiate. Fascicul îngust de radiații are o influență pozitivă asupra radioprotecției personalului, a populației și a mediului prin reducerea dozei.

Detectoare de radiații - rețea de detectoare instalate pe brațul de scanare. Detectorii de radiații sunt susținuți de structura aliniată cu fasciculul de radiații. Modulele de detecție sunt module electronice care conțin detectoare cu cristale pentru detectarea radiațiilor de înaltă energie, fotodiode și circuite electronice pentru procesarea semnalelor electrice.

Modul de achiziție de date - modul electronic cu software și firmware inclus, care colectează date de la detectoarele care compun sistemul de imagistică, asigurând în același timp procesarea primară a semnalelor primite de la modulele de detecție. Aceste date colectate sunt transmise către MCCC sau FCCC unde sunt procesate pentru a fi afișate pe ecranul imaginilor.

Modul de sincronizare (trigger) - modul electronic cu software și firmware inclus, care asigură sincronizarea achiziției de date cu impulsurile fasciculului de radiații (4/6MeV) produse de sursa de radiații X de înaltă energie (acceleratorul liniar).

Sistemul de semnalizare care conține dispozitive de avertizare vizuală și acustică, care prin lumini de avertizare și sunete alertează despre starea sistemului de scanare în anumite momente precum și producerea de radiații X.

Sistemul de iluminat care conține facilitățile de iluminare necesare funcționării corecte în întuneric a ML64.

Sistemul de supraveghere video se bazează pe camere video montate pe brațul de scanare al MSU și un recorder cu o capacitate de stocare adecvată (situat în FCCC).

Camerele fixe sunt poziționate pentru a oferi operatorului cel mai bun unghi de vedere. O cameră speed-dome vine în ajutorul operatorului să vadă în eventualele unghiuri care nu sunt acoperite de camerele IP fixe.

Două camere video sunt dedicate recunoașterii automate a plăcuțelor de înmatriculare și a numerelor containerelor, alocate pentru a recunoaște numărul plăcuței de înmatriculare a camionului (camere LPR) și numerele de înmatriculare ale containerului (camere CNR). Numerele recunoscute sunt corelate cu imaginea radiografică a țintei și salvate împreună cu această imagine în baza de date.

Unitatea mobilă de scanare (MSU) comunică cu Centrul mobil de comandă și control (MCCC) sau Centrul de comandă și control fix (FCCC), prin dispozitive de recepție Wi-Fi. Legătura de comunicație este securizată și optimizată pentru întârzieri mici, astfel încât datele să fie transferate în timp real.

Dulapul de automatizare (Figura 1) este un subsistem integrat care asigură interconectarea componentelor electrice și de automatizare. Dulapul de automatizare asigură conexiunile de putere și de semnal cu detectoarele, LINAC și toate celelalte componente electrice și electronice montate pe structura mecanică (proiectoare, lumini de semnalizare, sirenă, senzor vehicul, butoane ESD, camere LPR & CNR, camere de supraveghere video, laser de aliniere, senzori).

Sistemul de siguranță constă în toate dispozitivele și mijloacele care împiedică:

- operatorii și trecătorii să fie expuși la radiații ionizante,
- vătămarea oricăror persoane de către obiectele în mișcare ale sistemului de scanare (brațe de susținere, elemente de acționare hidraulice).
- deteriorarea componentelor sistemului de scanare sau a vehiculului țintă scanat

Principalele componente ale sistemului de siguranță sunt:

- Cheia de Siguranță: se află în interiorul Centrului de Comandă și Control și este etichetată corespunzător. Chiar dacă sistemul este pornit și gata să transmită pornit, expunerea nu poate fi efectuată decât dacă cheia de siguranță este pornită;
- butoanele de oprire de urgență (ESD): butoanele ESD în formă de ciupercă (clasa de protecție IP 65) sunt montate după cum urmează:
- 4 piese în locuri accesibile pe structura MSU (conectate prin cablu)
- 3 piese amplasate pe Acceleratorul Linear (pe consola LINAC, pe modulatorul LINAC și pe capul de iradiere și unitatea de radiofrecvență LINAC)
- o bucată la MCCC / FCCC (conectată wireless);
- protecția software: software-ul are trei niveluri de acces de securitate (Operator, Administrator și Service); acțiunile efectuate sunt limitate la nivelurile specifice; utilizatorii neautorizați nu au acces la funcționarea sistemului (inclusiv transmiterea „ON”);
- Senzori anti-coliziune – senzori cu redundanță (ultrasunete și/sau laser) montați pe șasiul MSU și pe ambele părți ale cadrului de scanare. Acești senzori măsoară distanța dintre MSU și ținta scanată pentru a evita coliziunea în timpul modurilor de scanare unul câte unul sau secvențială.
- Senzori de detectare a sfârșitului cabinei – senzori de lucru redundanți cu laser care permit operarea în siguranță a scanării prin activarea fasciculului „ON” al sursei de raze X numai după ce cabina (și șoferul) camionului care trebuie scanat au trecut prin cadrul de scanare.

Când este apăsat, ESD asigură întreruperea alimentării emisiei de raze X prin LINAC și oprește automat MSU; când are loc un eveniment ESD, procesul de scanare poate fi reluat numai după ce butonul de confirmare – ACK ESD (situat în interiorul centrului de comandă și control) este apăsat de către operator.

Zona de excludere: este definită ca o zonă în care nu este permis accesul oricărei persoane (operatori sau trecători) în timpul procesului de scanare, în condiții normale de lucru, pentru prevenirea potențialelor expuneri umane. MSU este plasat în centrul zonei de excludere. Funcționarea MSU trebuie să aibă loc în zona de excludere pentru siguranța la radiații. În timpul scanării cu raze X, nicio persoană nu poate rămâne în zona de excludere. Doza de radiații la limita zonei de excludere este sub pragul de 1 mSv/an pentru expunerea publicului stabilit de AIEA, conform GSR3. Accesul în zona de excludere este limitat fie prin mijloace fizice (bariere, garduri, pereți), fie prin Protecția Automatizată a Zonei de Excludere (APEA).

Mai jos sunt principalele performante ale sistemului mobil de scanare cu raze X cu accelerator liniar de particule cu energii de 4/6, tip ROBOSCAN ML64 produs de MBT:

- Energie: intercalată 4/6 MeV
- Capacitate de scanare: 30 ÷ 120 camioane/containere/oră în funcție de lungime și modul de scanare
- Viteza de scanare: 0,8 ÷ 8 km/oră în funcție de modul de scanare
- Temperatura de funcționare: - 20 °C ÷ + 55 °C;
- Umiditate relativă: 0 ÷ 100%

3. RADIOPROTECȚIA SISTEMULUI DE SCANARE MOBIL ROBOSCAN ML64

Radioprotecția sistemului de scanare mobil cu accelerator linear de particule Roboscan ML64 a fost avută în vedere în toate etapele, de la proiectare, construcție, instalare, utilizare, manipulare atât în ceea ce privește expunerile normale, cât și cele potențiale.

Astfel, pentru prima oară în lume s-a realizat un sistem mobil robotizat (tele-operat) de scanare pentru a proteja operatorii de radiațiile X ce apar în cabina scannerului în cazul celorlalți producători de astfel de sisteme de scanare. Pentru Roboscan ML64 operatorii scannerului sunt în afara zonei de excludere (zona controlată) reducând astfel la minim expunerea la radiații.

Perimetrul de excludere este reprezentat de un dreptunghi cu dimensiunile de LP [m] x LP [m] (Figura 4), acesta delimitând zona controlată.

În interiorul zonei controlate se definește axa de scanare ca fiind segmentul de dreaptă pe care se deplasează pata focală (PF) a acceleratorului din UMS pentru scanare (A→B→C). Această axă se găsește la o distanță d_{ax} [m] de latura formată din punctele P8-P2 și este paralelă cu aceasta.

În cele 8 puncte P1÷P8 de pe perimetrul zonei controlate se determină dozele de radiație totale la nivelul unei ore de utilizare și apoi se extrapolează pentru un an.

Dozele totale pe perimetru sunt determinate prin cumularea dozelor generate prin:

- Radiație împrăștiată
- Radiație directă (în punctul P5)
- Radiație de scăpări

Pentru calculul acestor doze de radiații s-a folosit suportul teoretic prezentat în publicațiile: „Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities,” International Atomic Energy Agency

(IAEA), Vienna, 2006 și ANSI/HPS N43.3-2008, „Installations Using Non-Medical X-Ray and Sealed Gamma-Ray Sources, Energies Up to 10 MeV”, Health Physics Society, McLean, 2008.

3.1 EVALUAREA RADIAȚIEI ÎMPRĂȘTIAȚE

Debitul dozei radiației împrăștiate într-un punct de interes P, este se determină astfel [1, p. 24] [2]:

$$\dot{H}_P = a \cdot \frac{F_A}{400} \cdot \frac{\dot{H}_0}{R_{S-Scat}^2 \cdot R_{Scat-P}^2} \quad (1)$$

Unde:

- F_A reprezintă suprafața de împrăștiere [cm²]
- a reprezintă factorul de împrăștiere, coeficient specificat în standarde (adimensional) pentru o suprafață de 400 cm²
- R_{S-Scat} reprezintă distanța dintre sursa de radiație și punctul de împrăștiere [m]
- R_{Scat-P} reprezintă distanța dintre punctul de împrăștiere și punctul de măsură (punctul de interes) [m]
- $\dot{H}_0$ reprezintă debitul dozei de radiație la 1m de sursa de radiație [μSv/h]
- $\dot{H}_P$ reprezintă debitul dozei de radiație în punctul de măsură (punctul de interes) [μSv/h]

Pentru evaluarea radiației împrăștiate în punctul P în cazul UMS, se determină debitele dozei de radiație retro-împrăștiată $\dot{H}_{PA}$, $\dot{H}_{PB}$ și $\dot{H}_{PC}$ conform relației (1) pentru pozițiile UMS în punctele A, B și respectiv C (Figura 4) și se integrează prin metoda trapezelor:

$$\dot{H}_P = (\dot{H}_{PA} + 2 \cdot \dot{H}_{PB} + \dot{H}_{PC})/4 \quad (2)$$

În general variația intensității radiației cu distanța respectă o lege pătratică, astfel că medierea din relația (2) asigură o supra-evaluare a ratei dozei calculate.

Doza integrată pe durata unei ore de utilizare este dată de:

$$H_P = \dot{H}_P \cdot \frac{T_{Exp}}{3600} \cdot N \quad (3)$$

unde:

- $\dot{H}_P$ reprezintă debitul mediu a dozei pe durata unei scanări [μSv/h]
- H_P reprezintă doza integrată pe durata unei ore de utilizare [μSv]
- T_{Exp} reprezintă durata de expunere din timpul unei scanări [s]
- N reprezintă numărul de scanări pe o oră de utilizare

Durata unei expuneri T_{Exp} se poate determina astfel:

$$T_{Exp} = d_{AC}/v \quad (4)$$

unde:

- d_{AC} reprezintă distanța parcursă de UMS pe traseul A → B → C [m]
- v reprezintă viteza de scanare [m/s]

3.2 EVALUAREA RADIAȚIEI DIRECTE

Evaluarea radiației directe în punctul de măsură P5 în spatele brațului de detectori, aflat pe direcția fascicolului direct, se face ținând cont de lățimea fascicolului, atenuarea beam-stopper-ului

(BS), distanță și viteză de scanare.

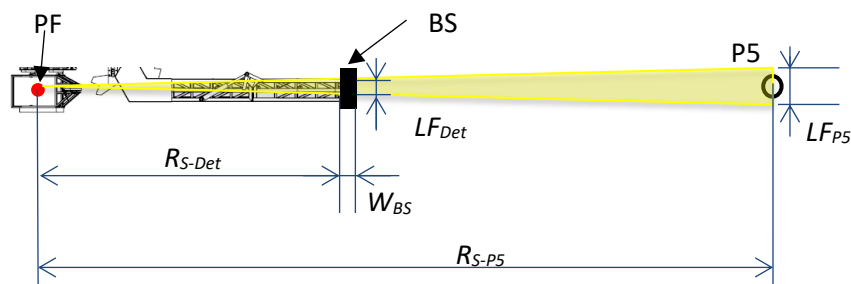


Fig. 3 Dimensiunile fascicolului de radiație la nivelul detectorilor și respectiv la nivelul punctului de calcul P5

Astfel, debitul dozei în spatele brațului de senzori se calculează conform relației:

$$\dot{H}_{P5} = 60 \cdot 10^6 \frac{\dot{H}_0}{R_{S-P5}^2} \cdot B \quad (5)$$

unde:

- $\dot{H}_{P5}$ reprezintă debitul dozei de radiație în punctul de măsură (punctul de interes) [$\mu\text{Sv/h}$]
- $\dot{H}_0$ reprezintă debitul dozei de radiație în fascicul la 1m de sursă [Gy/min]
- R_{S-P5} reprezintă distanța de la sursă la punctul de măsură (punctul de interes) [m]
- B reprezintă coeficientul de transmisie a beam-stopper-ului, corespunzătoare grosimii acestuia, W_{BS}
- Constanta 60 este pentru conversie de la minute la oră
- Constanta 10^6 este pentru conversie de la Gy la μGy
- Conversia de la Gy la Sv se face cu un factor de 1 (radiație X de 6 MeV)

Se determină debitul dozei radiației generate, astfel:

$$\dot{H}_{P5} = \frac{\dot{H}_0}{R_{S-P5}^2} \cdot B \quad (6)$$

Doza integrată pe durata unei ore de utilizare în punctul P5, se determină astfel:

$$H_{P5} = \dot{H}_{P5} \cdot \frac{T_{Exp}}{3600} \cdot N \quad (7)$$

unde:

- $\dot{H}_{P5}$ reprezintă debitul dozei când punctul P5 se află în fasciculul de radiație [$\mu\text{Sv/h}$]
- H_{P5} reprezintă doza integrată pe durata unei ore de utilizare [μSv]
- T_{Exp} reprezintă durata de expunere din timpul unei scanări [s]
- N reprezintă numărul de scanări pe o oră de utilizare

Durata expunerii se determină astfel:

$$T_{Exp} = LF_{P5}/v \quad (8)$$

unde:

- LF_{P5} reprezintă lățimea fascicolului de radiație la nivelul punctului P5 [m]
- v reprezintă viteza de scanare [m/s]

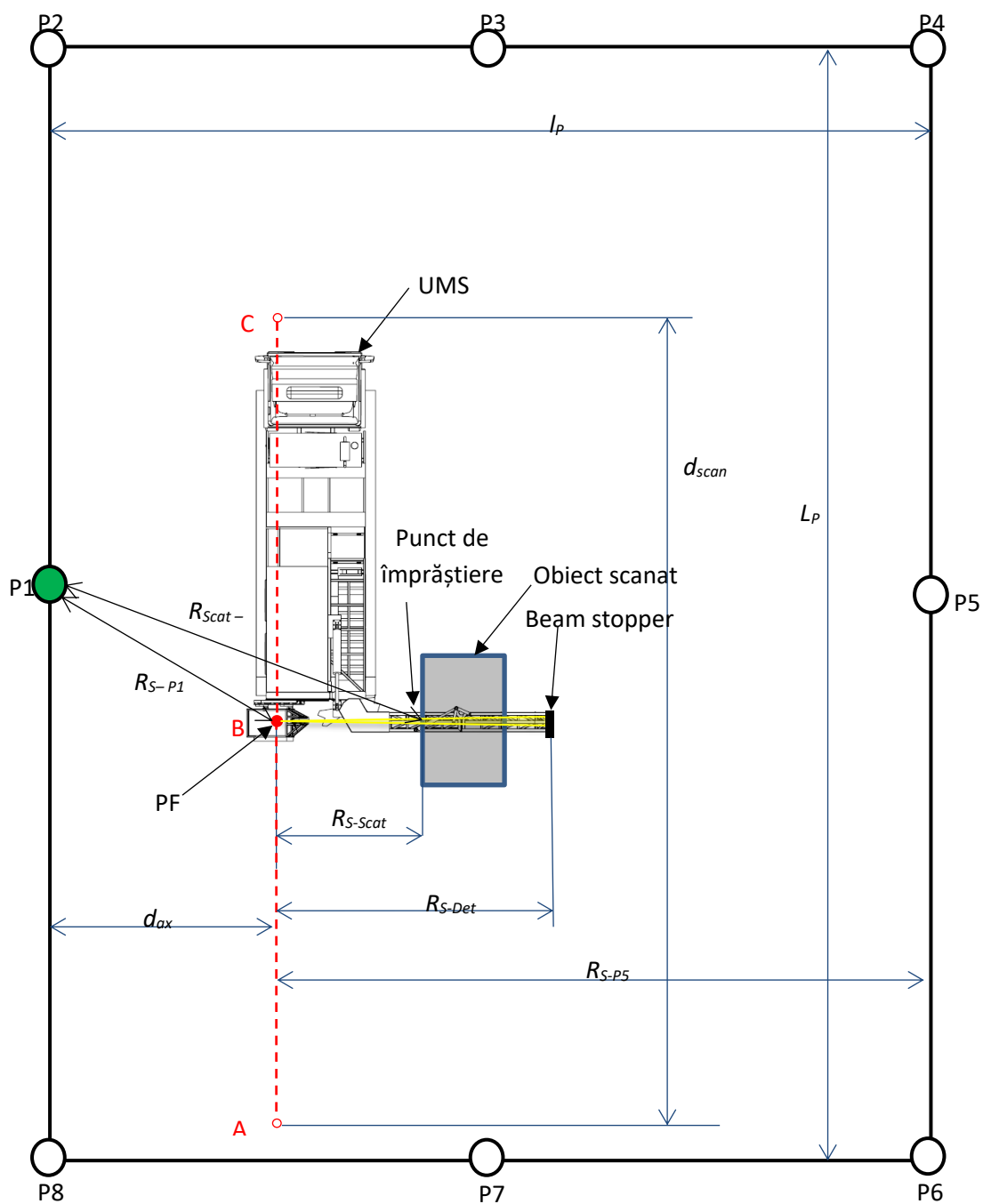


Fig. 4 Amplasarea UMS în perimetrul zonei controlate

Lățimea fascicolului de radiație crește liniar cu distanța de la sursă la punctul de interes, astfel:

$$L_{P5} = L_{Det} \cdot \frac{R_{S-P5}}{R_{S-Det}} \quad (9)$$

unde:

- L_{Det} reprezintă lățimea fascicolului la nivelul detectorilor [m]
- R_{S-P5} reprezintă distanța dintre sursă și punctul P5 [m]
- R_{S-Det} reprezintă distanța dintre sursă și detectori [m]

3.3 EVALUAREA RADIAȚIEI DE SCĂPĂRI

Debitul dozei radiației de scăpări într-un punct de interes P, este se determină conform relației (5) pentru pozițiile UMS în punctele A, B și respectiv C (Figura 4) și se integrează prin metoda trapezelor, în acest caz $\dot{H}_0$ reprezintă debitul dozei pentru radiația de scăpări.

3.4 CALCULUL DOZELOR TOTALE CUMULATE

Pe baza valorilor determinate conform relațiilor din secțiunile anterioare pentru radiațiile de scăpări (leakage), radiație împrăștiată (scatter) și radiație directă, dozele integrate în punctele P1÷P8 de pe perimetrul de scanare pe întreaga oră de utilizare stau la baza determinării dozelor anuale. Dozele integrate pe an se determină prin multiplicarea dozei totale integrate pe ora de utilizare cu un număr de 2000 de ore lucrătoare pe an.

Factorul de ocupare al punctelor de la limita perimetrului de scanare se consideră egal cu 1 (cazul cel mai defavorabil), deși pentru locații specificate de către utilizatori, acesta este în general subunitar și conduce la doze mai mici decât cele determinate în prezenta lucrare.

3.5 REDUCEREA ZONEI DE EXCLUDERE (ZONĂ CONTROLATĂ) CU PEREȚI DE ECRANARE

Pentru a reduce zona de excludere se pot folosi ecrane de protecție din materiale care atenuază radiațiile (plumb, oțel, beton). Din motive constructive și operaționale, reducerea se poate face doar pe părțile laterale ale portalului de scanare până la o lățime minimă de 14m.

La utilizarea ecranelor de beton se ia în considerare grosimea pentru atenuare de 1/10 (TVL, stratul de înzecire a intensității radiației), care este de aproximativ 35 cm pentru fasciculele de raze X cu o energie maximă de 6 MeV. Cel mai important ecran este ecranul de radiații primar.

Deoarece ML64 este un sistem mobil, are un beam-stopper de fascicul suficient de înalt pentru a acoperi înălțimea maximă a perimetrului de 4 m la limita frontală în punctul P5..

Ecranul de radiații primar trebuie să fie dimensionat astfel încât să acopere cel puțin 20° din radiația împrăștiată de la obiectul scanat, conform Raportului NCRP nr. 151.

Din acest motiv, ecranul de radiații directe trebuie să aibă o lungime egală cu distanța de scanare și în plus un minim de 3m pe fiecare parte a camionului scanat.

3.6 CALCULUL DOZELOR TOTALE PENTRU PERIMETRUL REDUS

Folosind aceiași algoritmi prezentați anterior, debitele și dozele integrate pe parcursul unui an au fost determinate în toate punctele de pe perimetrul zonei de excludere.

Definiția punctelor a fost modificată pentru a urma conturul noului perimetru. Zona de excludere este redusă prin construirea pereților de beton cu grosimile prezentate în figura 5.

Înălțimea acestor pereți trebuie să fie de 2,5 m dacă există o zonă pietonală în apropiere sau de 4,5 m pentru o zonă de drum.

3.7 CALCULUL DOZEI DE RADIAȚIE PRIMATE DE CĂTRE O PERSOANĂ ASCUNSĂ, AFLATĂ ÎN CAMIONUL SCANAT

În situația în care unul sau mai mulți pasageri sunt ascunși în ținta ce urmează a fi scanată, fără știința operatorului UMS, se evaluează doza de radiație primită în situația cea mai defavorabilă în următoarele condiții:

- Pasagerul clandestin se găsește într-un punct P la aproximativ 3.2 [m] distanță față de pata focală (în poziția cea mai apropiată de accelerator);

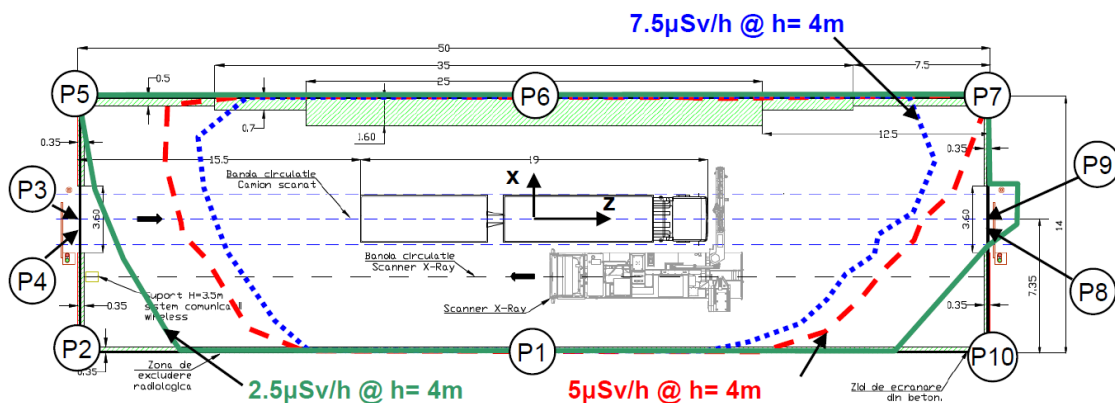


Fig. 5 Amplasarea UMS în perimetrul zonei controlate reduce

- Materialul dintre pasager și sursa de radiație are un factor de transmisie unitar, fără a atenua intensitatea radiației sursei (de exemplu, o prelată din material textil);
- Viteza de scanare este minimă, de 0.2 [m/s];

Pe baza relațiilor (6) - (9) descrise în secțiunea referitoare la calculul radiației directe, se poate determina direct doza de radiație directă primită de pasagerul clandestin ca fiind mai mică de 20 μ Sv. Valoarea acestei doze este comparabilă cu o radiografie pulmonară și de peste 300 de ori mai mică decât un examen CT de cutie toracică [7].

Având în vedere faptul că pasagerul clandestin este expus la radiație directă, se consideră că radiația împrăștiată are o contribuție neglijabilă la valoarea totală a dozei [2].

3.8 CALCULUL DOZEI DE RADIAȚIE PRIMITE DE UN ȘOFER ÎN MODUL DE SCANARE “DRIVE-THROUGH”

În cazul modului de scanare “Drive-Through”, trecerea camionului țintă se face direct prin scanner, UMS este în poziție fixă, iar camionul țintă trece prin tunelul de scanare condus de către un șofer cu o viteză relativ ridicată față de viteza de scanare a UMS. Sursa de radiație este pornită automat după trecerea cabinei pentru a se scana numai compartimentul de marfă al autovehiculului. În mod evident, șoferul nu este expus radiației directe ci doar radiației împrăștiate provenite din structura compartimentului de marfă scanat, a mărfii și structura UMS (brațul de detectori). Valoarea dozei de radiație împrăștiată primită de către șofer depinde în principal de următorii factori:

- Debitul de doză la nivelul punctului de împrăștiere
- Atenuarea prin marfa scanată
- Timpul de expunere (implicit viteza de deplasare)
- Distanța dintre șofer și punctul de împrăștiere a radiației

Având în vedere că pe durata scanării, cantitatea de marfă dintre șofer și punctul de împrăștiere crește, debitul de radiație scade exponențial, astfel că doar pe o distanță de scanare considerată relativ scurtă debitul are o valoare semnificativă. Distanța considerată este de 1m. Conform relației (1), se determină debitul dozei maxime la nivelul șoferului.

Doza integrată primită de un șofer pentru o scanare este mai mică de 0.05 μ Sv. Conform reglementărilor în domeniul nuclear, limita maximă anuală pentru o persoană din populație este de 1 mSv astfel încât numărul de treceri pe care le poate face un șofer este egal cu 20000 într-un an, respectiv 54 de treceri zilnice.

4. CONCLUZII

Valorile totale anuale ale dozei calculate în toate punctele din perimetrul zonei controlate reduse sunt sub valoarea de 1 [mSv] pe an, ceea ce este în conformitate cu reglementările naționale și internaționale. În aceste calcule s-au luat în considerare întotdeauna cele mai nefavorabile situații astfel încât valorile determinate să reprezinte de fapt limite superioare ale valorilor obținute prin măsurarea în teren. De exemplu, atenuarea suplimentară a radiațiilor furnizată de elementele structurale mecanice ale UMS și camionul ținută scanat (șasiu, cabină, braț detector, echipamente mecanice și electronice etc.) au fost neglijate. De asemenea, în utilizarea normală a sistemului pentru acceleratorul liniar de particule se folosesc rate mai mici decât maxim, și anume 25% sau 50%, debitul de doză fiind de patru sau de două ori mai mic decât cel luat în considerare în calcule.

La secțiunea 3.7 a fost evaluată valoarea dozei de radiații primite de un pasager clandestin ascuns în vehiculul scanat, aceasta fiind mai mică de 20 μ Sv, în situația cea mai nefavorabilă. Valoarea acestei doze este comparabilă cu o radiografie pulmonară și de 300 de ori mai mică decât o examinare CT toracică [7].

Pentru modul de funcționare „drive-through”, în secțiunea 3.8, a fost calculată doza medie integrată primită de un șofer pentru o scanare, valoarea maximă fiind mai mică de 0,05 μ Sv. Conform reglementărilor naționale și internaționale, limita maximă anuală pentru o persoană din populație este de 1 mSv, astfel încât numărul maxim de scanări pe an pe care le poate face un șofer este de 20.000 (echivalentul a 54 de scanări pe zi permise pentru o singură persoană). Desigur, trebuie luată în considerare o constrângere de doză pentru persoana din populație, de exemplu 0,25 mSv pe an, ceea ce duce la un număr maxim de scanări anuale de 5000, adică aproximativ 13 pe zi, ceea ce în practică este puțin probabil să se întâmple. Dacă această posibilitate apare în cazul unui utilizator al sistemului, acesta va trebui să monitorizeze și să limiteze accesul aceluia șofer după numărul maxim de scanări drive-through.

5. REFERENCES

1. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, Elsevier, Oxford (2007).
2. ICRP, 2014. Radiological Protection in Security Screening. ICRP Publication 125. Ann. ICRP 43(2).
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging, IAEA General Safety Guide No.GSG-5, Vienna (2014).
4. ICRP, 2002. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3-4).
5. MB Telecom Ltd, „Users Manual – ROBOSCAN ML64,” 2019.
6. MB Telecom Ltd, „Technical Specification - ROBOSCAN ML64,” 2018.
7. MB Telecom Ltd, „Data Sheet - ROBOSCAN ML64
8. ANSI N43.17 Radiation Safety for Personnel Security Screening Systems Using X-Ray or Gamma Radiation, 2009 Edition, January 1.
9. ANSI, „Installations Using Non-Medical X-Ray and Sealed (ANSI/HPS N43.3-2008),” Health Physics Society, McLean, 2008.
10. NCRP (2005). Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities (2005) NCRP Report No. 151.