



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη Βιοϊατρική Τεχνολογία»

Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας στην ιατρική και τις μεταφορές:
Σύγκριση των SIEMENS SOMATOM 64 και NUCTECH XT2100HS

ΣΤΑΥΡΙΑΝΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
Αριθμός Μητρώου: 1913

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Καλλέργη Μαρία, Καθηγήτρια

Αθήνα 19/09/2022

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Μαρία Καλλέργη
Καθηγήτρια

Νεκτάριος Καλύβας
Αναπληρωτής Καθηγητής

Παναγιώτης Λιαπαρίνος
Αναπληρωτής Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

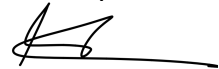
Ο υπογράφων Σταυριανίδης Παναγιώτης του Συμεών, με αριθμό μητρώου 1913 φοιτητής του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία: 19/9/2022

Ο Δηλών



ΣΤΑΥΡΙΑΝΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι διπλός. Πρώτον, να γίνει ιστορική σύγκριση του ρόλου και της εξέλιξης της αξονικής τομογραφίας στην διάγνωση ασθενειών και στην ασφάλεια των μεταφορών και να καθοριστούν οι αντίστοιχοι παράγοντες, π.χ., οικονομικοί, κοινωνικοί, οι οποίοι καθόρισαν την εξέλιξη. Δεύτερον να συγκριθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά δύο μηχανήματων που έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας αλλά διαφορετικό σκοπό και πεδίο εφαρμογής. Για την ποιοτική και ποσοτική σύγκριση επιλέχθηκαν ο ιατρικός αξονικός SIEMENS Somatom 64 και ο βιομηχανικός αξονικός NUCTECH XT2100HS. Λογισμικά όπως το IQ – VIEW Lite, Radiant και Fiji χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων από τα δύο συστήματα. Τα δύο συστήματα έχουν και ομοιότητες και διαφορές στον τρόπο της λειτουργίας τους. Η υψηλότερη διακριτική ικανότητα (χωρική και δυναμική) του ιατρικού συστήματος στοχεύει στην λεπτομερή απόδοση της απεικόνισης του ασθενούς σε αντίθεση με τον κλάδο ελέγχου αποσκευών ο οποίος επιζητεί ευκρινείς αποδόσεις του εσωτερικού των αποσκευών και μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις σε υψηλή διακριτική ικανότητα.

Λέξεις Κλειδιά: Διπλωματική εργασία, Αξονική τομογραφία, Ιατρική αξονική τομογραφία, βιομηχανική αξονική τομογραφία, SIEMENS, Somatom 64, NUCTECH, XT2100HS.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is twofold. Firstly to make a historical comparison of the role and evolution of computed tomography in the diagnosis of diseases and in transport safety and to determine the respective factors such as economic and social that determined the evolution of the respective technologies. Secondly to compare the technical characteristics of two machines that they have the same operating principle but different purpose and scope. The medical system SIEMENS Somatom 64 and the industrial NUCTECH XT2100HS system have been selected for comparison. Images were recorded from both systems and images were analyzed with the IQ – VIEW Lite, Radiant and Fiji software. The comparison of the systems' characteristics showed differences but also similarities in operation and performance. The medical system has significantly higher spatial and dynamic resolution as required for patient imaging and detection of pathologies. The industrial system focuses its performance on the accurate differentiation between different types of materials and uses color, in contrast to the gray only values of the medical system, in order to achieve its goal.

Keywords: Final project, Computed Tomography, Medical CT, Industrial CT, SIEMENS, Somatom 64, NUCTECH, XT2100HS.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1. Ιατρικοί και βιομηχανικοί αξονικοί τομογράφοι.....	9
1.1 Ιατρικοί Αξονικοί Τομογράφοι.....	9
1.1.1 Λίστα κατασκευαστών.....	9
1.1.2 Λίστα εφαρμογών.....	15
1.2 Βιομηχανικοί Αξονικοί Τομογράφοι.....	16
1.2.1 Λίστα κατασκευαστών.....	16
1.2.2 Λίστα εφαρμογών.....	22
2. Ιστορική εξέλιξη ιατρικών συστημάτων.....	23
2.1 Γένεση.....	23
2.2 Εξέλιξη.....	25
2.2.1 Δεκαετία 1970.....	25
2.2.2 Δεκαετία 1980.....	29
2.2.3 Δεκαετία του 1990.....	30
2.2.4 21ος αιώνας.....	32
2.3 Ιστορική εξέλιξη των τεχνικών ανακατασκευής εικόνας.....	35
3. Ιστορική εξέλιξη συστημάτων ελέγχου μεταφορών.....	36
3.1 Εφαρμογές αξονικών τομογράφων πέραν της Ιατρικής.....	36
3.1.1 Κατασκευαστική βιομηχανία.....	36
3.1.2 Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.....	37
3.1.3 Ανομοιογενή υλικά.....	38
3.1.4 Βιομηχανία φαγητού.....	39
3.2 Εφαρμογές αξονικών τομογράφων στις μεταφορές.....	40
3.2.1 Ιστορική αναδρομή στους τρόπους ελέγχου μεταφορών.....	40
3.2.2 Έλεγχος ατόμων.....	43
3.2.3 Συμβολή των ανθρώπινων παραγόντων.....	44
4. Σύγκριση ιατρικού και βιομηχανικού αξονικού τομογράφου.....	46
4.1. SIEMENS SOMATOM 64.....	46
4.1.1 Περιγραφή.....	46
4.1.2 Εφαρμογές.....	51
4.1.3 Πλεονεκτήματα.....	54
4.2 NUCTECH XT2100HS.....	55

4.2.1 Χαρακτηριστικά	55
4.2.2 Εφαρμογές.....	61
5. Σχολιασμός & Συμπεράσματα.....	64
Βιβλιογραφία.....	68

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αξονική τομογραφία, ή αλλιώς υπολογιστική τομογραφία (CT), είναι μία μέθοδος δημιουργίας τρισδιάστατων εικόνων μέσω των ακτίνων-x. Χρησιμοποιείται τόσο στην ιατρική όσο και στη βιομηχανία με σκοπό την εκτίμηση σύστασης και μεγέθους υλικών τα οποία δεν είναι εύκολα διακριτά και ευκρινή με τη χρήση συμβατικής ακτινογραφίας.

Υπολογίζεται ότι πραγματοποιούνται περίπου 300 εκ. ιατρικές εξετάσεις το χρόνο με αξονική τομογραφία, ενώ το νούμερο αυτό αυξάνεται κατά 4% ανά έτος. Όσον αφορά τη βιομηχανία και την ασφάλεια, δεν υπάρχουν ετήσια στατιστικά λόγω της ποικιλοτήτας χρήσης τους (π.χ. κατά τη διάρκεια της πανδημίας ο τουρισμός και οι αεροπορικές πτήσεις μειώθηκαν κατακόρυφα με αποτέλεσμα την ελάττωση της χρήσης συστημάτων ελέγχου στα αεροδρόμια). Ωστόσο όλο και περισσότεροι αξονικοί τομογράφοι αντικαθιστούν τη συμβατική παλαιά τεχνολογία.

Τα συστήματα αξονικής τομογραφίας θα μπορούσε κανείς να πει ότι είναι παρωχημένα στην ιατρική λόγω της ακτινοβολίας τους και των υβριδικών συστημάτων που παράγονται στον χώρο της υγείας. Ωστόσο οι νέες διαδικασίες και μέθοδοι, που αποτελούν τεχνολογικά επιτεύγματα, συνεχώς βελτιστοποιούν την λειτουργία και απόδοση αυτής της ιατρικής εξέτασης. Δεν είναι μόνο οι εξελίξεις στον τομέα των CT που οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος. Υπάρχει κοινή παραδοχή ότι η πλειοψηφία αγνοεί τη χρήση της CT διαδικασίας και σε άλλους τομείς πέραν της ιατρικής παρά το γεγονός της μαζικής παραγωγής αυτών των συστημάτων για τη βιομηχανία.

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η καταγραφή σύγχρονων ιατρικών και βιομηχανικών αξονικών τομογράφων και η σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών τους. Το πρώτο κεφάλαιο καταγράφει τους κατασκευαστές των σύγχρονων ιατρικών και βιομηχανικών CT καθώς και τις εφαρμογές λειτουργίας τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο υπάρχει αναδρομή της εξέλιξης των κλινικών συστημάτων ενώ στο τρίτο παρουσιάζεται αντίστοιχη καταγραφή για τα συστήματα ελέγχου στο χώρο των μεταφορών. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συστήματα SIEMENS SOMATOM 64 και NUCTECH XT2100HS των τομέων ιατρικής και ελέγχου αποσκευών αντίστοιχα, καθώς και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια σύγκρισης των δύο αυτών συστημάτων σε τεχνικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές.

1. Ιατρικοί και βιομηχανικοί αξονικοί τομογράφοι

Η αξονική τομογραφία, ή αλλιώς υπολογιστική τομογραφία (CT), είναι μία μέθοδος δημιουργίας τρισδιάστατων εικόνων μέσω των ακτίνων-χ. Χρησιμοποιείται τόσο στην ιατρική όσο και στη βιομηχανία με σκοπό την εκτίμηση σύστασης και μεγέθους υλικών τα οποία δεν είναι εύκολα διακριτά και ευκρινή με τη χρήση συμβατικής ακτινογραφίας ή άλλων μεθόδων. Όπως αναφέρεται και στα επόμενα κεφάλαια, η δημιουργία της μεθόδου αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 και πλέον υπάρχουν δεκάδες εταιρείες τόσο του ιατρικού κλάδου όσο και της βιομηχανίας που παράγουν αξονικούς τομογράφους εξ' ολοκλήρου ή συναρμολογώντας επιμέρους κομμάτια άλλων εταιρειών.

1.1 Ιατρικοί Αξονικοί Τομογράφοι

1.1.1 Λίστα κατασκευαστών

Η παρούσα ενότητα περιλαμβάνει μία λίστα των βασικότερων κατασκευαστών αξονικών τομογράφων με αλφαβητική σειρά.

1. Carestream Health

Η εταιρία παράγει ιατρικά και οδοντιατρικά συστήματα απεικόνισης και πληροφοριακά ιατρικά συστήματα - εφαρμογές. Τα προϊόντα της εφαρμόζονται και αξιοποιούνται σε ποικίλους τομείς της ιατρικής. Στον τομέα της ακτινογραφίας, παράγει και προμηθεύει διεθνώς, μεταξύ άλλων, συστήματα υπολογιστικής ακτινογραφίας και ψηφιακής ακτινογραφίας, συστήματα ιατρικής απεικόνισης ακτίνων Χ. Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης γυναικών, η εταιρία παράγει και προμηθεύει, μεταξύ άλλων, συστήματα και λογισμικά ψηφιακής και αναλογικής μαστογραφίας. Τα συνολικά έσοδα της Carestream Health, η οποία και αποτελεί θυγατρική εταιρία της Onex Corporation, για το οικονομικό έτος που έληξε το Δεκέμβριο του 2010 ανήλθαν σε 2,3 δισεκατομμύρια δολάρια.

2. Esaote

Ο τομέας δραστηριοποίησης της εταιρείας Esaote είναι η παραγωγή ιατρικών διαγνωστικών συστημάτων, με έμφαση στα συστήματα μαγνητικής τομογραφίας και πληροφοριών ενώ το κορυφαίο προϊόν της θεωρείται ένα σύστημα μαγνητικής τομογραφίας που εφαρμόζεται για την απεικόνιση της ανθρώπινης σπονδυλικής στήλης. Επιπροσθέτως, άλλα προϊόντα της εν λόγω εταιρείας περιλαμβάνουν μηχανήματα υπερήχων, μη απεικονιστικού ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ΗΚΓ) και μαγνητικής τομογραφίας, ενώ, επιπλέον, κατασκευάζει και απεικονιστικά μηχανήματα για τη διάγνωση στα πλαίσια της Κτηνιατρικής. Σημειώνεται πως οι εμπορικές ονομασίες των προϊόντων της είναι οι εξής: MyLab, RISolution Cardioplanet.

Η εταιρεία εδράζει στην ιταλική πόλη Γένοβα ενώ διαθέτει 13 θυγατρικές εταιρείες σε όλο τον κόσμο. Η δραστηριότητα της εταιρείας αναπτύσσεται σε δύο βασικούς τομείς, τα ιατρικά συστήματα και την ιατρική πληροφορική, με το μεγαλύτερο όγκο εργασιών να αντιστοιχεί στην ανάπτυξη και πώληση συστημάτων διαγνωστικής απεικόνισης υπερήχων στους εξής ιατρικούς τομείς: Καρδιολογία, Ακτινολογία, Μαιευτική/Γυναικολογία, Επεμβατική/ Χειρουργική, Ρευματολογία, Περιφερειακή Αναισθησία, Νεογνική/ Παιδιατρική, Ουρολογία και Ορθοπεδική. Τα έσοδα της εταιρείας για το οικονομικό έτος που έληξε το Δεκέμβριο του 2010 ανήλθαν σε 0,4 δισεκατομμύρια δολάρια.

3. Fujifilm Holdings

Πρόκειται για μία ιαπωνική εταιρεία με έδρα το Τόκυο, η οποία, σε συνεργασία με τις θυγατρικές της, δραστηριοποιείται σε τρεις (3) βασικούς τομείς: λύσεις απεικόνισης, λύσης πληροφοριών και λύσεις εγγράφων. Πιο αναλυτικά, η δραστηριότητά της αφορά την ανάπτυξη, παραγωγή και εμπόριο έγχρωμων φιλμ, ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών, μηχανών photo-finish, έγχρωμων χαρτιών, φωτοτυπικών μηχανημάτων, εκτυπωτών και υπηρεσιών στιγμιαίας εκτύπωσης. Επιπροσθέτως, η δραστηριότητά της επεκτείνεται στην ανάπτυξη ιατρικών συστημάτων, μηχανημάτων βιοεπιστήμης, μηχανημάτων γραφικών συστημάτων, μέσων εγγραφής, οπτικών συσκευών, ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και υλικών inject. Ιδιαίτερα αναφορικά με τον τομέα των ιατρικών συστημάτων, τα προϊόντα που παράγονται από τη συγκεκριμένη εταιρεία

περιλαμβάνουν ψηφιακά απεικονιστικά και διαγνωστικά συστήματα ακτίνων X, συστήματα ψηφιακής μαστογραφίας και φιλμ ακτίνων X. Τα έσοδα της εταιρείας για το οικονομικό έτος που έληξε το Μάρτιο του 2012 ανέρχονται σε 27,5 δισεκατομμύρια δολάρια.

4. GE Healthcare

Πρόκειται για μία επιχειρηματική μονάδα της General Electric Company, η οποία εδράζει στο Buckinghamshire του Ηνωμένου Βασιλείου και η οποία στοχεύει στην παροχή μετασχηματιστικών ιατρικών τεχνολογιών και υπηρεσιών καθώς και συμβουλευτικών υπηρεσιών. Η εν λόγω εταιρεία αναλαμβάνει το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την κατασκευή και τη διανομή ιατρικών συστημάτων στους τομείς της ιατρικής απεικόνισης και των πληροφοριακών τεχνολογιών, της ιατρικής διάγνωσης, της παρακολούθησης ασθενών, της ανακάλυψης φαρμακευτικών σκευασμάτων και των τεχνολογιών βιοφαρμακευτικής παραγωγής. Γενικά, οι επιχειρηματικές δραστηριότητες της συγκεκριμένης εταιρείας αφορούν πέντε (5) διακριτούς τομείς: χειρουργική, συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, βιοεπιστήμες, ιατρική διάγνωση και ιατρικές τεχνολογίες πληροφοριών.

Επιπροσθέτως, η εταιρεία παρέχει υπηρεσίες ενίσχυσης απόδοσης και λύσεων, διαχείρισης ηλεκτρονικών δεδομένων, υπηρεσίες αποϊμακρυσμένης διάγνωσης και επισκευής ιατρικού εξοπλισμού, ανεξαρτήτως από το εάν έχει κατασκευαστεί από την ίδια. Οι ιατρικοί τομείς στους οποίους χρησιμοποιούνται τα προϊόντα της GE Healthcare περιλαμβάνουν: καρδιολογία, νευρολογία, επείγουσα ιατρική, ογκολογία, υγεία της γυναίκας, ωτορινολαρυγγολογία, ορθοπαιδική, ραδιολογία, παιδιατρική, ουρολογία και γυναικολογία-μαιευτική. Τα έσοδα της εταιρείας για το οικονομικό έτος που έληξε το Δεκέμβριο του 2011 ανήλθαν σε 18,1 δισεκατομμύρια δολάρια.

Ιδιαίτερος όσον αφορά τον τομέα των ιατρικών διαγνωστικών συστημάτων, η εταιρεία στοχεύει στην ανάπτυξη καινοτόμων συστημάτων απεικόνισης για την επίτευξη της πλέον έγκαιρης και ακριβούς διάγνωσης. Τα προϊόντα που αναπτύσσονται στον τομέα αυτό περιλαμβάνουν υπερηχογράφημα, υπολογιστική τομογραφία (CT), μαγνητική τομογραφία, μαστογραφία, μοριακή απεικόνιση, πυρηνική ιατρική, τομογραφία

εκπομπής ποζιτρονίων, ραδιοφάρμακα, προκλινική απεικόνιση, ακτινογραφία και συστήματα ακτινοσκόπησης.

Η εταιρεία έχει κυκλοφορήσει πολυάριθμα συστήματα αξονικής τομογραφίας με διαφορετικές προδιαγραφές, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι:

- Nanotom m, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 180kV, μέγιστης ισχύος 15W και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων μέγιστων διαστάσεων 240 mm x 250 mm
- Nanotom s, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 180 kV, μέγιστης ισχύος 15 W και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων μέγιστων διαστάσεων 120mm x 150mm
- v/tome/x s, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 240kV, μέγιστης ισχύος 320W, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων μέγιστων διαστάσεων 135mm x 420mm
- v/tome/x L 240, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 240kV, μέγιστη ισχύ 320W, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων μέγιστων διαστάσεων 500mm x 600mm
- v/tome/x L 300, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 300kV, μέγιστη ισχύ 500W, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων μέγιστων διαστάσεων 500mm x 600mm
- v/tome/x L 450, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 450kV, μέγιστη ισχύ 1500 W, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων μέγιστων διαστάσεων 800mm x 1000mm

5. Hitachi Medical Corporation

Η εταιρία Hitachi Medical, με έδρα την Ιαπωνία, δραστηριοποιείται στην κατασκευή και πώληση προϊόντων – συστημάτων σε τέσσερις επιμέρους τομείς: ιατρικών συστημάτων, ιατρικών πληροφοριακών συστημάτων, συστημάτων ανάλυσης και συστημάτων ιατρικής ανάλυσης, κατά κύριο λόγο σε δημόσια και ιδιωτικά νοσοκομεία τόσο στην Ευρώπη όσο και την Αμερική. Στα ιατρικά συστήματα που παράγει η εταιρία συμπεριλαμβάνονται συστήματα διαγνωστικής ιατρικής απεικόνισης ακτίνων X, MRI, CT, με υπέρηχους, συστήματα πυρηνικής ιατρικής, συστήματα οπτικής

τοπογραφίας, καθώς και άλλα σχετικά ιατρικά συστήματα. Τα συνολικά έσοδα της εταιρίας για το οικονομικό έτος που έληξε το Μάρτιο του 2012 ανήλθαν σε 2,1 δισεκατομμύρια δολάρια.

6. Hologic

Η εταιρεία Hologic, η οποία εδράζει στο Bedford των Η.Π.Α. κατατάσσεται ανάμεσα στις κορυφαίες εταιρείες στον τομέα του προγραμματισμού, κατασκευής και προμήθειας υψηλής ποιότητας διαγνωστικών και απεικονιστικών ιατρικών συστημάτων που απευθύνονται σε γυναίκες, όπως συστήματα ψηφιακής μαστογραφίας και προσυμπτωματικού ελέγχου για καρκίνο του τραχήλου της μήτρας. Οι κύριοι τομείς δραστηριοποίησης της εταιρείας είναι τέσσερις (4): υγεία μαστού, διαγνωστική, γυναικολογική χειρουργική και σκελετική υγεία, ενώ στο χαρτοφυλάκιο των προϊόντων της περιλαμβάνονται πολλά απεικονιστικά συστήματα υψηλής τεχνολογίας. Τα έσοδα της εταιρείας για το οικονομικό έτος που έληξε το Σεπτέμβριο του 2011 ανήλθαν σε 1,8 δισεκατομμύρια δολάρια.

7. Philips Healthcare

Η εταιρία Philips Healthcare, θυγατρική της Royal Philips Electronics, με έδρα την Μασαχουσέτη των ΗΠΑ, δραστηριοποιείται διεθνώς σε τέσσερις επιμέρους τομείς στον χώρο της υγείας: την κατασκευή και το εμπόριο διαγνωστικών συστημάτων ιατρικής απεικόνισης, την παρακολούθηση ασθενών μέσω της κατασκευής σχετικών πληροφοριακών συστημάτων και συσκευών παρακολούθησης ασθενών, την ανάπτυξη και πώληση εφαρμογών κατ' οίκον περίθαλψης και, τέλος, στον τομέα της εξυπηρέτησης πελατών. Συγκεκριμένα, ο τομέας συστημάτων ιατρικής απεικόνισης περιλαμβάνει ακτινολογικό, CT, PET και εξοπλισμό πυρηνικής ιατρικής μέσω του οποίου παρέχονται υπηρεσίες ιατρικής απεικόνισης καθώς και υπηρεσίες υποστήριξης ελάχιστα επεμβατικών θεραπειών. Τα συνολικά έσοδα της Philips Healthcare για το οικονομικό έτος που έληξε το Δεκέμβριο του 2011 ανήλθαν σε 12,3 δισεκατομμύρια δολάρια, παρουσιάζοντας αύξηση της τάξεως του 2,9 % σε σχέση με το προηγούμενο οικονομικό έτος.

8. Shimadzu Corporation

Η εταιρία Shimadzu Corporation, με έδρα την Ιαπωνία δραστηριοποιείται διεθνώς σε επίπεδο κατασκευής και πώλησης σε ποικίλους τομείς, μεταξύ των οποίων εργαλεία μετρήσεως και ανάλυσης, εξοπλισμός αεροσκαφών, βιομηχανικά μηχανήματα και εξοπλισμός καθώς και ιατρικά διαγνωστικά συστήματα και εξοπλισμό. Συγκεκριμένα ο τομέας των ιατρικών συστημάτων επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και τη διάθεση ποικίλων συστημάτων ιατρικής απεικόνισης, καθώς και του σχετικού εξοπλισμού, με στόχο την παροχή υπηρεσιών έγκαιρης διάγνωσης και διαχείρισης ασθενειών. Τα ιατρικά συστήματα της εταιρίας περιλαμβάνουν συστήματα ψηφιακής απεικόνισης ακτίνων X, συστήματα PET και CT, καθώς και συστήματα διάγνωσης με υπέρηχους, ενώ από την ίδια εταιρία έχει αναπτυχθεί και άμεσης μετατροπής Ανιχνευτής επίπεδης οθόνης. Τα συνολικά έσοδα της εταιρίας για το οικονομικό έτος που έληξε το Μάρτιο του 2012 ανήλθαν σε 3,3 δισεκατομμύρια δολάρια.

9. Siemens Healthcare

Η εταιρεία SIEMENS αποτελεί μία μεγάλη εταιρεία που δραστηριοποιείται διεθνώς στους τομείς της ιατρικής τεχνολογίας πληροφοριών αφού αναπτύσσει, κατασκευάζει και εμπορεύεται διαγνωστικά και θεραπευτικά συστήματα, συσκευές και αναλώσιμα καθώς και πληροφοριακά συστήματα για κλινικές και διοικητικές εφαρμογές, ενώ, επιπλέον, η δραστηριότητα της εταιρείας επεκτείνεται στην παροχή τεχνικών, επαγγελματικών και συμβουλευτικών υπηρεσιών. Η επιχειρηματική της δραστηριότητα οργανώνεται σε τρεις (3) βασικούς τομείς: συστήματα ιατρικής απεικόνισης και θεραπείας, κλινικά προϊόντα και διαγνωστική. Ιδιαίτερα όσον αφορά τον τομέα των συστημάτων ιατρικής απεικόνισης, στα πλαίσιά του αναπτύσσονται συστήματα ακτίνων X, αξονικής και μαγνητικής τομογραφίας, μοριακής απεικόνισης, υπερήχων, πληροφοριακά συστήματα και λογισμικά. Τα έσοδα της εταιρείας για το οικονομικό έτος που έληξε το Σεπτέμβριο του 2011 ανήλθαν σε 17,4 δισεκατομμύρια δολάρια.

10. Toshiba Medical System Corporation

Η Toshiba Medical System Corporation αποτελεί εταιρία ιατρικών συσκευών, θυγατρική της Toshiba Corporation, με έδρα το Τόκιο, η οποία δραστηριοποιείται στον σχεδιασμό, κατασκευή και πώληση διαγνωστικού απεικονιστικού ιατρικού εξοπλισμού σε περισσότερες από 135 χώρες παγκοσμίως. Ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει συστήματα απεικόνισης με ακτίνες X, συστήματα PET και CT, συστήματα διάγνωσης με υπέρηχους, διαγνωστικά συστήματα πυρηνικής ιατρικής και συστήματα ακτινοθεραπείας. Επιπλέον, περιλαμβάνει εξοπλισμό ελέγχου ιατρικών δειγμάτων καθώς και πληροφοριακά συστήματα ιατρικού εξοπλισμού. Ειδικότερα τα συστήματα υπολογιστικής τομογραφίας CT που αναπτύσσει η εταιρία βασίζονται σε ιδιαίτερα καινοτόμες νέες τεχνολογίες (π.χ. ελικοειδής σάρωση) οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν καινοτόμες ιατρικές δραστηριότητες και να παρέχουν νέες δυνατότητες στον χώρο. Τα συνολικά έσοδα της Toshiba Medical System Corporation για το οικονομικό έτος που έληξε το Μάρτιο του 2012 ανήλθαν σε 3,2 δισεκατομμύρια δολάρια.

1.1.2 Λίστα εφαρμογών

Η μέθοδος της αξονικής τομογραφίας αποτελεί μία σημαντική απεικονιστική μέθοδο που χρησιμοποιείται σε πολυάριθμους κλάδους της Ιατρικής για την έγκαιρη διάγνωση ποικίλων παθολογικών καταστάσεων που δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν με τις συμβατικές διαγνωστικές μεθόδους. Οι βασικότεροι τομείς στους οποίους χρησιμοποιείται η μέθοδος της αξονικής τομογραφίας περιλαμβάνουν:

- Καρδιολογία
- Νευρολογία
- Επείγουσα ιατρική
- Ρευματολογία
- Περιφερειακή αναισθησία
- Ογκολογία
- Υγεία μαστού

- Σκελετική υγεία
- Ωτορινολαρυγγολογία
- Ορθοπαιδική
- Ραδιολογία
- Παιδιατρική
- Ουρολογία
- Γυναικολογία-μαιευτική.

1.2 Βιομηχανικοί Αξονικοί Τομογράφοι

1.2.1 Λίστα κατασκευαστών

Παρακάτω παρουσιάζεται μία λίστα με κάποιους από τους κυριότερους κατασκευαστές βιομηχανικών αξονικών τομογράφων με αλφαβητική σειρά.

1. CARL ZEISS AG

Η εν λόγω εταιρεία, με έδρα τη γερμανική πόλη Obercochen δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη και εμπορία προϊόντων απεικόνισης και μετρολογίας, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε ποικίλους βιομηχανικούς τομείς.

Διαθέτει το Σύστημα αξονικής τομογραφίας Metrotom. Το εν λόγω σύστημα αξονικής τομογραφίας αναπτύχθηκε από την εταιρεία Carl Zeiss AG το 2004 με στόχο την επίτευξη μέτρησης διαστάσεων των εξεταζόμενων προϊόντων. Τα δεδομένα που συλλέγονται με τη χρήση του συγκεκριμένου συστήματος αναλύονται με τη χρήση του πακέτου λογισμικού μετρολογίας και σχεδίασης μέσω υπολογιστή που έχει αναπτυχθεί από την ίδια εταιρεία και φέρει την ονομασία Calypso. Το προαναφερθέν λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να συγκρίνει τα δεδομένα που προκύπτουν από την αξονική τομογραφία με το ηλεκτρονικό σχέδιο του εξεταζόμενου αντικειμένου. Έχουν αναπτυχθεί δύο μοντέλα του συγκεκριμένου συστήματος αξονικής τομογραφίας:

- Metrotom 800, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 130kV, μέγιστης ισχύος 29W και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 125mmx 150 mm

- Metrotom 1500, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση της τάξης των 225kV, μέγιστης ισχύος 225W και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 350mm x 350mm

2. GE SENSING & INSPECTION TECHNOLOGIES

Πρόκειται για μία εταιρεία με έδρα τις Η.Π.Α., η οποία το 2007 εξαγόρασε την εταιρεία Phoenix/x-ray, η οποία είχε έδρα τη γερμανική πόλη Wunstorf και δραστηριοποιούνταν στη έρευνα και το σχεδιασμό συστημάτων ακτίνων Χ. Η εταιρεία GE Sensing & Inspection Technologies έχει αναπτύξει ένα μεγάλο φάσμα προϊόντων αξονικής τομογραφίας, των οποίων η ισχύς κυμαίνεται μεταξύ 15-1600W, ενώ, επιπλέον, παράγει σωλήνες και ανιχνευτές για διατάξεις ακτίνων Χ.

3. NIKON METROLOGY NV

Τα συστήματα αξονικής τομογραφίας της Nikon, κυκλοφορούσαν παλαιότερα από την εταιρεία X-tec, η οποία εξαγοράστηκε το 2007 από την εταιρεία Metris, η οποία, με τη σειρά της, εξαγοράστηκε δύο χρόνια αργότερα από την εταιρεία Nikon. Σήμερα, η Nikon κατασκευάζει τέσσερα (4) συστήματα αξονικής τομογραφίας με τις εξής προδιαγραφές:

- XT H 160, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 160kV, μέγιστη ισχύ 225W και εμβαδόν επιφάνειας ανιχνευτή 130mm x 130mm
- XT H 225, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 225 kV, μέγιστη ισχύ 225W, εμβαδόν επιφάνειας ανιχνευτή με διαστάσεις 195mm x 244mm και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 250 mm x 330 mm
- XTH 320 LC, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 320kV, μέγιστη ισχύ 225W και εμβαδόν επιφάνειας ανιχνευτή με διαστάσεις 195mm x 244mm
- XT H 450 3D, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 450kV, μέγιστη ισχύ 450W και εμβαδόν επιφάνειας ανιχνευτή με διαστάσεις 400mm x 400mm

4. NORDSON CORPORATION

Η Nordson Corporation ιδρύθηκε το 1954 με έδρα το Οχάιο των Η.Π.Α. και το 2006 προχώρησε στην εξαγορά της εταιρείας Dage Holdings Ltd. Η εταιρεία που προέκυψε από την εξαγορά αυτή, έλαβε την επωνυμία Nordson DAGE και είχε έδρα τη βρετανική πόλη Aylesbury. Η εν λόγω εταιρεία παράγει οχτώ (8) μηχανήματα αξονικής τομογραφίας με μέγιστη ισχύ της τάξης των 160kV και τις εξής προδιαγραφές:

- XD7600NT Ruby, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 4W, διαθέτει ανιχνευτή χιDAT3 (2 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 508mm x 444mm
- XD7600NT Ruby FP, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 4W, διαθέτει ανιχνευτή CMOS digital detector (1.3 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 508mm x 444mm
- XD7600NT Diamond, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 4W διαθέτει ανιχνευτή χιDAT3 (2 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 508mm x 444mm
- XD7600NT Diamond FP, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 4W, διαθέτει ανιχνευτή CMOS digital detector (3 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 508mm x 444mm
- XD7800NT 100HP, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 4W, διαθέτει ανιχνευτή χιDAT (2 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 610mm x 762mm
- XD7800NT950, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 3W, διαθέτει ανιχνευτή χιDAT (1,3 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 610mm x 762mm
- XD7800NT950HP, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 10W, διαθέτει ανιχνευτή χιDAT (1,3 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 610mm x 762mm
- XD7800VR, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 3W, διαθέτει ανιχνευτή χιDAT (1,3 megapixels) και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 610mm x 762mm

5. NORTH STAR IMAGING INC.

Πρόκειται για μία εταιρεία που ιδρύθηκε το 1986 με έδρα τη Μινεσότα των Η.Π.Α. και δραστηριοποιείται στην παραγωγή ανοιχτών και σφραγισμένων γεννητριών ακτίνων X καθώς και λογισμικού για τη συλλογή, επεξεργασία και αρχειοθέτηση δεδομένων. Η εν λόγω εταιρεία κατασκευάζει πέντε (5) τύπους μηχανημάτων αξονικής τομογραφίας με τις εξής προδιαγραφές:

- ImagiX, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 150kV και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 150mm
- X50-CT, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση κλειστού σωλήνα 150kV και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 300mm
- X500-CT, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση κλειστού σωλήνα 150kV και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 600mm
- X5000- CT, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση ανοιχτού σωλήνα 450kV
- EXPRESS- CT, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση ανοιχτού σωλήνα 450kV.

6. NUCTECH COMPANY LIMITED

Πρόκειται για μία εταιρεία τεχνολογίας, έδρα το Πεκίνο, η οποία δραστηριοποιείται στην έρευνα και ανάπτυξη προϊόντων επιθεώρησης ασφάλειας. Στη λίστα των προϊόντων της εν λόγω εταιρείας περιλαμβάνονται συστήματα επιθεώρησης φορτίου/οχημάτων, συστήματα αποστείρωσης αλληλογραφίας, οθόνες ραδιενέργειας, συστήματα επιθεώρησης με ακτίνες X και βιομηχανικά συστήματα αξονικής τομογραφίας, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως η σιδηροδρομική και αεροπορική ασφάλεια, η βιομηχανική κατασκευή, τα ιατρικά μηχανήματα, η προστασία του περιβάλλοντος και η επεξεργασία τροφίμων.

7. SKYSCAN

Πρόκειται για μία βελγική εταιρεία, με έτος ίδρυσης το 1996. Η εταιρεία ειδικεύεται στην ανάπτυξη συστημάτων αξονικής τομογραφίας σε νανο- ή μικρο- επίπεδο, δηλαδή συστήματα που έχουν μικρότερες διαστάσεις από τα άλλα συστήματα που διατίθενται

στην αγορά και μάζα που δεν ξεπερνά τα 500kg. Επιπροσθέτως, η εταιρεία έχει αναπτύξει και λογισμικό που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της αξονικής τομογραφίας. Η SKYSCAN κατασκευάζει πέντε (5) τύπους μηχανημάτων αξονικής τομογραφίας με δυνατότητα σάρωσης μικρών διαστάσεων αντικειμένων, με τις εξής προδιαγραφές λειτουργίας:

- 1172, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση που κυμαίνεται μεταξύ 20-100 kV, 10W, δυνατότητα ανίχνευσης λεπτομερειών σε 0,5μm, διαθέτει ανιχνευτή 11 megapixel και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 50mm x 70mm
- 1174, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση που κυμαίνεται μεταξύ 20-50kV, μέγιστη ισχύ 40W, δυνατότητα ανίχνευσης λεπτομερειών σε 6μm, διαθέτει ανιχνευτή 1,3megapixel και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 30mm x 50mm
- 1176, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 20-90kV, μέγιστη ισχύ 25W, δυνατότητα ανίχνευσης λεπτομερειών σε 9μm, διαθέτει ανιχνευτή 11megapixel, και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 68mm x 200mm
- 1178, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 20-65kV, μέγιστη ισχύ 40W, δυνατότητα ανίχνευσης λεπτομερειών σε 80μm, διαθέτει ανιχνευτή 1,3 megapixel, και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 80mm x 200mm
- 2011, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 20-80kV, δυνατότητα ανίχνευσης λεπτομερειών σε 0,2 μm και διαθέτει ανιχνευτή 1,3megapixel

8. SMITHS DETECTION

Η εν λόγω εταιρεία, η οποία είναι εισηγμένη στο Χρηματιστήριο του Λονδίνου και διαθέτει παραρτήματα σε περισσότερες από 50 χώρες, δραστηριοποιείται στο χώρο της ανάπτυξης λύσεων εντοπισμού απειλών και ελέγχου. Πιο αναλυτικά, τα προϊόντα που κατασκευάζονται από την εταιρεία Smiths Detection βρίσκουν εφαρμογή στην ασφάλεια των αεροπορικών, θαλάσσιων και οδικών μεταφορών καθώς και στον τομέα αστικής ασφάλειας και περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, συστήματα ανίχνευσης

χημικών, εκρηκτικών και ναρκωτικών ουσιών, συστήματα επιθεώρησης οχημάτων και βαρέων φορτίων καθώς και συστήματα ελέγχου ακτίνων X (smiths detection, 2022).

9. WERTH MESSTECHNIK GMBH

Η εταιρεία αυτή ιδρύθηκε το 1951 στη γερμανική πόλη Dusseldorf και σε αντίθεση με άλλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην κατασκευή συστημάτων αξονικής τομογραφίας, ειδικεύεται στην ανάπτυξη συστημάτων πολλαπλών αισθητήρων, το πρώτο εκ των οποίων κυκλοφόρησε το 2005. Πλέον η εταιρεία κατασκευάζει τέσσερα (4) μηχανήματα αξονικής τομογραφίας πολλαπλών αισθητήρων με τις εξής προδιαγραφές:

- TomoScore 200, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 130-190kV, διαθέτει ανιχνευτή διαστάσεων 50mm x 50 mm ή 130mm x 130mm, και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 110mm x 200mm
- TomoCheck 200, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 130-150 kV, διαθέτει ανιχνευτή διαστάσεων 50mm x 50mm και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 90mm x 200mm
- TomoScore HV Compact, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 225 kV και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 330mm x 350mm
- TomoScore HV 500, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 225kV, διαθέτει ανιχνευτή διαστάσεων 400mm x 400mm και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 350mm x 500mm

10. XRADIA

Η εν λόγω εταιρεία ιδρύθηκε το 2000 με έδρα την Καλιφόρνια των Η.Π.Α. και ειδικεύεται στο σχεδιασμό, ανάπτυξη και κατασκευή nano ή μικρο- συστημάτων αξονικής τομογραφίας. Έως τώρα η Xradia έχει κατασκευάσει τέσσερα (4) μηχανήματα με τις εξής προδιαγραφές:

- MicroXCT-200, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 20-90kV, μέγιστη ισχύ 8W και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 150mm
- Micro XCT- 400, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ισχύ 40-150kV, μέγιστη ισχύ 10W και χρησιμοποιείται για τη σάρωση αντικειμένων με μέγιστες διαστάσεις 300mm
- Versa XRM-500, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 30-160kV και μέγιστη ισχύ 10W mm
- UltraXRM-L200, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη τάση 20-40kV και μέγιστη ισχύ 1200W

1.2.2 Λίστα εφαρμογών

Πέραν των εφαρμογών στην Ιατρική, τα συστήματα αξονικής τομογραφίας βρίσκουν ευρεία εφαρμογή και στο βιομηχανικό τομέα, με κυριότερους τους εξής κλάδους:

- Κατασκευαστική βιομηχανία, Βιομηχανία χύτευσης και διαμόρφωσης, βιομηχανία μηχανικής κατεργασίας, βιομηχανία προσθετικής κατασκευής, βιομηχανία χύτευσης με έγχυση, βιομηχανία συναρμολογήσεων
- Βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών
- Βιομηχανία ανομοιογενών υλικών
- Βιομηχανία φαγητού

Επιπροσθέτως, ο τομέας των μεταφορών συνιστά ένα κλάδο στον οποίο η χρήση συστημάτων αξονικής τομογραφίας είναι κομβικής σημασίας, αφού εφαρμόζεται στον έλεγχο αποσκευών και επιβατών με στόχο την ασφάλεια των μετακινήσεων, κυρίως των αεροπορικών. Οι εφαρμογές της αξονικής τομογραφίας στον τομέα των μεταφορών παρουσιάζεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

2. Ιστορική εξέλιξη ιατρικών συστημάτων

2.1 Γένεση

Παρά το γεγονός ότι η αξονική τομογραφία αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960, ως συνέπεια της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών που καταγράφηκε την εποχή εκείνη, οι απαρχές της γέννησης των ιδεών στις οποίες θεμελιώθηκε η εν λόγω τεχνική ιατρικής απεικόνισης, πρέπει να αναζητηθούν στα πρώτα χρόνια του 20ού αιώνα. Πιο αναλυτικά, στα πλαίσια μίας ερευνητικής εργασίας που δημοσίευσε ο Radon το 1917, αποδείχθηκε ότι είναι εφικτός ο υπολογισμός της κατανομής της ύλης ή των ιδιοτήτων της ύλης που εντοπίζονται σε ένα στρώμα αντικειμένου εάν είναι γνωστές οι ακέραιες τιμές κατά μήκος οποιουδήποτε αριθμού γραμμών διέρχονται από το ίδιο στρώμα. Η εν λόγω ιδέα δεν εφαρμόστηκε στον τομέα της Ιατρικής αλλά μόνο στον τομέα της ραδιοαστρονομίας από τον Bracewell (1956), το έργο του οποίου δεν κατάφερε να συγκεντρώσει ικανοποιητική απήχηση στην επιστημονική κοινότητα.

Η πρώτη πειραματική εφαρμογή της ανακατασκευαστικής τομογραφίας για ιατρικούς σκοπούς έγινε από το φυσικό A.M. Cormack, το έργο του οποίου στόχευε στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της ακτινοθεραπείας σε ένα νοσοκομείο του Cape Town της Νότιας Αφρικής. Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1957-1963, ο εν λόγω ερευνητής έθεσε ως στόχο του έργου του την ανάπτυξη μίας μεθόδου υπολογισμού της κατανομής της ακτινοβολίας που απορροφάται από το ανθρώπινο σώμα, αξιοποιώντας τις μετρήσεις εκπομπής (Cormack, 1963). Ο Cormack επεσήμανε ότι για να είναι αξιοποιήσιμη η συγκεκριμένη μέθοδος στην ιατρική ακτινολογία, είναι απαραίτητη η ικανότητα εμφάνισης ακόμα και των πλέον ελάχιστων διαφορών απορρόφησης, για παράδειγμα σε διαφορετικές δομές μαλακών ιστών. Ωστόσο, βασικό μειονέκτημα του έργου του Cormack υπήρξε το γεγονός ότι δεν είχε λάβει ως δεδομένες τις ιδέες που είχε αποδείξει νωρίτερα ο Radon, γεγονός που, σύμφωνα με τον ίδιο, δημιούργησε σημαντικές καθυστερήσεις. Ωστόσο, όταν, τελικά, έλαβε γνώση του έργου του Radon, είχε την ευκαιρία να διαπιστώσει πως και ο τελευταίος δεν ήταν ενήμερος για την

παλαιότερη εργασία του Ολλανδού H.A. Lorentz, ο οποίος είχε ήδη διατυπώσει μία σχετική ιδέα δουλεύοντας πάνω στην επίλυση ενός μαθηματικού προβλήματος το 1905 (Cormack, 1992).

Κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, το έργο σπουδαίων επιστημόνων συνέβαλε στην ανάπτυξη και την εφαρμογή της μεθόδου της υπολογιστικής τομογραφίας για ιατρικούς σκοπούς και τη βελτίωση της κλινικής της αποτελεσματικότητάς. Πιο αναλυτικά, ο Oldendorf (1961) δημοσίευσε μία πρωτοποριακή ερευνητική εργασία σχετικά με την υπολογιστική τομογραφία το 1961, ενώ οι Kuhl & Edwards (1963) υπήρξαν οι πρώτοι που πρότειναν την ιδέα της αξονικής τομογραφίας εκπομπής το 1963, η οποία, συνεπώς, προηγήθηκε χρονικά της ιδέας αξονικής τομογραφίας μετάδοσης. Η έννοια της φιλτραρισμένης οπίσθιας προβολής εισήχθη το 1967 από τους Bracewell & Riddle (1967). Όσον αφορά τις αλγεβρικές τεχνικές ανακατασκευής της εικόνας, αυτές περιγράφηκαν το 1970 από τους Gordon et al. (1970) και το 1973 από τους Herman et al. (1973), ενώ οι αντίστοιχες τεχνικές Fourier αναπτύχθηκαν το 1971 από τους Bates & Peters (1971). Ωστόσο, κομβικής σημασίας για την περιγραφή των τεχνικών φιλταρίσματος που θεωρούνται θεμελιώδους σημασίας για την αξονική τομογραφία, θεωρείται η εργασία των Shepp & Logan (1974).

Ωστόσο, παρά τη σημαντική συμβολή της εργασίας των προαναφερθέντων ερευνητών, τον τίτλο του εφευρέτη της αξονικής τομογραφίας φέρει ο G.N. Hounsfield (1973). Αγνοώντας τα αποτελέσματα των προγενέστερων ερευνητικών εργασιών, και εργαζόμενος για τη βρετανική εταιρεία EMI Ltd, ο Hounsfield κατάφερε να κατασκευάσει τον πρώτο αξονικό τομογράφο προκαλώντας έκπληξη στον επιστημονικό κόσμο. Η επιτυχία του χάρισε στην EMI το μονοπώλιο της κατασκευής τέτοιων ιατρικών απεικονιστικών μηχανημάτων για δύο (2) χρόνια έως ότου η SIEMENS υπήρξε η πρώτη εταιρεία που δραστηριοποιείται στον τομέα κατασκευής ραδιολογικού εξοπλισμού που κατάφερε να αναπτύξει ένα αντίστοιχο μηχάνημα. Έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970, 18 εταιρείες είχαν κυκλοφορήσει μηχανήματα αξονικής τομογραφίας, ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές από αυτές, συμπεριλαμβανομένης της EMI, δε δραστηριοποιούνται πλέον στο συγκεκριμένο τομέα (Kalender, 2006).

Η πρώτη εφαρμογή αξονικού τομογράφου στην κλινική πράξη έλαβε χώρα το 1972 στο νοσοκομείο Atkinson Morley Hospital του Λονδίνου, όπου διαπιστώθηκε η

αποτελεσματικότητά του μέσα από τη σαφή απεικόνιση ενός κυστικού όγκου μετωπιαίου λοβού. Κατά τα χρόνια που ακολούθησαν αυτή την πρώτη εφαρμογή, επιβεβαιώθηκε εκ νέου η σημασία της συγκεκριμένης απεικονιστικής τεχνικής, η οποία χαρακτηρίστηκε ως η πλέον σημαντική εφεύρεση στον τομέα της διαγνωστικής ακτινολογίας μετά την ανακάλυψη των ακτίνων X. Η ευρεία αποδοχή της νέας αυτής τεχνικής από την ιατρική κοινότητα προκύπτει και από το γεγονός ότι περισσότερες από 10.000 συσκευές αξονικής τομογραφίας είχαν εγκατασταθεί στα νοσοκομεία το 1980, πολλά εκ των οποίων είχαν τη δυνατότητα διενέργειας αξονικής τομογραφίας κεφαλής καθώς και από το γεγονός ότι οι Hounsfield και Cormack έλαβαν το βραβείο Νόμπελ Ιατρικής για το έτος 1979 (Kalender, 2006). Αξίζει να σημειωθεί ότι η σημασία της τεχνικής της αξονικής τομογραφίας για διαγνωστικούς σκοπούς δεν έχει φθίνει έως σήμερα αφού η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως ενώ νέες ανακαλύψεις στον τομέα της ακτινολογικής απεικόνισης έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων βελτιωμένων μηχανημάτων αξονικής τομογραφίας .

2.2 Εξέλιξη

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αξονικής τομογραφίας στην έγκαιρη διάγνωση μείζονων ζητημάτων υγείας που δεν ήταν δυνατό να εντοπιστούν με άλλες διαθέσιμες διαγνωστικές μεθόδους, οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να δώσει μεγάλη έμφαση στη σταδιακή αναβάθμιση των διαθέσιμων συστημάτων, βελτιώνοντας ποικίλες παραμέτρους της λειτουργίας τους. Στα πλαίσια της παρούσας ενότητας καταγράφονται οι σημαντικότερες εξελίξεις που συντελέστηκαν στα κλινικά συστήματα αξονικής τομογραφίας από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, όταν κατασκευάστηκε ο πρώτος αξονικός τομογράφος έως τις μέρες μας.

2.2.1 Δεκαετία 1970

Όπως αναφέρθηκε και στα πλαίσια προηγούμενης ενότητας της παρούσας εργασίας, το 1972, ο Hounsfield κατασκεύασε την πρώτη αποτελεσματική πειραματική διάταξη αξονικής τομογραφίας, η οποία αποτέλεσε την «πρώτη γενιά» αξονικών τομογράφων,

ενώ η δεύτερη γενιά αξονικών τομογράφων, που αναπτύχθηκε λίγα χρόνια αργότερα, παρουσίαζε μόνο ελάχιστες διαφορές από την αρχική διάταξη. Πιο αναλυτικά, οι κατασκευαστές της νέας διάταξης, με στόχο να βελτιώσουν την ταχύτητα σάρωσης αξιοποιώντας πιο αποτελεσματικά την ισχύ της ακτινοβολίας, συμπεριέλαβαν κάποιους αισθητήρες στη διάταξη με αποτέλεσμα να αυξηθεί το πάχος των εκπεμπόμενων ακτίνων X. Η λειτουργία και των δύο αρχικών γενιών αξονικών τομογράφων βασιζόνταν στην αρχή της μετάφρασης-περιστροφής, η οποία ορίζει πως η πηγή της ακτινοβολίας και ο αισθητήρας σαρώνουν το αντικείμενο κατά τη διάρκεια μίας γραμμικής μεταφραστικής κίνησης, η οποία επαναλαμβάνεται μετά από μία περιστροφική αύξηση της δόσης (Kalender, 2006).

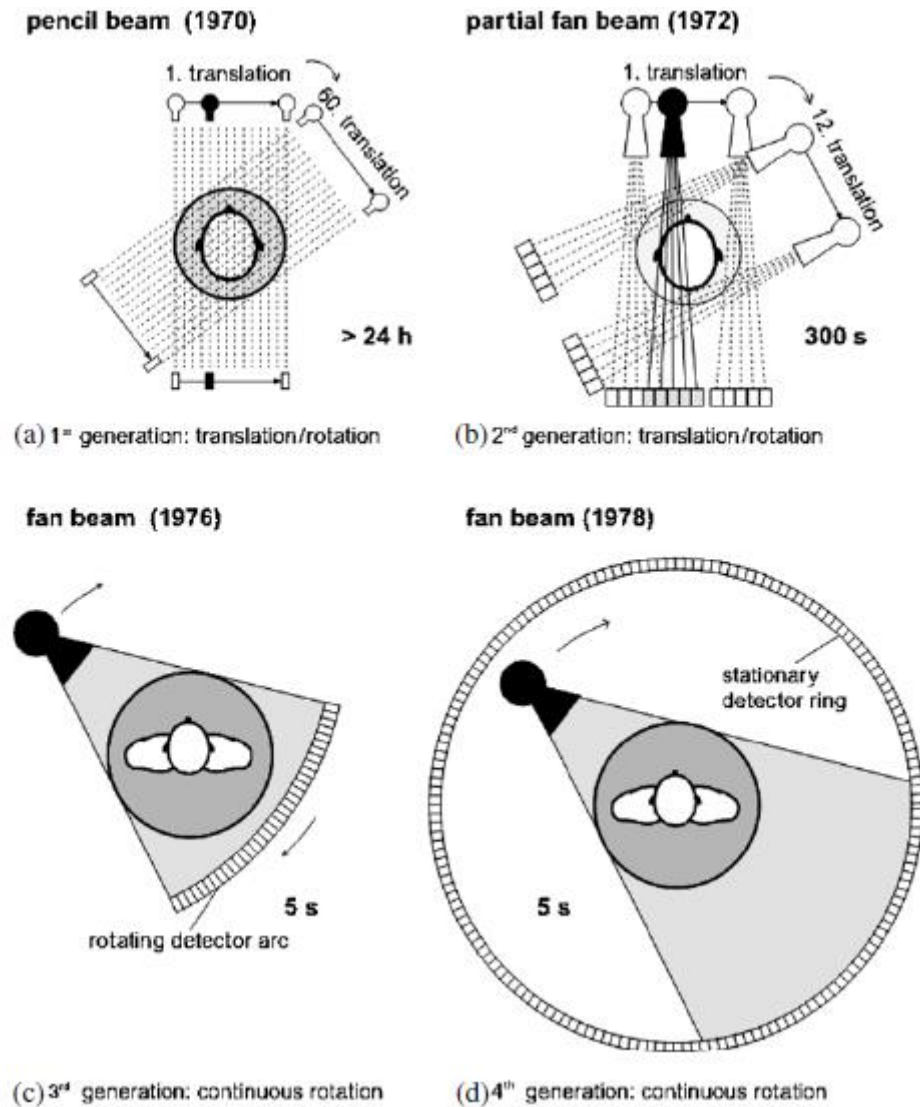
Για την επίτευξη εικόνων 180° , απαιτούνταν βήματα 1° και 160 σημείων δεδομένων το καθένα, γεγονός που αντιστοιχούσε σε 28.800 σημεία δεδομένων σε κάθε σάρωση. Η διενέργεια αξονικής τομογραφίας με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα για την επίτευξη εικόνων 80x80 pixels. Ο απαιτούμενος χρόνος σάρωσης ανερχόταν σε 5 λεπτά, ενώ η ανακατασκευή της εικόνας, η οποία γινόταν ταυτόχρονα με τη σάρωση, απαιτούσε τον ίδιο χρόνο (Kalender, 2006).

Στη δεύτερη γενιά αξονικών τομογράφων, η γραμμική ακτίνα (pencil beam) αντικαταστάθηκε από μία «ακτίνα- ανεμιστήρα» (fan beam) κι έναν αισθητήρα με μεγαλύτερη καμπύλη προκειμένου να καταστεί δυνατή η ταυτόχρονη σάρωση μίας προβολής. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνονταν αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας X. Κατά την περίοδο αυτή, εγκαταλήφθηκε η μεταφραστική κίνηση και η σάρωση γινόταν στα πλαίσια της περιστροφικής κίνησης της διάταξης (Kalender, 2006).

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα που επιτεύχθηκε μέσω της αναβάθμισης των συστημάτων αξονικής τομογραφίας αφορά το γεγονός ότι, σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές αξονικών τομογράφων που περιορίζονταν σε σάρωση της κεφαλής του ασθενούς, πλέον κατέστη δυνατή η απεικόνιση ολόκληρου του σώματος. Οι εν λόγω διατάξεις χαρακτηρίστηκαν ως «Τρίτη γενιά» αξονικών τομογράφων και χαρακτηρίζονταν από ταχύτητα σάρωσης 20 δευτερολέπτων ανά εικόνα, αποτελούσαν από μία διάταξη σωλήνα παραγωγής ακτίνων X και ανιχνευτών, η οποία περιστρέφονταν γύρω από τον ασθενή και τέθηκαν σε κυκλοφορία το 1976. Στη συνέχεια, λίγα χρόνια αργότερα, ακολούθησε η ανάπτυξη της «τέταρτης γενιάς αξονικών τομογράφων», οι διατάξεις

των οποίων περιλάμβαναν ένα δακτυλιοειδή σταθερό ανιχνευτή, στο κέντρο του οποίου τοποθετούνταν ο ασθενής, και έναν κινητό σωλήνα παραγωγής ακτίνων Χ. Πλέον, η μεταφραστική- περιστροφική κίνηση έχει πλήρως εγκαταλειφθεί ενώ η διάταξη της τρίτης γενιάς αξονικών τομογράφων είναι αυτή που τελικά έχει επικρατήσει έως τις μέρες μας (Kalender, 2006).

Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1970, τα υφιστάμενα μηχανήματα αξονικής τομογραφίας χαρακτηρίζονταν από ταχύτητα σάρωσης 5-10 δευτερολέπτων ανά εικόνα και πάχος τομής 5-10mm, ενώ 18 εταιρείες δραστηριοποιούνταν στον τομέα της κατασκευής τέτοιων συστημάτων (Kalender, 2006).



Εικόνα 1: Παρουσιάζονται οι τέσσερις γενιές σαρωτών που αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1970. Σαρωτές κεφαλής, οι οποίοι σάρωναν τον ασθενή με μετατόπιση και περιστροφή του συστήματος μέτρησης με γραμμική ακτίνα (pencil beam) (a) ή μικρή δέσμη ανεμιστήρα (fan beam) (b), και συστήματα δέσμης ανεμιστήρα, στα οποία μπορούν να σαρωθούν όλα τα τμήματα του σώματος με συνεχή περιστροφή 360°. Η «3η γενιά», που διαθέτει περιστρεφόμενο ανιχνευτή (c), προτιμήθηκε από την «4η γενιά», η οποία χρησιμοποιεί σταθερούς δακτυλίους ανιχνευτή (d).

(Kalender, 2006)

2.2.2 Δεκαετία 1980

Κατά τη δεκαετία του 1980 δόθηκε μεγάλη έμφαση στη βελτίωση της ταχύτητας της σάρωσης αφού αυτή επηρέαζε άμεσα την ποιότητα των εικόνων, δεδομένου ότι μία μεγάλη ταχύτητα σάρωσης σχετιζόταν με αυξημένο κίνδυνο ακούσιων ή εκούσιων κινήσεων του ασθενών που οδηγούσαν σε τεχνικά σφάλματα. Επιπλέον, η ανάγκη ύπαρξης καλωδίων για την παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του αξονικού τομογράφου λειτουργούσε ανασταλτικά στη συνεχή περιστροφική κίνηση της διάταξης. Έτσι, η βέλτιστη ταχύτητα που μπορούσε να επιτευχθεί με τα υπάρχοντα μηχανήματα την εποχή αυτή προσέγγιζε τα 2 δευτερόλεπτα (Kalender, 2006).

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι το ενδιαφέρον της επιστημονικής έρευνας κατά τη δεκαετία του 1980 επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη διατάξεων αξονικών τομογράφων με τις ελάχιστες δυνατές ταχύτητες σάρωσης (Boyd, 1981; Boyd & Lipton, 1983). Οι προσπάθειες αυτές οδήγησαν στην ανάπτυξη δύο βασικών εξελιγμένων διατάξεων αξονικής τομογραφίας: μία συμβατική διάταξη αξονικής τομογραφίας με δυνατότητα συνεχούς περιστροφής και μία διάταξη αξονικής τομογραφίας με χρήση δέσμης ηλεκτρονίων (Electron Beam CT- EBCT). Στα πλαίσια των αξονικών τομογράφων δέσμης ηλεκτρονίων, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για διάγνωση καρδιαγγειακών παθήσεων, μία δέσμη ηλεκτρονίων κινείται προς έναν από τους τέσσερις ημικυκλικούς στόχους που περιβάλλουν τον ασθενή. Η επίτευξη της πλήρους παράλειψης οποιασδήποτε μηχανικής κίνησης στα πλαίσια της συγκεκριμένης διάταξης, έδινε τη δυνατότητα σημαντικού περιορισμού των χρόνων σάρωσης, οι οποίοι πλέον ανέρχονταν σε 33-100 ms και μία ποιότητα εικόνας που ήταν εντυπωσιακή για τα δεδομένα της εποχής (Kalender, 2006).

Ωστόσο, οι αξονικοί τομογράφοι δέσμης ηλεκτρονίων παρουσίαζαν δύο βασικά μειονεκτήματα αφού από τη μία πλευρά, η τροχιά εστίασης της διάταξης περιοριζόταν στις 220°, ενώ η στατικότητα του ανιχνευτή συνεπαγόταν αδυναμία χρήσης αντισκεδαστών ρυθμιστών. Επιπλέον, τα δύο προαναφερθέντα μειονεκτήματα λειτουργούσαν ανασταλτικά στη δυνατότητα χρήσης μεγαλύτερου εύρους ανιχνευτών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η ισχύς της ακτινοβολίας των συγκεκριμένων μηχανημάτων ήταν παρόμοια με την αντίστοιχη ισχύ των συμβατικών μηχανημάτων.

Γρήγορα, διαπιστώθηκε πως η αποδοτικότητα των σπειροειδών αξονικών τομογράφων με πολλαπλές σειρές ανιχνευτών ήταν υψηλότερη από την αντίστοιχη αποδοτικότητα των αξονικών τομογράφων δέσμης ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα η χρήση των τελευταίων να εγκαταλείφτει μετά από περίπου δύο δεκαετίες (Kalender, 2006).

Την ίδια δεκαετία, καταγράφηκε η ανάπτυξη ενός αξονικού τομογράφου διπλής ενέργειας με στόχο τη μέτρηση της πυκνότητας των οστών (Kalender et al., 1987). Σημειώνεται πως ακόμα και σήμερα γίνεται αξιολόγηση της συγκεκριμένης παραμέτρου μέσω αξονικής τομογραφίας μονής ενέργειας και με χρήση χαμηλής δόσης ακτινοβολίας. Η αξονική τομογραφία διπλής ενέργειας εγκαταλήφθηκε όταν επιτεύχθηκε η συνεχής συλλογή δεδομένων και υψηλότερης ταχύτητας σάρωσης.

Το 1987 αναπτύχθηκαν οι πρώτοι αξονικοί τομογράφοι συνεχούς περιστροφής, στα πλαίσια των οποίων τα καλώδια που χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας στο σωλήνα των ακτίνων Χ αντικαταστάθηκαν από δακτυλίους ολίσθησης. Η συγκεκριμένη λειτουργική δομή, με βάση τη συνεχή περιστροφή της διάταξης και τη χρήση δακτυλίων ολίσθησης, εφαρμόζεται ακόμα και σήμερα στους σύγχρονους αξονικούς τομογράφους (Kalender, 2006).

Παρά το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης δεκαετίας επιτεύχθηκαν ορισμένες σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία της αξονικής τομογραφίας, ωστόσο, η αδυναμία μείωσης του απαιτούμενου χρόνου εξέτασης σε αποδεκτά επίπεδα και η παράλληλη ανάπτυξη της διαγνωστικής μεθόδου της πυρηνικής μαγνητικής τομογραφίας, έθεσαν τη μέθοδο της αξονικής τομογραφίας σε σημαντικό κίνδυνο εγκατάλειψης (Kalender, 2006).

2.2.3 Δεκαετία του 1990

Κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης δεκαετίας δόθηκε μεγάλη έμφαση στην εξέλιξη της σπειροειδούς αξονικής τομογραφίας, η οποία είχε αναπτυχθεί για πρώτη φορά το 1989 (Kalender, 1989). Η μετάβαση από τη συμβατική στην σπειροειδή αξονική τομογραφία υπαγορεύτηκε από τις ανάγκες της κλινικής πράξης σχετικά με την απεικόνιση ανατομικών δομών που υπόκεινται σε συνεχή κίνηση.

Παρόλο που η σπειροειδής αξονική τομογραφία είχε μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης δεκαετίας, για αρκετά χρόνια επικρατούσε η άποψη ότι δεν ήταν κατάλληλη για ευρεία χρήση στην κλινική πράξη καθώς συνδεόταν με υψηλό κίνδυνο επιδείνωσης της ποιότητας της εικόνας (Crawford & King, 1990). Πιο αναλυτικά, βασικές προϋποθέσεις για την επίτευξη μίας καλής ποιότητας εικόνας με χρήση συμβατικών αξονικών τομογράφων αποτελούν, αφενός, η παντελής απουσία κίνησης του ασθενούς και, αφετέρου, η απολύτως επίπεδη γεωμετρία του εξεταζόμενου αντικειμένου. Ωστόσο, η λειτουργία των σπειροειδών αξονικών τομογράφων έρχεται σε άμεση αντίθεση με τις δύο αυτές προϋποθέσεις, γεγονός που δημιουργούσε σημαντική δυσπιστία σε πολλούς επιστήμονες σχετικά με την αποτελεσματικότητα της νέας γενιάς αξονικών τομογράφων (Kalender, 2006).

Ως εκ τούτου, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η τεχνολογία της σπειροειδούς αξονικής τομογραφίας δεν έγινε αμέσως αποδεκτή από τους επιστήμονες και τους κατασκευαστές και μόνο μετά από τρία χρόνια από την εισαγωγή της, οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές στον τομέα ανακοίνωσαν την κυκλοφορία μηχανημάτων αξονικής τομογραφίας που βασίζονται στην τεχνολογία των δακτυλίων ολίσθησης και διαθέτουν δυνατότητες σπειροειδούς σάρωσης. Έκτοτε, καταγράφηκαν σημαντικές ανακαλύψεις στον ερευνητικό τομέα, οι οποίες οδήγησαν, μεταξύ άλλων, σε ενίσχυση της ισχύος της ακτινοβολίας και των δυνατοτήτων των υπολογιστών, καθώς και σε βελτίωση της ταχύτητας σάρωσης και της ποιότητας των εικόνων (Kalender, 2006).

Τέλος, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 καταγράφηκε η πρώτη καρδιακή απεικόνιση επιλεκτικής φάσης με χρήση συμβατικών αξονικών τομογράφων από τους Polacin και Kalender (1992), το έργο των οποίων έγινε δεκτό με έντονη δυσπιστία από την επιστημονική κοινότητα έως το 1995. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι μετά το 1995, διεξήχθησαν περαιτέρω έρευνες πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο, οι κατασκευαστές αξιοποίησαν τη συγκεκριμένη μέθοδο στα προϊόντα τους μόλις στις αρχές της επόμενης δεκαετίας. Σημειώνεται πως σήμερα η αξονική τομογραφία της καρδιάς και η αξονική τομογραφία καρδιακής αγγειογραφίας θεωρούνται ως μείζονα επιτεύγματα της ιατρικής έρευνας στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης.

Όπως προκύπτει με βάση τα παραπάνω, κατά την τελευταία δεκαετία του 20ού αιώνα, η μέθοδος της αξονικής τομογραφίας είχε επανακτήσει την αποδοχή της ως διαγνωστική μέθοδος και η αποτελεσματικότητά της είχε αυξηθεί μέσω της επίτευξης

σημαντικά μειωμένων χρόνων, οι οποίοι ήταν μικρότεροι του 1 δευτερολέπτου ανά εικόνα και του 1 λεπτού ανά εξέταση (Kalender, 2006).

2.2.4 21ος αιώνας

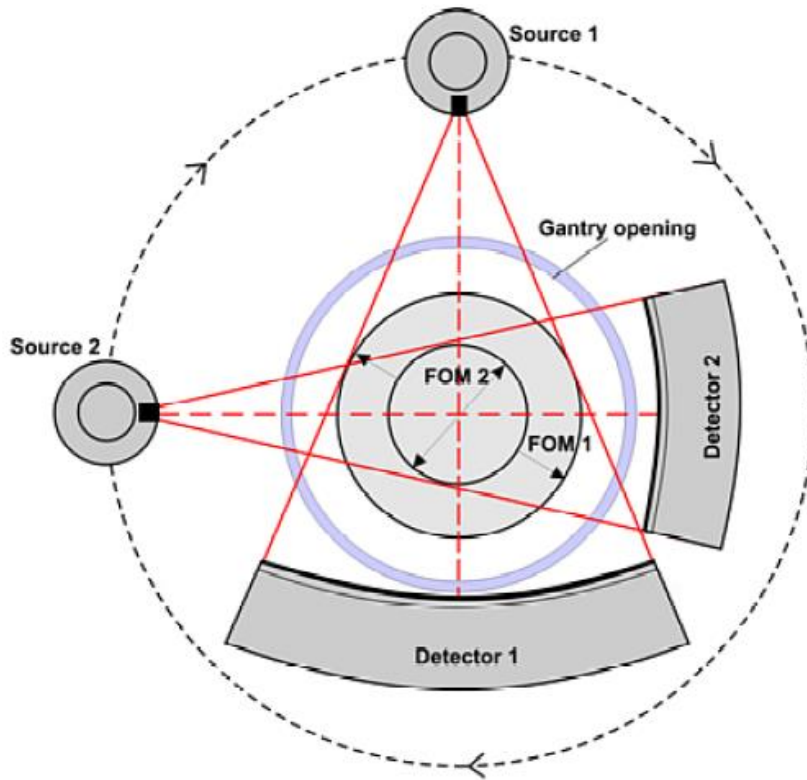
Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η επιστημονική έρευνα σχετικά με τη μέθοδο της αξονικής τομογραφίας επικεντρώθηκε στη βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών των διατάξεων που είχαν αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών. Πιο αναλυτικά, κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου, επιτεύχθηκε ενίσχυση της ταχύτητας σάρωσης μέσω του εμπλουτισμού των ανιχνευτών με επιπλέον σειρές, ο οποίος οδήγησε σε αύξηση των τομών που μπορούσαν να σαρωθούν ταυτόχρονα. Ενδεικτικά αναφέρεται πως το 2001 έγινε εφικτή η ταυτόχρονη λήψη 16 τομών, ενώ σήμερα ο αριθμός αυτός έχει αυξηθεί σημαντικά, όπως και η ποιότητα της εικόνας. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως, αν και οι προβλέψεις στις αρχές του 21^{ου} αιώνα ανέφεραν διπλασιασμό των σειρών στους ανιχνευτές κάθε 18 μήνες, διατυπώθηκε η άποψη ότι η αύξηση αυτή πέρα από κάποιο όριο θα συνοδευόταν από ποικίλα προβλήματα (Kalender, 2005).

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2000, είχε πλέον καταστεί εφικτή η διενέργεια αξονικών τομογραφιών με τη μέθοδος της ταυτόχρονης λήψης πολυάριθμων τομών, οι οποίες οδηγούσαν σε αποτελέσματα υψηλής διαγνωστικής αξίας. Εξαίρεση στον κανόνα αυτό υπήρξαν οι αξονικές τομογραφίες καρδιάς αφού, παρόλο που η στεφανιαία αγγειογραφία με τη χρήση αξονικού τομογράφου 64 τομών, αποτελούσε μία μη επεμβατική ιατρική πράξη ρουτίνας, με χρόνους σάρωσης μικρότερους των 10 δευτερολέπτων, θεωρούνταν επιτυχημένη διαγνωστική μέθοδο σε ποσοστό μόλις 80-90% (Kalender, 2006).

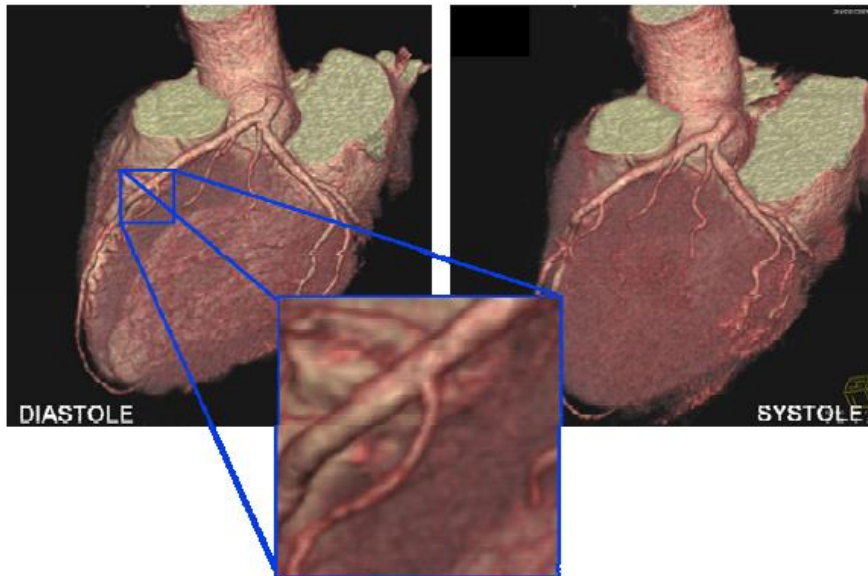
Η λύση που προκρινόταν για την επίλυση του προαναφερθέντος προβλήματος ήταν η υψηλότερη χρονική ανάλυση η οποία, κατά κανόνα, επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης της ταχύτητας περιστροφής. Όμως, η προαναφερθείσα αύξηση συνδέεται με ορισμένες τεχνικές δυσκολίες, όπως η αύξηση των φυγόκεντρων δυνάμεων, οι οποίες υπολογίζεται ότι φτάνουν τα 30g στα συμβατικά μηχανήματα αξονικής τομογραφίας που περιστρέφονται με ταχύτητα 330ms. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η

μεγαλύτερη δυσκολία αφορά στην επίτευξη της απαραίτητης ισχύος των ακτίνων X προκειμένου να μην υποβαθμιστεί η ποιότητα της παραγόμενης εικόνας, αφού η ισχύς της ακτινοβολίας πρέπει να αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα με τη μείωση του χρόνου περιστροφής (Kalender, 2006).

Από την άλλη πλευρά, άλλη μία λύση που προτάθηκε κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης δεκαετίας, αν και η ιδέα είχε διατυπωθεί για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1970, ήταν η κατασκευή διατάξεων πολλαπλών πηγών. Η πρώτη διάταξη αυτού του είδους περιελάμβανε δύο μονάδες ακτίνων X και δύο ανιχνευτές, και εγκαταστάθηκε στο Ινστιτούτο Ιατρικών Επιστημών στο Erlangen της Γερμανίας. Το εν λόγω μηχάνημα είχε ταχύτητα περιστροφής 330ms και χρόνο σάρωσης 63ms για σαρώσεις τμημάτων του ανθρώπινου σώματος, ενώ ο τελευταίος χρόνος μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο με τη μεταβολή άλλων μεταβλητών της σάρωσης (Kachelrieβ et al., 2000). Σημειώνεται ότι όπως αποδείχθηκε μέσω της διενέργειας σχετικών προσομοιώσεων, η χρήση διατάξεων πολλαπλής σάρωσης συνιστά μία αποτελεσματικότερη λύση αναφορικά με τη μείωση του χρόνου σάρωσης σε σχέση με τον υποδιπλασιασμό του χρόνου περιστροφής (Kalender, 2005), ενώ το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώθηκε και μέσω κλινικών δοκιμών (Achenbach et al., 2006).



(a)



(b)

Εικόνα 2: Η αξονική τομογραφία διπλής πηγής συνδέει δύο πλήρη συστήματα ακτίνων X και συλλογής δεδομένων σε ένα gantry. Το παράδειγμα που παρουσιάζεται, το SOMATOM Definition Flash που εισήχθη το 2005, χρησιμοποιεί δύο συστήματα 80 kW σε χρόνους περιστροφής 330 ms (a) και παρέχει αποτελεσματικούς χρόνους σάρωσης 83 ms για καρδιακή απεικόνιση (β). (Siemens, 2005)

2.3 Ιστορική εξέλιξη των τεχνικών ανακατασκευής εικόνας

Βασικό και αναπόσπαστο στοιχείο της αξονικής τομογραφίας αποτελεί η διαδικασία ανακατασκευής εικόνας και, για το λόγο αυτό, οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται στη συγκεκριμένη φάση της αξονικής τομογραφίας εξελίχθηκαν παράλληλα με τα συστήματα αξονικής τομογραφίας. Πιο αναλυτικά, πριν από την ανάπτυξη της σπειροειδούς αξονικής τομογραφίας επικρατούσε ο αλγόριθμος φιλτραρισμένης οπισθοπροβολής ευρείας αξονικής δέσμης, ο οποίος, στη συνέχεια, αντικαταστάθηκε από ένα νέο αλγόριθμο που έδινε τη δυνατότητα να αντισταθμιστούν τα τεχνικά σφάλματα που προκαλούνταν από τη σπειροειδή κίνηση του συστήματος. Στη συνέχεια, ο ελικοειδής αλγόριθμος ευρείας δέσμης αντικαταστάθηκε από τον αλγόριθμο φιλτραρισμένης οπισθοπροβολής κωνικής δέσμης, ο οποίος έδινε καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση των συστημάτων αξονικής τομογραφίας πολλαπλών τομών (Hsieh et al., 2013).

Η αυξανόμενη αποδοχή της αξονικής τομογραφίας ως μία αποτελεσματική διαγνωστική μέθοδο, οδήγησε την επιστημονική κοινότητα να εστιάσει στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων και τεχνικών που θα διασφαλίζουν τον περιορισμό της δόσης ακτινοβολίας που συνδέεται με τη συγκεκριμένη μέθοδο καθώς και των συνεπαγόμενων κινδύνων. Η ανάπτυξη των εν λόγω πρωτοκόλλων, οδήγησε στην ανάπτυξη νέων μεθόδων στατιστικής επαναληπτικής ανακατασκευής (Hsieh et al., 2013).

Σήμερα διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες μεθόδων ανακατασκευής εικόνας που χρησιμοποιούνται στην αξονική τομογραφία, η αναλυτική ανακατασκευή και η επαναληπτική ανακατασκευή, εκ των οποίων η πρώτη έχει συσχετισθεί με καλύτερα αποτελέσματα σε υπολογιστικό επίπεδο, ενώ η δεύτερη έχει συσχετισθεί με καλύτερη ποιότητα εικόνας (Hsieh et al., 2013). Επιπροσθέτως, η επαναληπτική ανακατασκευή σχετίζεται με ένα υψηλότερο κόστος (Herman, 2009).

3. Ιστορική εξέλιξη συστημάτων ελέγχου μεταφορών

3.1 Εφαρμογές αξονικών τομογράφων πέραν της Ιατρικής

Στα πλαίσια της παρούσας ενότητας θα γίνει αναφορά στις εφαρμογές της αξονικής τομογραφίας σε ποικίλους βιομηχανικούς τομείς. Η εφαρμογή της αξονικής τομογραφίας, γνωστή και ως XCT ή iCT (industrial CT) βασίζεται στη μέθοδο της χρήσης ακτινοβολίας X για τη λήψη δυσδιάστατων εικόνων ενός αντικειμένου από ποικίλες γωνίες γύρω από έναν άξονα περιστροφής και, στη συνέχεια, η χρήση των εικόνων αυτών για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (De Chiffre et al., 2014).

Όπως αναφέρθηκε στα πλαίσια της προηγούμενης ενότητας της παρούσας εργασίας, ο πρώτος αξονικός τομογράφος για ιατρικούς σκοπούς κατασκευάστηκε το 1972 ενώ, η επέκταση της χρήσης των εν λόγω μηχανημάτων για μη ιατρικούς σκοπούς έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας, κυρίως, στους τομείς της ανάλυσης υλικών, του μη καταστροφικού ελέγχου (Nondestructive testing- NDT) και του εντοπισμού ελαττωμάτων στα υλικά (De Chiffre et al., 2014).

Η χρησιμότητα της αξονικής τομογραφίας στο βιομηχανικό τομέα βασίζεται στα σημαντικά πλεονεκτήματα που αυτή προσφέρει, δεδομένου ότι συνιστά μία ακριβή και χρονικά αποδοτική μέθοδο, η οποία παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού της εσωτερικής και εξωτερικής γεωμετρίας των προϊόντων και των υλικών, χωρίς να απαιτείται η καταστροφή τους (De Chiffre et al., 2014).

3.1.1 Κατασκευαστική βιομηχανία

Η ευρεία εφαρμογή της αξονικής τομογραφίας στη βιομηχανία κατασκευών, η οποία ξεκίνησε το 2005 με στόχο, κυρίως, την αξιολόγηση της ποιότητας, υπαγορεύθηκε για τους εξής λόγους (De Chiffre et al., 2014):

- Τα σύγχρονα προϊόντα και εξαρτήματα προϊόντων χαρακτηρίζονται από αυξανόμενη πολυπλοκότητα με αποτέλεσμα οι ιδιότητές τους, κυρίως ως προς

τις διαστάσεις και την αντοχή τους, να μην είναι δυνατό να ελεγχθούν με τις παραδοσιακές μη καταστροφικές μεθόδους ελέγχου. Επιπροσθέτως, η αξονική τομογραφία παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της ποιότητας της συναρμολόγησης των επιμέρους εξαρτημάτων, δεδομένου ότι αυτή δεν εξαρτάται μόνο από την ποιότητα των τελευταίων.

- Η αξονική τομογραφία συνιστά τη μοναδική μη καταστροφική μέθοδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων σε περιπτώσεις ποικίλων μεθόδων παραγωγής, οι οποίες βασίζονται στη χρήση εξαρτημάτων ποικίλων υλικών
- Σύγχρονες μέθοδοι παραγωγής, κατά κύριο λόγο προσθετικές μέθοδοι, έχουν ενισχύσει την παραγωγή εξαρτημάτων που διαθέτουν εσωτερικές κοιλότητες. Για την αξιολόγηση της ποιότητας των εν λόγω τεχνικών απαιτείται η χρήση της αξονικής τομογραφίας.
- Η μέθοδος της αξονικής τομογραφίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον παράλληλο έλεγχο ποικίλων παραμέτρων όπως, για παράδειγμα, η ποιότητα των διαστάσεων και η ποιότητα των υλικών

Οι βασικότεροι κλάδοι της κατασκευαστικής βιομηχανίας όπου γίνεται χρήση της αξονικής τομογραφίας περιλαμβάνουν:

- Βιομηχανία χύτευσης και διαμόρφωσης
- Βιομηχανία μηχανικής κατεργασίας
- Βιομηχανία προσθετικής κατασκευής
- Βιομηχανία χύτευσης με έγχυση
- Βιομηχανία συναρμολογήσεων

3.1.2 Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές

Η εφαρμογή της αξονικής τομογραφίας στη βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών γίνεται σε δύο (2) βασικούς τομείς: τις διαδικασίες συναρμολόγησης και τις πολύπλοκες δομές.

Η δομή των ηλεκτρονικών συσκευών περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα και πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος (printed circuit boards- PCB), ενώ ημιαγωγοί και

επαγωγείς χρησιμοποιούνται για την πρόληψη κάποιας φυσικής βλάβης ή διάβρωσης. Η εφαρμογή της αξονικής τομογραφίας στον τομέα αυτό παρέχει τη δυνατότητα για εντοπισμό αστοχιών και τη διασφάλιση της ποιότητας, τα οποία δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν με τις συμβατικές μεθόδους ελέγχου, δεδομένου ότι οι τελευταίες δεν είναι δυνατό να ελέγξουν την εσωτερική δομή των προϊόντων. Σημειώνεται ότι τα μηχανήματα αξονικής τομογραφίας που εφαρμόζονται στον τομέα των ηλεκτρονικών συσκευών διαθέτουν τη δυνατότητα εστίασης σε μικρο ή νανο-επίπεδο δεδομένου ότι τα εξαρτήματα που πρέπει να ελεγχθούν έχουν εξαιρετικά μικρό μέγεθος. Στην περίπτωση των ημιαγωγών, βασικός στόχος της αξονικής τομογραφίας είναι ο εντοπισμός σπασμένων ενώσεων ή ο έλεγχος της ένωσης των καλωδίων (Nanoeva-Center for Non-destructive Nano Evaluation).

3.1.3 Ανομοιογενή υλικά

Τα ενισχυμένα με ίνες πλαστικά βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στον τομέα των ελαφριών κατασκευών, στα πλαίσια του οποίου ο προσδιορισμός του προσανατολισμού και της σύνθεση των ινών, δεδομένου ότι από τους παράγοντες αυτούς εξαρτώνται οι μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών υλικών. Η συμβολή της αξονικής τομογραφίας στην κατεύθυνση αυτή είναι καθοριστικής σημασίας αφού η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού των προαναφερθέντων στοιχείων καθώς και άλλων στοιχείων του υλικού (De Chiffre et al., 2014).

Επιπροσθέτως, η αξονική τομογραφία βρίσκει εφαρμογή στον ποιοτικό έλεγχο στη βιομηχανία ξύλου, παρέχοντας τη δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού ενδεχόμενων ατελειών και, ως εκ τούτου, βελτιστοποίησης της διαδικασίας κοπής και ενίσχυσης της αξίας της ξυλείας κατά ένα ποσοστό της τάξης του 6-10% (Lister, 2001). τα χαρακτηριστικά του ξύλου που μπορούν να ελεγχθούν μέσω αξονικής τομογραφίας περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, εσωτερικές ατέλειες του κορμού, πυκνότητα, κατανομή υγρασίας και πλάτος δακτυλίων (Gu et al., 2010).

Από την άλλη πλευρά, η αξονική τομογραφία χρησιμοποιείται, επίσης, για τον ποιοτικό έλεγχο φυσικών υλικών που περιέχουν ίνες, όπως, για παράδειγμα, προϊόντα ξύλου (π.χ. MDF) ή χαρτιού (π.χ. laminate). Ο ρόλος της αξονικής τομογραφίας στη

βιομηχανία των εν λόγω προϊόντων έγκειται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών και της μικροδομής των υλικών, γεγονός που συμβάλει καθοριστικά στη διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων από αυτά. Η εφαρμογή της μεθόδου της αξονικής τομογραφίας για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών ανομοιογενών υλικών έχει αποτελέσει το αντικείμενο των ερευνών των Standfest et al. (2010) και Glatt et al. (2010)

3.1.4 Βιομηχανία φαγητού

Στα πλαίσια της βιομηχανίας φαγητού, η μέθοδος της αξονικής τομογραφίας με χρήση ακτινοβολίας X χρησιμοποιείται ευρέως, σε πλήθος ευρωπαϊκών κρατών (Brunke et al., 2012; Christensen, 2013; Font et al., 2009; Judas, 2010; Romvari et al., 2003) για τον προσδιορισμό της κατανομής του κρέατος, του λίπους και των οστών στα γουρούνια με στόχο να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή κοπή που θα αποδώσει το μέγιστο δυνατό όφελος, λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες τιμές, τις απαιτήσεις σχετικά με την ποιότητα και τις διαθέσιμες παραγγελίες. Η αξονική τομογραφία, στη βιομηχανία φαγητού, διενεργείται μέσω ενός on-line συστήματος ακτίνων X, το οποίο φέρει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Υψηλή αποδοτικότητα, με δυνατότητα ελέγχου ενός μεγάλου αριθμού ζώων ανά ώρα
- Υψηλή αποδοτικότητα κόστους, η οποία αντιστοιχεί σε 12μηνιαία απόδοση της επένδυσης σε σφαγεία
- Μια ευέλικτη πλατφόρμα με δυνατότητα αξιοποίησης πλήθους εφαρμογών

Σημειώνεται πως η εφαρμογή της αξονικής τομογραφίας στη βιομηχανία φαγητού δεν περιορίζεται μόνο στην εκτροφή χοιρινών αλλά επεκτείνεται και σε άλλους κλάδους όπως τα πουλερικά και τα ψάρια, όπου η εν λόγω μέθοδος δίνει τη δυνατότητα εντοπισμού ξένων σωμάτων στο εσωτερικό των ζώων (π.χ. πλαστικό, γυαλί, έντομα) ή άλλα τρόφιμα όπου δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού ποικίλων παραμέτρων ποιότητας όπως, για παράδειγμα, η ύπαρξη ξηρών καρπών στη σοκολάτα, ή οπών στα τυριά (De Chiffre et al., 2014).

3.2 Εφαρμογές αξονικών τομογράφων στις μεταφορές

3.2.1 Ιστορική αναδρομή στους τρόπους ελέγχου μεταφορών

Η προάσπιση της ασφάλειας των πολιτών, ιστορικά, συνιστά θεμελιώδη στόχο όλων των ανθρώπινων κοινωνιών, ο οποίος αφορά σε όλες τις πτυχές της ανθρώπινης ζωής και δραστηριότητας. Ένας από τους σημαντικότερους τομείς, ο οποίος εμπεριέχει σημαντικό κίνδυνο για την ασφάλεια των πολιτών είναι ο τομέας των μετακινήσεων και για το λόγο αυτό, οι υπεύθυνοι για τη χάραξη των πολιτικών ασφαλείας δίνουν μεγάλη έμφαση στο μέγιστο δυνατό περιορισμό του εγγενούς ρίσκου, αξιοποιώντας όλα τα επιτεύγματα που έχει να επιδείξει η τεχνολογία στην εκάστοτε εποχή.

Σήμερα, ο έλεγχος της ασφάλειας των εγχώριων και διεθνών μεταφορών, κυρίως στον τομέα των αεροπορικών μεταφορών, βασίζεται, κατά κύριο λόγο, στη μέθοδο της αξονικής τομογραφίας, η οποία προσφέρει μία γρήγορη και αξιόπιστη λύση. Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση του ιατρικού τομέα, η εν λόγω μέθοδος δεν ήταν διαθέσιμη πριν από τη δεκαετία του 1970 με αποτέλεσμα, κατά την εποχή εκείνη, ο έλεγχος να απαιτεί περισσότερο παραδοσιακές και χρονοβόρες μεθόδους (Wetter, 2013).

Πιο αναλυτικά, ο έλεγχος των αποσκευών των επιβατών που επρόκειτο να ταξιδέψουν αεροπορικώς γινόταν με ενδελεχή έλεγχο που διεξήγαγαν με τα χέρια οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας. Επρόκειτο για μία διαδικασία που απαιτούσε αρκετά λεπτά, γεγονός που δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα στην απρόσκοπτη εξέλιξη των αεροπορικών μεταφορών, τα οποία ήταν εντονότερα κατά τις ώρες αιχμής (Wetter, 2013). Με στόχο να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος ελέγχου, χωρίς να υποβαθμιστεί η ασφάλεια των μεταφορών, ο Peil κατασκεύασε ένα μηχάνημα ελέγχου, το οποίο περιελάμβανε μία μονάδα ακτίνων X και ακτινοσκοπικού ελέγχου (Peil, 1972).

Η εφαρμογή της μηχανής του Peil στα διεθνή αεροδρόμια σηματοδοτεί ένα σημείο καμπής στις εφαρμοζόμενες μεθόδους ελέγχου, οι οποίες από τότε βασίζονται σε διαδικασίες απεικόνισης. Σημειώνεται ότι πέραν των τεχνολογικών εξελίξεων που έχουν συντελεστεί στα μηχανήματα ελέγχου μεταφορών, έχει καταγραφεί σημαντική αναβάθμιση των ανθρώπινων παραγόντων που σχετίζονται με τις διαδικασίες ελέγχου αφού, με απαρχή τη δεκαετία του 1990, έχει καταστεί σαφές ότι η επίτευξη της βέλτιστης αποτελεσματικότητας των εφαρμοζόμενων μηχανημάτων απεικόνισης

αποτελεί άμεση συνάρτηση του επιπέδου κατάρτισης των ατόμων που τα χειρίζονται (Congress of the U.S.A.).

Σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρώπη, όλες οι αποσκευές και χειραποσκευές των επιβατών πρέπει να υπόκεινται σε έλεγχο (EU Regulation No. 300/2008) ο οποίος, στην πλειοψηφία των ευρωπαϊκών διεθνών αεροδρομίων διενεργείται με τη χρήση μηχανημάτων ακτίνων X διπλής ενέργειας. Τα εν λόγω συστήματα παρέχουν στο χειριστή τους μία μονή ή διπλή απεικόνιση των αποσκευών, από διαφορετικές γωνίες λήψης, με τη χρήση ψευδο-χρωμάτων, τα οποία εφαρμόζονται για να διευκολύνουν την εκτίμηση των διαφορετικών υλικών που περιέχονται εντός των αποσκευών. Επιπλέον, πέρα από τα συμβατικά συστήματα ακτίνων X, χρησιμοποιούνται μηχανήματα τρισδιάστατης αξονικής τομογραφίας συνεχούς ροής, στα οποία ο έλεγχος διενεργείται σε εύρος 360°.

Παρόλο που μόνο λίγα ευρωπαϊκά αεροδρόμια χρησιμοποιούν συστήματα αξονικής τομογραφίας για τον έλεγχο των αποσκευών, τα εν λόγω μηχανήματα συνιστούν την πλέον σύγχρονη λύση για τον έλεγχο των χειραποσκευών, όπως και η χρήση συστημάτων ακτίνων X διπλής ενέργειας και διπλής ή πολλαπλής οπτικής.

Τα συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται στις αεροπορικές μεταφορές παρέχουν μία σειρά εφαρμογών σχετικά με τις εικόνες που λαμβάνουν, οι οποίες αφορούν την προσωρινή τους αποθήκευση, τη βελτίωση της εικόνας και την προβολή εικόνων απειλής. Οι λειτουργίες αποθήκευσης εικόνας χρησιμοποιούνται με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα κράτη ανάλογα με εκάστοτε ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, ενώ οι εφαρμογές βελτίωσης της εικόνας χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του έργου του ελεγκτή σε περιπτώσεις όπου η αρχική εικόνα είναι ασαφής. Τέλος, η εφαρμογή προβολής εικόνων απειλής (threat image projection- TIP), η οποία αφορά την παρεμβολή εικόνων επικίνδυνων αντικειμένων από μία βάση δεδομένων, στις απεικονίσεις των αποσκευών που ελέγχονται σε πραγματικό χρόνο, θεωρείται κομβικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα των ελέγχων για δύο βασικούς λόγους. Αφενός, η παρεμβολή των προαναφερθεισών εικόνων έχει διαπιστωθεί πως περιορίζει τα σφάλματα των ελεγκτών που μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα του μεγάλου επιπολασμού εικόνων ακίνδυνων αντικειμένων, ο οποίος τους καθιστά περισσότερο συντηρητικούς στις αποφάσεις τους (Wolfe et al., 2007). Αφετέρου, η παρεμβολή των εικόνων επικίνδυνων αντικειμένων λειτουργεί ανασταλτικά στη

μείωση της εγρήγορσης των ελεγκτών που, φυσιολογικά, αναπτύσσεται μετά από κάποιες ώρες εργασίας. (Teichner, 1974; Ghylin et al., 2007). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η εν λόγω εφαρμογή παρέχει στους χειριστές ενημέρωση σχετικά με την εργασιακή τους απόδοση μέσω μηνυμάτων που εμφανίζονται στην οθόνη τους (Schwaninger, Hofer & Wetter, 2007).

Με απαρχή το μηχάνημα ελέγχου αποσκευών του Peil, πολλές εξελίξεις έχουν καταγραφεί στο συγκεκριμένο τομέα με τα αντίστοιχα μηχανήματα να αναβαθμίζονται συνεχώς ως προς τις μηχανικές τους λειτουργίες και την αποδοτικότητά τους. Ωστόσο, ακόμα και σήμερα εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες, η κυριότερη εκ των οποίων σχετίζεται με το σύγχρονο τρόπο ζωής. Πιο αναλυτικά, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι περισσότεροι άνθρωποι ταξιδεύουν με ηλεκτρονικές συσκευές στις αποσκευές τους (π.χ. laptops, smartphones), οι οποίες αποτελούνται από υλικά υψηλής πυκνότητας που δε μπορούν να διαπεράσουν οι ακτίνες X. Επιπροσθέτως, η ύπαρξη ηλεκτρονικών συσκευών και εξαρτημάτων μέσα στις αποσκευές καθιστούν την απεικόνιση στο μηχάνημα ελέγχου αρκετά περίπλοκη (Wetter, 2013). Για παράδειγμα, η απεικόνιση μίας αποσκευής που περιέχει ηλεκτρονικά εξαρτήματα, καλώδια, μπαταρίες και οργανικό υλικό προσομοιάζει με την απεικόνιση ενός αυτοσχέδιου εκρηκτικού μηχανισμού (Mendes et al., 2014).

Σημειώνεται ότι παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή συστημάτων ακτίνων X και αξονικής τομογραφίας στον έλεγχο των αποσκευών στις αεροπορικές μεταφορές είχε ως στόχο την επίσπευση της διαδικασίας ελέγχου, τα ερευνητικά δεδομένα υποδεικνύουν πως η ταχύτητα διεκπεραίωσης της διαδικασίας ελέγχου εξαρτάται, κυρίως, από την ταχύτητα του μίαντα μεταφοράς των αποσκευών και του χρόνου που χρειάζονται οι ελεγκτές για να αξιολογήσουν την κάθε εικόνα που λαμβάνουν από τα μηχανήματα ελέγχου (Wetter et al., 2010). Ως εκ τούτου, οι προσπάθειες επίσπευσης της διαδικασίας ελέγχου πλέον εστιάζουν στην αλληλεπίδραση του συστήματος ελέγχου και του ανθρώπινου παράγοντα

3.2.2 Έλεγχος ατόμων

Ο έλεγχος των επιβατών στις αεροπορικές μεταφορές γίνεται με τη χρήση ειδικών μηχανημάτων σάρωσης του σώματος, τα οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ή μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Επιπλέον, ο έλεγχος μπορεί να είναι «ενεργητικός» ή «παθητικός», όπου στην πρώτη περίπτωση ο έλεγχος γίνεται μέσω της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ενώ, στη δεύτερη περίπτωση, ο έλεγχος γίνεται μέσω της μέτρησης της ακτινοβολίας που εκπέμπει το ίδιο το άτομο. Συνολικά, διακρίνονται τρεις συνδυασμοί χαρακτηριστικών που αφορούν τους ελέγχους των επιβατών: ιοντίζουσα ακτινοβολία- ενεργητικός έλεγχος, ιοντίζουσα ακτινοβολία- παθητικός έλεγχος, μη ιοντίζουσα ακτινοβολία- παθητικός έλεγχος.

Σημειώνεται ότι παρά το γεγονός ότι τα προαναφερθέντα μηχανήματα χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο των επιβατών στα αμερικανικά αεροδρόμια, η χρήση τους δεν επιτρέπεται στα ευρωπαϊκά κράτη καθώς προσκρούουν στις διατάξεις για την προστασία των προσωπικών δεδομένων των επιβατών. Ως εκ τούτου, ο έλεγχος των επιβατών στα ευρωπαϊκά αεροδρόμια γίνεται μέσω της χρήσης ανιχνευτών μετάλλων και σωματικού ελέγχου ενώ η χρήση σαρωτών γίνεται μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της περασμένης δεκαετίας, η Ευρωπαϊκή Ένωση επέτρεψε τη χρήση σαρωτών σώματος με μη ιοντίζουσα ακτινοβολία για τον έλεγχο ατόμων πέραν των επιβατών, όπως οι φροντιστές εδάφους (European Union, 2012).

Σε γενικές γραμμές, οι ανησυχίες που εκφράζονται σχετικά με την χρήση των προαναφερθέντων συσκευών απεικόνισης για τον έλεγχο των επιβατών, σχετίζονται με δύο βασικά ζητήματα: την ασφάλεια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Όσον αφορά το πρώτο ζήτημα της ασφάλειας για την υγεία, έχει διαπιστωθεί ερευνητικά ότι η χρήση συσκευών μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι εντελώς ακίνδυνη για τον πληθυσμό ενώ η χρήση συσκευών ιοντίζουσας ακτινοβολίας σχετίζεται με μηδενικό κίνδυνο για την πλειοψηφία των ενήλικων ατόμων (Mehta & Smith- Bindman, 2011). Παρόλα αυτά, οι διαβεβαιώσεις των επιστημόνων και των αρχών δεν έχουν καταφέρει να εξαλείψουν εντελώς τις σχετικές ανησυχίες της κοινωνίας.

Από την άλλη πλευρά, το ζήτημα της προστασίας των προσωπικών δεδομένων των επιβατών οδήγησε στη μη εφαρμογή της πρώτης γενιάς συσκευών ελέγχου επιβατών στα αεροδρόμια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αφού αυτές παρήγαγαν μία εικόνα του σώματος του εξεταζόμενου ατόμου, η οποία έπρεπε να ελεγχθεί από το χειριστή της συσκευής. Με στόχο την υπερπήδηση του προαναφερθέντος κωλύματος, η δεύτερη γενιά σαρωτών ελέγχου δε βασίζόταν στην παραγωγή και αποθήκευση της εικόνας του σώματος του ελεγχόμενου (Hofer & Wetter, 2012) αλλά, αντιθέτως, η λειτουργία τους βασίζεται στην προσπάθεια εντοπισμού ανωμαλιών στη σάρωση, οι οποίες προβάλλονται σε ένα εικονόγραμμα και, εν συνεχεία, στο χειροκίνητο έλεγχο του σημείου όπου εντοπίζεται η ανωμαλία. Σημειώνεται ότι οι ελεγχόμενοι επιβάτες διατηρούν το δικαίωμα να δουν το εικονόγραμμα με την ενδεχόμενη ανωμαλία προκειμένου να διαπιστώσουν την αιτία του σωματικού ελέγχου.

Ανακεφαλαιώνοντας, διακρίνονται δύο είδη συσκευών ελέγχου επιβατών στις αεροπορικές μεταφορές οι οποίες βασίζονται στην ιοντίζουσα ή μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Από τη μία πλευρά, οι σαρωτές ιοντίζουσας ακτινοβολίας παρέχουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης ευκρίνειας και καλύτερης διάκρισης της φύσης των αντικειμένων, όμως είναι περισσότερο επικίνδυνες για την υγεία του πληθυσμού και απαιτούν σημαντική κατάρτιση των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας. Από την άλλη πλευρά, οι συσκευές μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι εντελώς ακίνδυνες και η χρήση τους δεν προϋποθέτει κάποια ιδιαίτερη εκπαίδευση του προσωπικού, ωστόσο χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη ποιότητα εικόνας (Wetter, 2013).

3.2.3 Συμβολή των ανθρώπινων παραγόντων

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα, η αποτελεσματικότητα στον εντοπισμό επικίνδυνων αντικειμένων στις αεροπορικές μεταφορές αποτελεί συνάρτηση παραγόντων που σχετίζονται με την εικόνα καθώς και ανθρώπινων παραγόντων (Bolfing et al., 2008). Οι κυριότεροι παράγοντες που σχετίζονται με την εικόνα περιλαμβάνουν την ευκολία εξέτασης, την υπέρθεση και την αδιαφάνεια, ενώ οι βασικότεροι ανθρώπινοι παράγοντες περιλαμβάνουν τις οπτικές ικανότητες και την κατάρτιση του ελεγκτή. Σημειώνεται πως ορισμένοι από τους ανθρώπινους παράγοντες

θεωρούνται σχετικά σταθεροί (π.χ. οπτική ικανότητα) ενώ άλλοι θεωρούνται μεταβλητοί (π.χ. κατάρτιση).

Επιπλέον, κατά την αξιολόγηση της αποδοτικότητας στη μετάφραση των αποτελεσμάτων του ελέγχου με ακτίνες X με αντικειμενικό, αξιόπιστο και έγκυρο τρόπο, λαμβάνονται υπόψη και άλλοι ψυχοφυσικοί παράγοντες. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, έχει αναπτυχθεί μία εξέταση στην οποία υπόκεινται όλοι οι υποψήφιοι ελεγκτές των αεροπορικών μεταφορών προκειμένου να αξιολογηθεί η αποδοτικότητά τους στον αποτελεσματικό χειρισμό των συσκευών ελέγχου ακτίνων X που εφαρμόζονται στα αεροδρόμια (Hofer & Schwaninger, 2004) ενώ, σε ορισμένες χώρες, οι ελεγκτές οφείλουν να ανανεώνουν την πιστοποίησή τους κάθε 1-2 έτη.

4. Σύγκριση ιατρικού και βιομηχανικού αξονικού τομογράφου

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας γίνεται σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών δύο συστημάτων αξονικής τομογραφίας, εκ των οποίων το ένα χρησιμοποιείται στην Ιατρική (SIEMENS SOMATOM 64) και το δεύτερο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αποσκευών στις αεροπορικές μεταφορές (NUCTECH XT2100HS).

4.1. SIEMENS SOMATOM 64



Εικόνα 3: Το σύστημα Somatom 64 της SIEMENS. (CT Medical Scanners, 2019)

4.1.1 Περιγραφή

Λυχνία ακτίνων X STRATON

Το σύστημα αξονικής τομογραφίας Siemens Somatom 64 διαθέτει δύο STRATON σωλήνες ακτίνων X. Η εν λόγω λυχνία, οι οποία εφαρμόζεται για πρώτη φορά σε ένα τέτοιο σύστημα αξονικής τομογραφίας, προσφέρει σημαντικά μειωμένους χρόνους ψύξης, οι οποίοι συνεπάγονται μικρότερες καθυστερήσεις μεταξύ των σαρώσεων και αυξημένα αποθέματα ισχύος. Η μέγιστη ισχύς των ακτίνων X που παράγεται από το εν

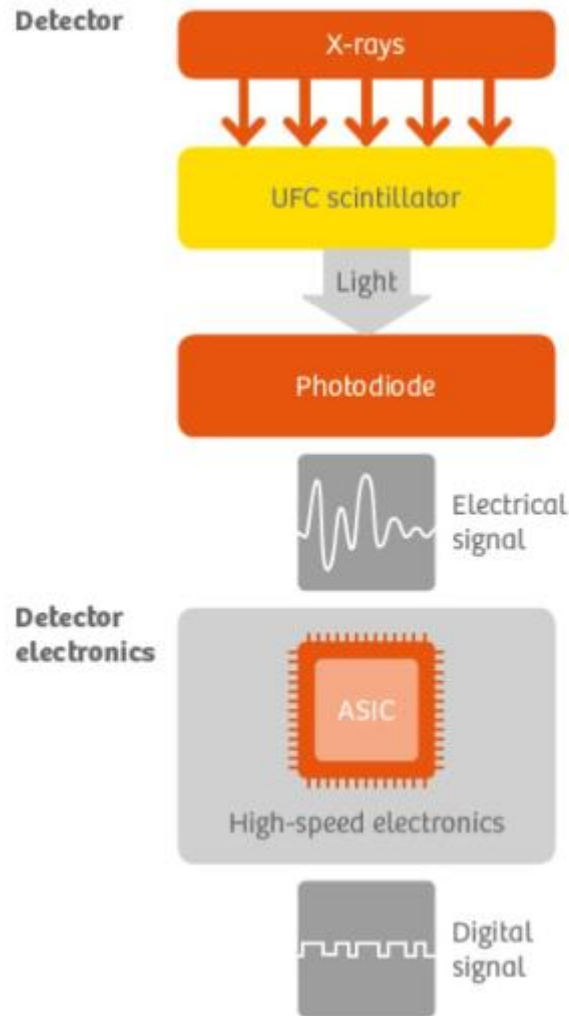
λόγω σύστημα ανέρχεται σε 160kW, και εφαρμόζεται σε μεγάλωσφωμους ασθθενείς. Η λυχνία έχει εκτιμώμενο χρόνο ζωής τα 3 χρόνια.

Η λυχνία ακτίνων X που περιλαμβάνεται στο σύστημα Siemens Somatom 64 παράγει μία δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία εκτρέπεται με ακρίβεια και ταχύτητα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο ακριβών εστιακών σημείων, τα οποία εναλλάσσονται 4.608 φορές ανά λεπτό, διπλασιάζοντας τις προβολές των ακτίνων X που φτάνουν στους ανιχνευτές. Οι δύο αλληλοεπικαλυπτόμενες προβολές συγκλίνουν στον άξονα z, και το φαινόμενο αυτό περιγράφεται με τον όρο τεχνολογία z-sharp. Με την εφαρμογή της εν λόγω τεχνολογίας γίνεται εφικτή η λήψη διπλάσιων πληροφοριών από τη σάρωση χωρίς, παράλληλα, να απαιτείται η χρήση της διπλάσιας δόσης ακτινοβολίας.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας που χρησιμοποιεί το σύστημα Siemens Somatom 64 είναι δύο. Από τη μία πλευρά, επιτυγχάνεται η μείωση του πλάτους των τομών που λαμβάνονται κατά τη σάρωση καθώς με τη χρήση του εν λόγω συστήματος είναι εφικτή η ανακατασκευή τομών πλάτους 0,6mm με υψηλής ποιότητας εικόνα. Επιπλέον, οι αλληλοεπικαλυπτόμενες τομές 0,6mm, δημιουργούν ευκρίνεια της τάξης των 0,4mm στον άξονα z. Από την άλλη πλευρά, η βελτίωση της δειγματοληψίας αποτρέπει, σε κάθε βήμα της σάρωσης, των λεγόμενων σφαλμάτων «ανεμόμυλου», τα οποία προκύπτουν συχνά στα πλαίσια της αξονικής τομογραφίας.

Ανιχνευτής UFC

Ο ανιχνευτής UFC (Ultra Fast Ceramic), ο οποίος κατασκευάζεται επίσης από την εταιρεία SIEMENS, παρέχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης εικονικής ανάγνωσης δύο προβολών για κάθε στοιχείο ανιχνευτή με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η λήψη έως 64 τομών.



Εικόνα 4: Η τεχνολογία ανιχνευτών UFC. Οι ακτίνες-x φτάνουν στον κεραμικό σπινθηριστή ο οποίος παράγει φως. Η φωτοδιόδοι το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο μετατρέπεται σε ψηφιακό μέσω των ηλεκτρονικών συστημάτων. (siemens - healthineers, 2022)

Επιπλέον, το σύστημα Somatom 64 διαθέτει ένα επιπλέον φίλτρο, το οποίο εφαρμόζεται αυτόματα σε όλες τις αξονικές τομογραφίες καρδιάς ή κεφαλής καθώς και σε κάθε παιδιατρική εξέταση. Σκοπό της εφαρμογής του συγκεκριμένου φίλτρου αποτελεί η μείωση της απορροφούμενης ακτινοβολίας από τον εξεταζόμενο έως 20%, η οποία γίνεται αντιληπτή μέσω της μείωσης της τιμής του δείκτη $CTDI_{vol}$.

Λειτουργίες σάρωσης

- Διαδοχική σάρωση: Πρόκειται για μία σταδιακά αυξανόμενη λειτουργία σάρωσης τομή ανά τομή, στα πλαίσια της οποίας δεν υπάρχει καμία κίνηση της κλίνης εξέτασης κατά τη διάρκεια της κάθε σάρωσης, ενώ απαιτείται μία ελάχιστη καθυστέρηση μεταξύ δύο σαρώσεων προκειμένου να μετακινηθεί η κλίση στη θέση της επόμενης τομής
- Ελικοειδής σάρωση: Πρόκειται για μία λειτουργία απεικόνισης συνεχούς όγκου, στα πλαίσια της οποίας η λήψη δεδομένων και η κίνηση της κλίνης εξέτασης διεξάγονται ταυτόχρονα καθ' όλη τη διάρκεια της σάρωσης.

Μέγιστη ταχύτητα σάρωσης τα 87 mm/s.

Πληροφορίες pixel εικόνων

Οι εικόνες που δημιουργούνται εμφανίζονται σε κλίμακα του γκρι και προβάλλονται σε διαστάσεις είναι 512 x 512 pixels με βάθος 16 bits, εκ των οποίων χρησιμοποιούνται τα 11. Όσον αφορά το μέγεθος των κάθε pixel αυτό ανέρχεται στα 0.39 x 0.39 mm

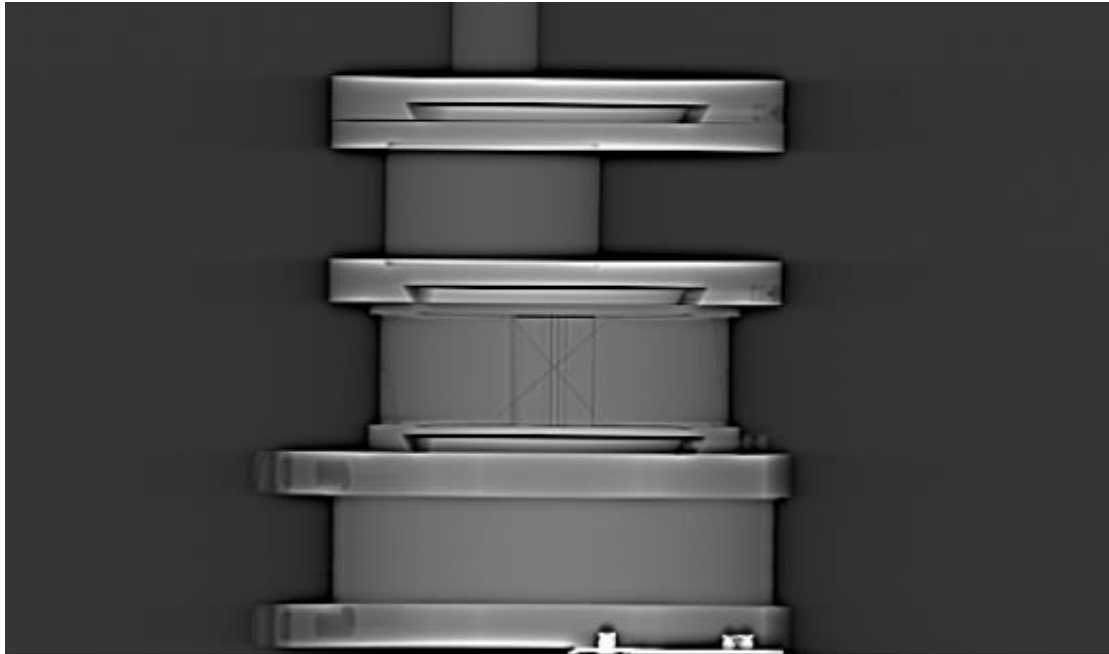
Αποθήκευση εικόνων

Πραγματοποιείται τοπική αποθήκευση εικόνων σε σκληρούς δίσκους 446GB, ενώ online αποθηκεύονται 30000 εικόνες. Η αποθήκευση των εικόνων και στοιχείων ασθενών γίνεται σε κωδικοποιημένη μορφή DICOM.

Υστέρα από την λήψη της εξέτασης, δεδομένα και αποτελέσματα στέλνονται στον προσωπικό φάκελο του ασθενούς μέσω PACKS και αποθηκεύονται σε κεντρικούς servers του εκάστοτε νοσοκομείου.

Έλεγχος Ποιότητας

Πραγματοποιείται καθημερινός αυτόματος έλεγχος ποιότητας από το σύστημα, ενώ στις μηνιαίες συντηρήσεις σκανάρεται ομοίωμα όπως το προβαλλόμενο στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5: Τοπόγραμμα ομοιώματος ποιοτικού ελέγχου Siemens Somatom 64.

Λογισμικό αυτόματης ανίχνευσης (CAD)

Το συγκεκριμένο σύστημα, όπως και όλοι οι αξονικοί τομογράφοι της SIEMENS, διαθέτει το λογισμικό Syngo.CT CAD (Computer-Aided Detection) που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί ως δευτερεύον εργαλείο ανάγνωσης μετά την ολοκλήρωση της αρχικής διάγνωσης από τον ακτινολόγο. Είναι ένα συμπληρωματικό εργαλείο για να ειδοποιήσει τον ακτινολόγο για περιοχές ενδιαφέροντος (ROI) που μπορεί να είχαν αρχικά παραλειφθεί.

Κόστος

Το σύστημα SIEMENS SOMATOM 64, το 2022, ανέρχεται περίπου σε 125.000\$. Η τιμή αφορά αξονικό τομογράφο του 2008 και διαφοροποιείται με συμβόλαια συντήρησης και εγγύηση.

Εύρος κίνησης εξεταστικής κλίνης

- Κάθετα: 48-102cm
- Οριζόντια: 200cm
- Εύρος σάρωσης: 157cm
- Μέγιστο βάρος ασθενούς: 200kg (440lb)

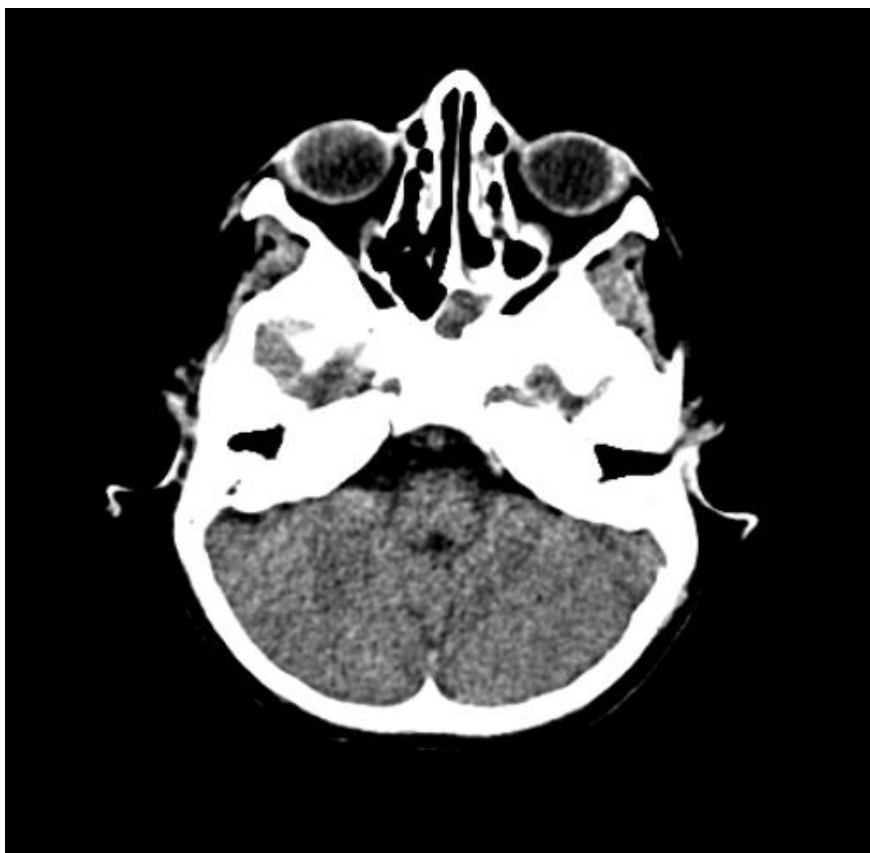
4.1.2 Εφαρμογές

Το σύστημα αξονικής τομογραφίας Siemens Somatom 64 χρησιμοποιείται για τη διάγνωση παθολογικών καταστάσεων που λαμβάνουν χώρα σε ποικίλα συστήματα του ανθρώπινου σώματος:

- Κεφάλι, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, εγκεφαλικών, εγκεφαλικών όγκων, κρανιοεγκεφαλικών τραυμάτων, εγκεφαλική ατροφία, υδροκεφαλίας και φλεγμονώδεις αλλαγές.
- Λαιμός, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, όγκων, λεμφωμάτων και αποστημάτων.
- Ωμος, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, όγκων, τραυμάτων, εξάρθρωσεων ή άλλων ορθοπεδικών ενδείξεων.
- Θώρακας, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, όγκων, μεταστάσεων, λεμφωμάτων, πρησμένων λεμφαδένων, αγγειακών ανωμαλιών και ενδιάμεσων αλλαγών στους πνεύμονες.
- Κοιλία, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, ανωμαλιών σε ήπαρ, πάγκρεας και νεφρά.
- Σπονδυλική στήλη για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, πρόπτωσης, εκφυλιστικές αλλαγές, τραύματα και όγκους.

- Πύελος, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, ανωμαλιών στον προστάτη, στην ουροδόχο κύστη, στο ορθό, στις κοιλότητες των αρθρώσεων, όγκων και τραυμάτων.
- Άνω άκρα, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, τραυμάτων, όγκων, διαταραχών των αρθρώσεων και ορθοπεδικών ενδείξεων.
- Κάτω άκρα, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, τραυμάτων, όγκων, διαταραχών των αρθρώσεων και ορθοπεδικών ενδείξεων.
- Αγγειακό σύστημα, για τη διάγνωση, μεταξύ άλλων, αγγειακών ανωμαλιών, στένωσης ή απόφραξης αρτηριών, ανωμαλιών χονδροειδών πλακών, ανευρύσματος και εμβολής.

Μια τυπική απεικόνιση εγκεφάλου με αυτό το σύστημα συνήθως περιλαμβάνει τομές πάχους 5.0 mm και δίνει δυνατότητα παρουσίασης εγκάρσιων, οβελιαίων, και στεφανιαίων τομών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φαίνονται για ένα CT εγκεφάλου με το σύστημα Siemens Somatom 64 στην ΕΙΚΟΝΑ 6.



Εικόνα 6: Εγκάρσια τομή εγκεφάλου με Siemens Somatom 64.

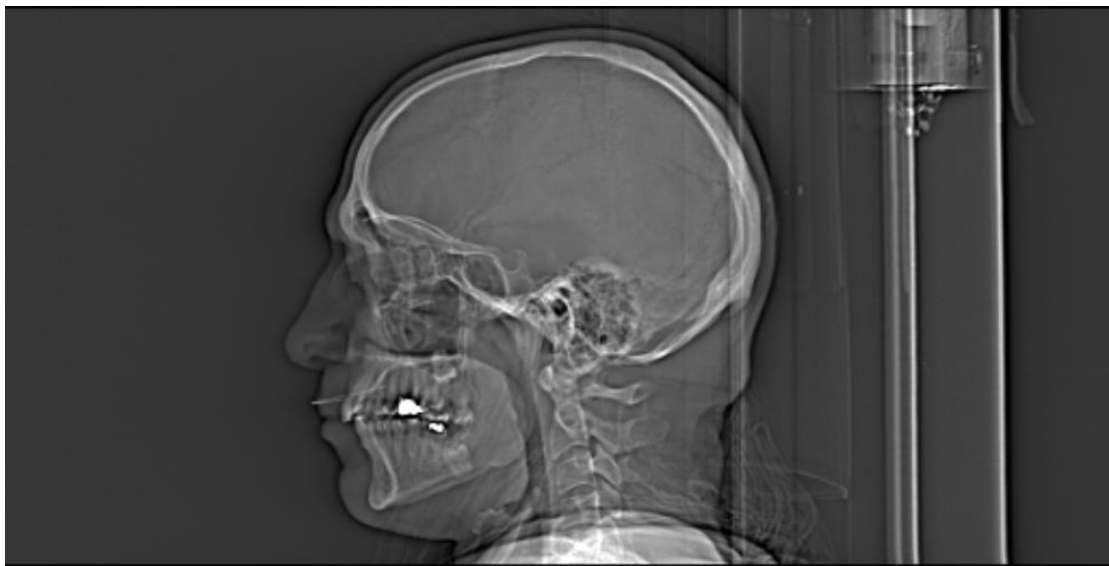


Εικόνα 7: Οβελιαία τομή εγκεφάλου με Siemens Somatom 64.



Εικόνα 8: Στεφανιαία τομή εγκεφάλου με Siemens Somatom 64.

Επίσης με κατάλληλο λογισμικό γίνεται η σύνθεση 3Δ εικόνων του απεικονιζόμενου μέρους του σώματος. Ενώ στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται το τοπόγραμμα απεικόνισης εγκεφάλου. Το τοπόγραμμα είναι η αρχική 2Δ εικόνα που δημιουργείται για να ορισθεί η περιοχή απεικόνισης. Το τοπόγραμμα ενός κλινικού συστήματος έχει και την μεγαλύτερη αντιστοιχία από άποψη περιεχομένου με το βιομηχανικό σύστημα όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω.



Εικόνα 9: Τοπόγραμμα εξέτασης εγκεφάλου με το Siemens Somatom 64 CT.

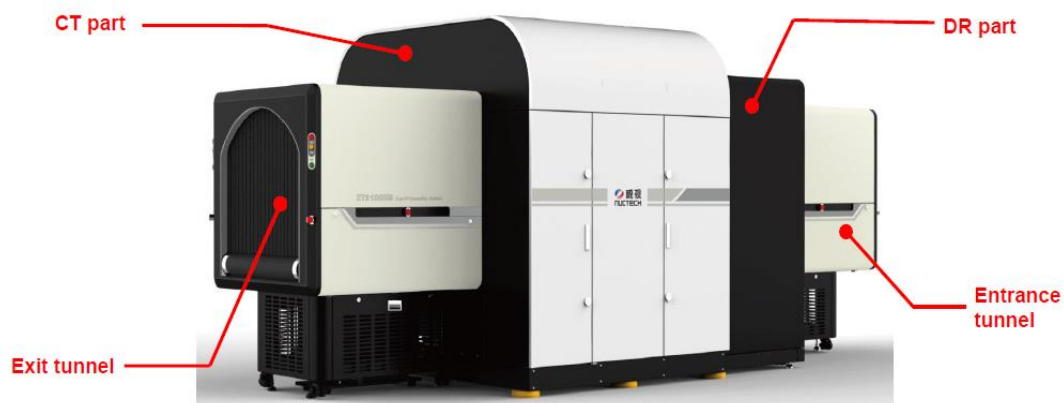
4.1.3 Πλεονεκτήματα

Το σύστημα αξονικής τομογραφίας Siemens Somatom αποτελεί ένα προηγμένο σύστημα ιατρικής απεικόνισης ακτίνων X, το οποίο φέρει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Για πρώτη φορά, παρέχει υψηλής ποιότητας εικόνα με δυνατότητα λήψης 64 ή 40 τομών ανά περιστροφή.
- Δυνατότητα απεικόνισης των μικρότερων ανατομικών δομών με τη μέγιστη διαθέσιμη ιστροπική ευκρίνεια, σε μέγεθος μικρότερο των 0,4mm, ανεξαρτήτως της ταχύτητας σάρωσης και της τοποθέτησης στο πεδίο σάρωσης
- Εκπληκτική ποιότητα εικόνας με πλήρη εξάλειψη των ορατών ελικοειδών τεχνικών σφαλμάτων.

- Εξαιρετικά υψηλή ευκρίνεια απεικόνισης οστών με ισοτροπική λεπτομέρεια της τάξης των 0,24 mm.
- Υψηλά αποθέματα ισχύος, τα οποία παρέχουν απεικόνιση 80/100kV χωρίς τους συνήθεις περιορισμούς mA με αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερης απεικόνισης της αντίθεσης των μαλακών ιστών με παράλληλο περιορισμό της δόσης ακτινοβολίας.
- Δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας ανόδου 0 MHU, σε συνδυασμό με υψηλό ρυθμό ψύξης της τάξης των 5MHU/min που οδηγούν σε εξάλειψη οποιωνδήποτε καθυστερήσεων στην ψύξη του συστήματος και ενισχύει τη διεκπεραιωτική ικανότητα του εξεταζόμενου.
- 70% μείωση στις δόσεις ακτινοβολήσης.

4.2 NUCTECH XT2100HS



Εικόνα 10: Το σύστημα XT2100HS της NUCTECH. Αποτελείται από τη σήραγγα εισόδου, το DR για δισδιάστατη απεικόνιση, το CT με το gantry του αξονικού, τους υπολογιστές, τους ηλεκτρολογικούς πίνακες και τα μοτέρ, και τη σήραγγα εξόδου.
(Nuctech, 2020)

4.2.1 Χαρακτηριστικά

Το σύστημα αξονικής τομογραφίας NUCTECH XT2100HS αποτελεί ένα μεγάλων διαστάσεων μηχάνημα ελέγχου αποσκευών που χρησιμοποιείται στα αεροδρόμια για την προστασία της ασφάλειας των πτήσεων.

Γενικά χαρακτηριστικά

- Εξωτερικές διαστάσεις/ βάρος: Μήκος 5.525mm, πλάτος 2.360mm, ύψος 2.320mm/ Λιγότερο από 7.500kg
- Διαστάσεις του χώρου εισαγωγής αποσκευών: Το μέγιστο πλάτος είναι 1004mm, ενώ το μέγιστο ύψος ανέρχεται σε 890mm
- Μέγιστες διαστάσεις αποσκευών: Μήκος 2.000mm, πλάτος 1000mm και ύψος 600mm
- Ύψος ιμάντα μεταφοράς: 848mm
- Ικανότητα ιμάντα μεταφοράς: 200kg (ομοίως κατανεμημένο)
- Ρυθμός μεταφοράς: 1800 κομμάτια/ ώρα
- Απεικόνιση: Έγχρωμη οθόνη LCD, υψηλή ανάλυση 1920 x 1080
- Παροχή ενέργειας: 380VAC (-15% ~ +10%), 50Hz / 60Hz±3Hz
- Κατανάλωση ενέργειας: 12kVA

Σύστημα ακτίνων X

Βασικά μέρη:

Αγωγός ακτίνων X: Τάση 180kV, ένταση 10mA, ισχύς 1800W

Γεννήτρια υψηλής τάσης: Εύρος ρύθμισης υψηλής τάσης -60kV ~ -180kV

Εύρος ρύθμισης ρεύματος σωλήνα: 0,5 ~ 15 mA

Σύστημα ψύξης: ψύξη με νερό και αέρα

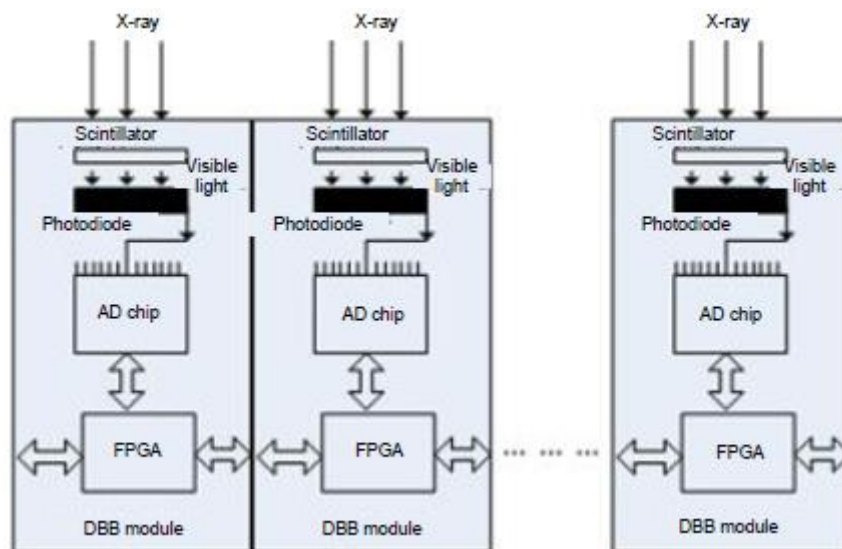
Χρόνος ζωής: Όχι λιγότερο από 25.500 ώρες



Εικόνα 11: Σε αυτή την εικόνα από το gantry του XT2100HS διακρίνονται το Σύστημα Ψύξης (1), ο Αγωγός ακτίνων X (2) και η Γεννήτρια υψηλής τάσης (3).

(Nuctech, 2020)

Σύστημα Ανιχνευτών



Εικόνα 12: Οι πλακέτες DBB είναι υπεύθυνες για τη μετατροπή των ακτίνων-x σε ψηφιακό σήμα με σκοπό τη παραγωγή της εικόνας. Οι σπινθηριστές λαμβάνοντας τις ακτίνες-x, παράγουν φως το οποίο διεγείρει τη φωτοδίοδο. Το αναλογικό ηλεκτρικό σήμα της φωτοδίοδου μετατρέπεται σε ψηφιακό μέσω των ηλεκτρονικού κυκλώματος από την AD Chip και οδηγείται για μεγαλύτερη ταχύτητα στους ημιαγωγούς FPGA. Ακολουθεί η συλλογή των σημάτων από όλες της DBB για την επεξεργασία τους σε εικόνα. (Nuctech, 2020)

Λειτουργία Σάρωσης:

Το XT2100HS, και γενικότερα οι αξονικοί τομογράφοι ελέγχου αποσκευών, πραγματοποιούν ελικοειδή σάρωση προκειμένου να υπάρχει μία συνεχής ροή στους μάντες μεταφοράς του χώρου και του μηχανήματος.

Η μέγιστη ταχύτητα σάρωσης είναι 0,5 m/s.

Πληροφορίες pixel εικόνων

Οι εικόνες είναι σε διαστάσεις 576 x 492 pixels σε βάθος 8 bits και προβάλλονται έγχρωμες. Το μέγεθος των pixels είναι 1 x 1 mm².

Αποθήκευση εικόνων και στοιχείων

Οι εικόνες που παράγονται στο σύστημα, αποθηκεύονται τοπικά στον υπολογιστή ανακατασκευής εντός του μηχανήματος με χώρο 4TB σε μορφή JPEG, ενώ τα στοιχεία της αποσκευής αποθηκεύονται σε μορφή XML και επισυνάπτονται με τις εικόνες σε αποκλειστικό φάκελο που δημιουργείται.. Άμεσα στέλνονται στον τοπικό server της εταιρείας που είναι εγκατεστημένος για αποθήκευση, ενώ ακολουθεί η αποστολή τους στο control room όπου γίνεται η προβολή και δίνεται η απόφαση από τους χειριστές. Τέλος, επιστρέφουν οι πληροφορίες στον server, ενώ υπάρχει και δυνατότητα μεταφοράς των φακέλων σε cloud σε συνεννόηση με τη διοίκηση του χώρου.

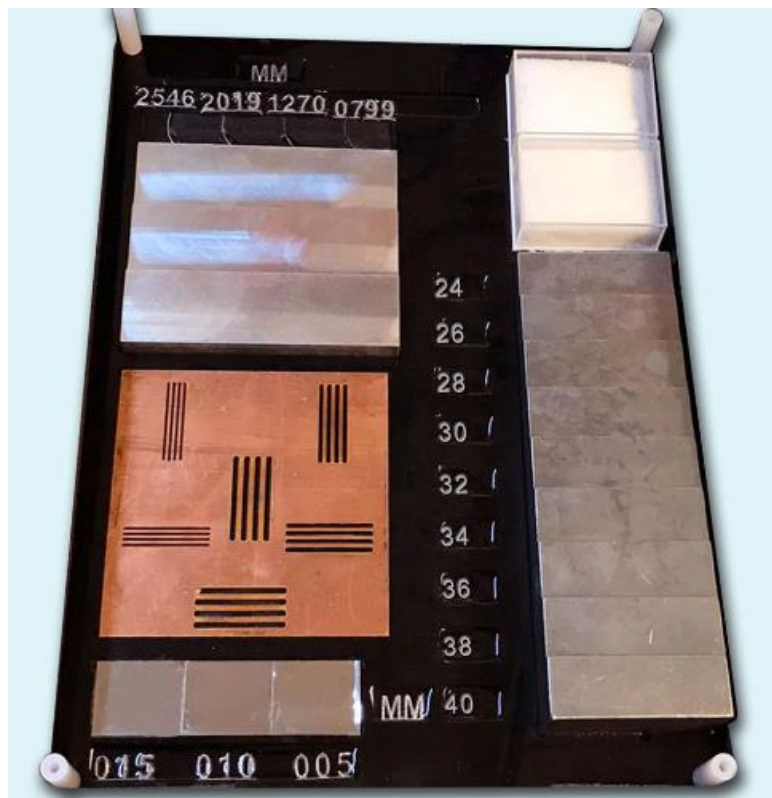
Έλεγχος ποιότητας (QC)

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Πολιτικής Αεροπορίας (ECAC) υποχρεώνει βάσει νόμου όλες τις χώρες εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και ορισμένες εκτός, να ελέγχουν και να διασφαλίζουν την ποιότητα της εικόνας καθώς και την απόδοση των συστημάτων. Ως STP (Standard Test Piece) ορίζεται το συγκεκριμένο εργαλείο ελέγχου με δείγματα διαφόρων υλικών με διαφορετικές πυκνότητες με το οποίο ελέγχεται το σύστημα στην ετήσια συντήρηση.

Μηνιαία πραγματοποιείται βαθμονόμηση και έλεγχος της ποιότητας με ειδικό εργαλείο.



Εικόνα 13: Το εργαλείο βαθμονόμησης όπως το εμφανίζει το XT2100HS. Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται τα οργανικά υλικά και με πράσινο τα μείγματα, ενώ μπλε απόχρωση παίρνουν τα μέταλλα. (Nuctech, 2020)



Εικόνα 14: Το κιτ που προβλέπεται για ετήσιο ποιοτικό έλεγχο σε συστήματα ακτίνων-χ σύμφωνα με την ECAC. (Standard Test Piece, 2022)

Λογισμικό αυτόματης αντίχνευσης (CAD)

NUCTECH: Στο λογισμικό της εταιρείας υπάρχει η επιλογή του αυτόματου alarm. Κατά τη διάρκεια της προβολής των αποσκευών, ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει την επιλογή της αυτόματης αντίχνευσης επικίνδυνων υλικών, για τα οποία μπορεί να δώσει ξεχωριστή απόφαση (ασφαλές ή επικίνδυνο).

Κόστος

Το κόστος για το έτος 2022 διαμορφώνεται περίπου στις 800.000\$ ανά σύστημα, τιμή που μπορεί να μειωθεί με την αγορά περισσότερων, ή να αυξηθεί με τα συμβόλαια εγγύησης, εγκατάστασης και συντήρησης. Το XT2100HS είναι βγήκε στην αγορά το 2019.

Σύστημα επεξεργασίας εικόνας

Τρισδιάστατη επεξεργασία εικόνας: Ασπρόμαυρη/ έγχρωμη, αρνητικό, ενίσχυση άκρων, κ.ά.

Μεγέθυνση εικόνας: έως 64 φορές

Λειτουργίες συστήματος

Εμφάνιση ημερομηνίας/ ώρας, μετρητής αποσκευών, διαχείριση χρήστη, διακόπτες ενεργοποίησης συστήματος, αυτό-έλεγχος ενεργοποίησης, αποθήκευση και αίτηση εικόνας, ενσωματωμένη διάγνωση

Υγιεινή και ασφάλεια:

Ανάγκη συμμόρφωσης με το σύνολο των προτύπων ακτινοπροστασίας που αναπτύσσονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization- WHO), Διεθνής Επιτροπή για την Ακτινολογική Προστασία (International

Commission on Radiological Protection- ICRP) και τη Διεθνή Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (International Atomic Energy Agency- IAEA).

Πληροφορίες εγκατάστασης

Σημειώνεται πως το εν λόγω σύστημα αξονικής τομογραφίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το σύστημα BHS (Baggage Handling System) για τον έλεγχο των αποσκευών. Το BHS αφορά τη διαχείριση των αποσκευών από τη στιγμή παράδοσής τους, μέχρι την φόρτωση στο μέσο μεταφοράς. Αποτελεί ένα κεντρικό σύστημα μάντων και φωτοκυττάρων για την συνεχή ιχνηλάτηση των αποσκευών, καθώς και την διαχείριση της επικοινωνίας με τα μηχανήματα ελέγχων και τα κέντρα αποφάσεων για το αν το εκάστοτε αντικείμενο αποτελεί κίνδυνο ή όχι. Η συνδυαστική χρήση των δύο προαναφερθέντων συστημάτων μπορεί να είναι συνεχής, όταν αυτά δε βρίσκονται σε λειτουργία ελέγχου μονών αποσκευών, ενώ μερικές από τις πληροφορίες που μοιράζονται είναι ο μοναδικός αριθμός αποσκευής, ο προορισμός της, οι ώρες αποστολής και παραλαβής της (μεταξύ τους), αποφάσεις χειριστών, κ.α.

Τέλος, στα πλαίσια του συγκεκριμένου συστήματος ελέγχου αποσκευών της Nuctech, έχει επιτευχθεί η χρήση της τεχνολογίας προβολής εικόνων απειλής TIP (Threat Image Projection) σε μία σειρά τρισδιάστατων εικόνων, ενώ παρέχονται και τα κατάλληλα εργαλεία για την κατάρτιση και αξιολόγηση των χειριστών του συστήματος. Σημειώνεται ότι πριν την ανάπτυξη του εν λόγω συστήματος, η τεχνολογία TIP ήταν διαθέσιμη μόνο σε συστήματα ελέγχου αποσκευών δισδιάστατων εικόνων (Singh, 2003; Cutler, Paddock, 2009)

4.2.2 Εφαρμογές

Το σύστημα Nuctech XT2100HS συνιστά ένα προηγμένο σύστημα ελέγχου αποσκευών, το οποίο συνδυάζει την τεχνολογία διπλής ενέργειας για τη διάκριση υλικών με την τεχνολογία της σπειροειδούς αξονικής τομογραφίας. Η λειτουργία του συστήματος οδηγεί σε συλλογή πολυδιάστατων δεδομένων, τις οποίες αξιοποιεί για να αυτοματοποιήσει την ανίχνευση εκρηκτικών, υγρών εκρηκτικών ή ναρκωτικών

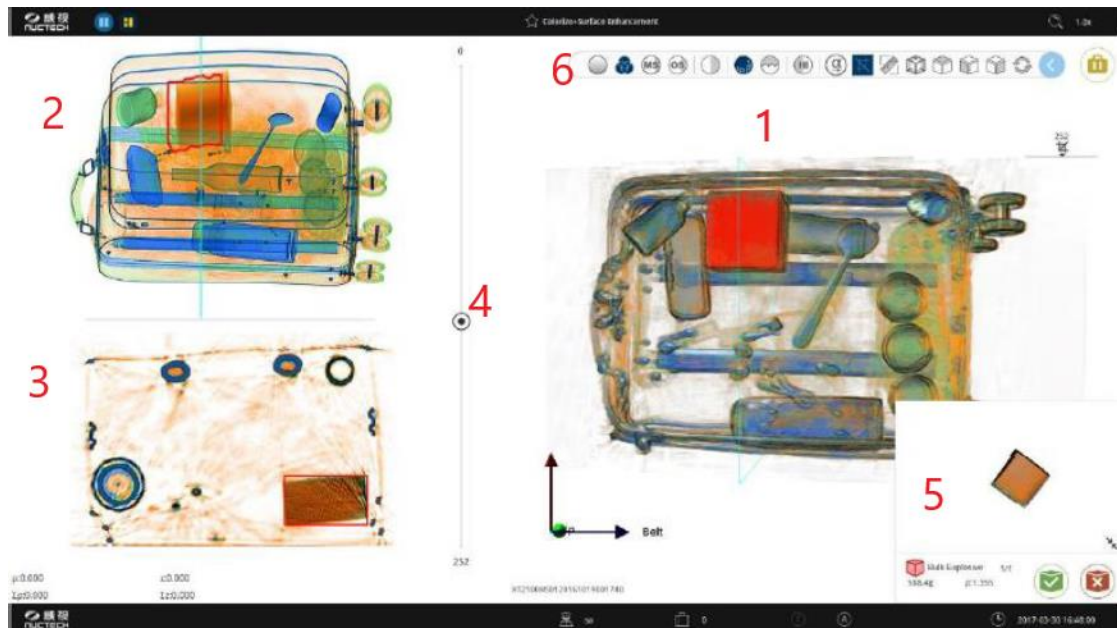
ουσιών. Χαρακτηρίζεται από υψηλότερη πιθανότητα ανίχνευσης και χαμηλότερα ποσοστά ψευδών συναγερωμών (Nuctech Europe, 2022).

Γενικά, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση:

- Εκρηκτικών
- Υγρών
- Ναρκωτικών
- Αποσκευών
- Όπλων
- Μπαταριών

Επιπροσθέτως, δημιουργεί τρισδιάστατες εικόνες υψηλής ευκρίνειας και έχει τη δυνατότητα σάρωσης σε εύρος 360°C, χωρίς τυφλές γωνίες και ενισχυμένα ποσοστά ανίχνευσης ειδών λαθρεμπορίου. Το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα επιθεώρησης της εικόνας διακριτών τομών και, ως εκ τούτου, καθιστά ευκολότερο τον εντοπισμό ειδών λαθρεμπορίου που είναι κρυμμένα μέσα στα ενδιάμεσα στρώματα των αποσκευών ή σε κρυφές γωνίες, ενώ παράγει εικόνες υψηλής ανάλυσης σε δύο γωνίες και διευκολύνει την απεικόνιση μικροσκοπικών αντικειμένων, όπως σπירתων και αναπτήρων.

Δύο ακόμα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου συστήματος ελέγχου αποσκευών αφορούν στη δυνατότητα εκτέλεσης απομακρυσμένων αναλύσεων, λειτουργιών και διαγνώσεων, καθώς και κοινής χρήσης των δεδομένων που συλλέγονται, χάρη στην τεχνολογία υπολογιστικού νέφους (Nuctech, 2016). καθώς και στον αρθρωτό σχεδιασμό του συστήματος, το οποίο διευκολύνει την αντικατάσταση βασικών εξαρτημάτων και τις εργασίες συντήρησης, εξοικονομώντας χρόνο και κεφάλαια (Nuctech Europe, 2022).



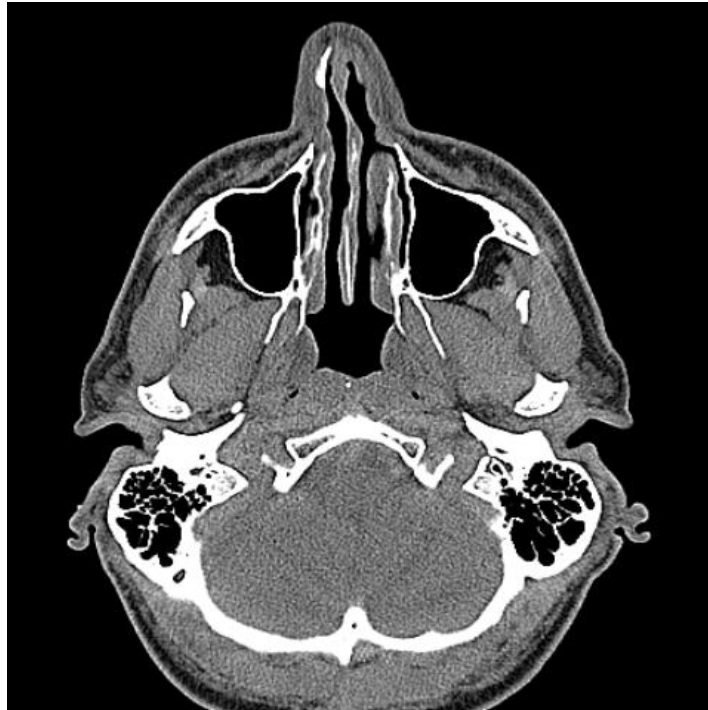
Εικόνα 15: Η οθόνη των χειριστών διαθέτει 1) Την τρισδιάστατη εικόνα, 2) πλάγια ή κάθετη δυσδιάστατη εικόνα, 3) εικόνα τομής αποσκευής, 4) μπάρα επιλογής ύψους τομής, 5) Αυτόματη επισήμανση επικίνδυνου υλικού (προαιρετικά), 6) Εφέ εμφάνισης και εργαλεία επεξεργασίας πληροφορίας (π.χ. τονισμός οργανικών ή μεταλλικών υλικών, αύξηση αντίθεσης, χάρακας κ.α.) (Nuctech, 2020)

Οι μεγάλες διαστάσεις της σήραγγας τοποθέτησης αποσκευών, το καθιστούν ένα άριστο εργαλείο ελέγχου αποσκευών για χώρους αεροδρομίων, τελωνείων, σταθμών μεταφοράς, κυβερνητικών κτιρίων, δημόσιων εκδηλώσεων κλπ. Τέλος, οι λειτουργίες επεξεργασίας τρισδιάστατων εικόνων που παρέχονται από το εν λόγω σύστημα ελέγχου αποσκευών, όπως η τρισδιάστατη μέτρηση και σήμανση, ενισχύουν τις διαδικασίες λήψης αποτελεσματικών και αποδοτικών αποφάσεων (Nuctech Europe, 2022).

5. Σχολιασμός & Συμπεράσματα

Ο σκοπός αυτής της εργασίας ήταν η βιβλιογραφική ανασκόπηση ιατρικών και βιομηχανικών συστημάτων, η ιστορική τους εξέλιξη και οι σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών σύγχρονων ιατρικών και βιομηχανικών συστημάτων.

Τυπικές εικόνες του ιατρικού συστήματος και του βιομηχανικού συστήματος αξονικής τομογραφίας παρουσιάζονται στις Εικόνες 16, 17 και 18. Η πρώτη και σημαντική διαφορά των δύο συστημάτων είναι ότι το ιατρικό βασίζεται σε αποχρώσεις του γκρι (από λευκό μέχρι μαύρο) για την ανίχνευση περιοχών ενδιαφέροντος ενώ το βιομηχανικό βασίζεται σε χρωματικές διαφορές για την ανίχνευση διαφορετικών ουσιών και υλικών.



Εικόνα 16: Δείγμα αναφοράς SIEMENS SOMATOM 64.



Εικόνα 17: 1^ο δείγμα εικόνας αναφοράς με NUCTECH XT2100HS.



Εικόνα 18: 2^ο δείγμα εικόνας αναφοράς με NUCTECH XT2100HS (πλαϊνή όψη).

Περαιτέρω ποσοτική ανάλυση των δεδομένων δεν ήταν δυνατή διότι οι εικόνες είναι διαφορετικού τύπου καθώς και δεν ήταν δυνατή η απεικόνιση του ίδιου αντικειμένου και από τα δύο συστήματα. Η σύγκριση περιορίστηκε σε ποιοτικά χαρακτηριστικά και τεχνικές διαφορές οι οποίες συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Σύμφωνα με τον πίνακα, το σύστημα της Siemens πλεονεκτεί σε σχέση με αυτό της Nuctech σε επιλογές τάσης και λειτουργιών σάρωσης, κάτι που είναι λογικό αν αναλογιστεί κανείς ότι τα πρωτόκολλα αλλάζουν ανάλογα με τον ασθενή και το σημείο ελέγχου που εξετάζεται σε αντίθεση με τη σάρωση αντικειμένων. Οι ιατρικές εικόνες χρήζουν άριστης ποιότητας για την εξαγωγή σωστών γνωματεύσεων, ενώ τα συστήματα ελέγχου ασφαλείας εστιάζουν στην απόδοση της ταχύτητας. Τις δύο αυτές παραδοχές τις εντοπίζουμε στα στοιχεία εικόνων, τους ποιοτικούς ελέγχους και την

ταχύτητα σάρωσης. Τέλος, εμφανίζεται υπερεξαπλάσια διαφορά στο κόστος των δύο αξονικών τομογράφων, το οποίο οφείλεται στην χρονική απόσταση παραγωγής τους και στην πληθώρα αγοράς ιατρικών απεικονιστικών συστημάτων σε πολλές εξειδικευμένες εξετάσεις, σε αντίθεση με τα συστήματα σύγχρονα συστήματα ελέγχου ασφαλείας.

Πίνακας 1: Κυριότερα χαρακτηριστικά των συστημάτων SIEMENS Somatom 64 (ιατρικό) και NUCTECH XT2100HS (βιομηχανικό).

	SIEMENS Somatom 64	NUCTECH XT2100HS
Τάση Γεννήτριας	80, 100, 120, 140 kV	180kV
Χρόνος ζωής Λυχνίας ακτίνων-x	>26.280 ώρες	>25.500 ώρες
Τρόπος Ψύξης Λυχνίας	Υδρόψυκτη	Υδρόψυκτη
Ανιχνευτές	UFC Σπινθηρισμού	Σπινθηρισμού
Λειτουργίες Σάρωσης	Διαδοχική / Ελικοειδής	Ελικοειδής
Ταχύτητα Σάρωσης	Έως 87 mm/sec	Έως 500 mm/sec
Διαστάσεις Εικόνας	512 x 512 pixels	576 x 492 pixels
Μέγεθος Pixel	0.39 x 0.39 mm	1 x 1 mm
Βάθος Pixel (bits)	11 χρησιμ./ 16 δεσμευμ.	8
Χρώμα	Κλίμακα Γκρι	Έγχρωμη
Μορφοποίηση Εικόνας/ Στοιχείων	DICOM	JPG / XML
Τύποι εικόνας	3 (εγκ, οβελ, στεφ.)	3 (εγκ, οβελ, στεφ.)
Τοπ. Αποθηκευτικός Χώρος	446 GB	4 TB
Αυτόματος Ποιοτικός Έλεγχος	Καθημερινά	Όχι
Ειδικός Ποιοτικός Έλεγχος	Μηνιαία	Μηνιαία / Ετησίως
Λογισμικό Αυτόματης Ανίχνευσης	Ναι	Ναι
Κόστος για το 2022/ (έτος κατασκευής)	~ 125.000\$ (2008)	~800.000\$ (2019)

Συμπερασματικά, τα δύο συστήματα φέρουν ομοιότητες ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους (συστήματα τρίτης γενιάς, κοινοί τύποι ανιχνευτών, ίδιος τρόπος ψύξης κ.λ.π.) και διαφορές στον τρόπο της λειτουργίας τους. Η σύγκριση των αξονικών τομογράφων που πραγματοποιήθηκε προηγουμένως, δεν μπορεί να δώσει ασφαλή συμπεράσματα αναφορικά με το ποιο είναι καλύτερο διότι αφορούν διαφορετικούς κλάδους απεικόνισης. Ο κλάδος της υγείας στοχεύει στην λεπτομερή απόδοση της απεικόνισης του ασθενούς, σε αντίθεση με τον κλάδο ελέγχου αποσκευών ο οποίος επιζητεί ευκρινείς αποδόσεις του εσωτερικού των αποσκευών και μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας, εστιάζοντας στο τελευταίο.

Βιβλιογραφία

Achenbach, S., et al. (2006). Contrast- enhanced coronary artery visualization by dual-source computed tomography- Initial experience. *European Journal of Radiology*, 57, 331-335.

Bates, R.H.T., & Peters, T.M. (1971). Towards improvements in tomography. *New Zealand Journal of Science*, 14, 883-896

Bracewell, R.N. (1956). Strip integration in radioastronomy. *Journal of Physics*, 9, 198-217

Bracewell, R.N., & Riddle, A.C. (1967). Inversion of fan-beam scans in radion astronomy. *Astrophysics Journal*, 150, 427-434

Brunke, O., Hansen, F., Stuke, I., Butz, F., & Jeltsch, F. (2012). A new concept for high-speed atline and inlinect for up to 100% mass production ;process control allowing both 3-d metrology and failure analysis. 18th World Conference on Nondestructive Testing, Durban, South Africa,

Christensen, L.B. (2013). CT in the food industry. 4th CIA-CT Conference on Applications of Computed Tomography in Industrial Production, University of Copenhagen.

Congress of the United States of America. Aviation Security Improvement Act of 1990.

Cormack, A.M. (1963). Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. *Journal of Applied Physics*, 34, 2722-2727

Cormack, A.M. (1992). 75 years of radon transform. *Journal of Computed Assisted Tomography*, 16, 673.

Cutler, V. & Paddock, S. (2009). Use of threat image projection (TIP) to enhance security performance. In *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, 46-51

CT Medical Scanners. [2019]. Siemens Somatom Sensation 64 CT Scanner [Online]. CT Medical Scanners. Available at: <https://ctmedicalscanners.com/siemens-somatom-sensation-64-ct-scanner/>

- De Chiffre, L., Carmignato, S., Kruth, J.P., Schmitt, R., & Wechenmann, A. (2014). Industrial applications of computed tomography. *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, 63, 655-677.
- Font, I., Furnols, M., Teran, M.F., & Gispert, M. (2009). Estimation of lean meat content in pig carcasses using X-ray computed tomography and PLS regression. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 98(1), 31-37.
- Glatt, E., Becker, J., Rief, S., & Wiegmann, A. (2010). Calculation of material properties and modelling of material geometry. *Proceedings of iCT 2010, Wels, Austria, September 2010*.
- Gordon, R., Bender, R., & Herman, G.T. (1970). Algebraic reconstruction techniques (ART) for three- dimensional electron microscopy and x-ray photography. *Journal of Theoretical Biology*, 29, 471-482
- Gu, H., Yu, L., & Wang, Y. (2010). CT number in wood physical properties prediction based on computed tomography technology. *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference of Automation and Logistics, August 15-20, 2010, Hong Kong and Macau*.
- Herman G. T. (2009). *Fundamentals of computerized tomography: Image reconstruction from projection*. 2nd edition. New York: Springer
- Herman. G.T., Lent, A., & Rowland, S. (1973). ART: Mathematics and applications (a report on the mathematical foundations and on the applicability to real data of the algebraic reconstruction techniques). *Journal of Theoretical Biology*, 42, 1-32
- Hounsfield, G.N. (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography): I. Description of system. *British Journal of Radiology*, 46, 1016.
- Hsieh, J., Nett, B., Yu, Z., Sauer, K., Thibault, J.B., & Bouman, C.A. (2013). Recent advances in CT image reconstruction. *Current Radiology Reports*, 1, 39-51
- Hoffer, F., & Schwaninger, A. (2004). Reliable and valid measures of threat detection performance in X-ray screening. In L.D. Sanson (Ed.) *Proceedings of the 38th International Carnahan Conference on Security Technology, Albuquerque, 2004*, 303-308.

- Hofer, F., & Wetter, O.E. (2012). Operational and human factor issues of new security technology: two case studies. *Journal of Transportation Security*, 5, 277-291
- Judas, M. (2010). CT calibration for pig carcass classification in Germany. *Proceedings of the Farm Animal Imaging Congress, Rennes, France.*
- Kachelriebe, M., Schaller, S., & Kalender, W.A. (2000). Advanced single-sliced rebinning in cone-beam spiral CT. *Medical Physics*, 27, 754-772
- Kalender, W.A. (2005). CT: The unexpected evolution of an imaging modality. *European Radiology*, 15, D21-D24
- Kalender, W.A. (2006). X-ray computed tomography. *Physics in Medicine and Biology*, 51, R29-R43.
- Kuhl, E., & Edwards, R.Q. (1963). Image separation radioisotope scanning. *Radiology*, 80, 653-661
- Lister, P.F. (2001). *Applications of X-ray Computed Tomography in the woods products industry.* Vancouver: Forintek Canada Corporation
- Mehta, P., & Smith-Bindman, R. (2011). Airport full-body screening. What is the risk? *Archives of Internal Medicine*, 171 (2011), 1112, 1115.
- Mendes, M., Schwaninger, A., & Michel, S. (2012). Why laptops should be screened separately when conventional x-screening is used. In: *Proceedings of the 46th International Carnahan Conference on Security Technology, Boston 2012*, 267-273.
- Nuctech Europe. (2022). X-ray CT Inspection System NUCTECH XT2100HS [Online]. Nuctech Europe. Available at: <https://www.nuctecheuropa.com/products/nuctech-xt2100hs-x-ray->
- NUCTECH XT2100 x-ray CT Inspection System*, NUCTECH COMPANY LIMITED, Beijing, China, 2016
- XT2100HS Training Manual*, Nuctech Company Limited, Beijing, China, 2020.
- Oldendorf, W.H. (1961). Isolated flying spot detection of radiodensity discontinuities—displaying the internal structural patterns of a complex object. *IRE Transaction on Biomedical Electronics*, 8, 68-72.

Peil, L.E. (1972). Apparatus for baggage inspection. United States Patent and Trademark Office.

Radon, J.H. (1917). Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte langs gewisser Mannigfaltigkeiten. Ber. Vor Sachs. Akad. Wiss.,

Romvari, R., Dobrowolski, A., Horn, P., & Allen, P.; (2003). CT examination of pig carcasses. EUPIGCLASS Workshop Rosksilde, 6-7th September 2003.

Shepp, I.A., Logan, B.F. (1974). The Fourier reconstruction of a head section. IEEE Transactions on Nuclear Science, 21, 21-43.

Siemens Healthineers International AG. (2022). UFC – Ultra Fast Ceramic [Online]. Siemens – Healthineers. Available at: <https://www.siemens-healthineers.com/fr-ch/computed-tomography/technologies-innovations/ufc-ultra-fast-ceramic>

Singh, S. (2003). Explosives detection systems (EDS) for aviation security. Signal Processing, 83(1), 31-55.

Smiths detection. (2022). Who we are [Online]. Smiths detection. Available at: <https://www.smithsdetection.com/about-us/our-business/>

Somatom Sensation Open Application Guide, Siemens AG Medical Solutions, Erlangen, Germany, 2005.

Standard Test Piece. (2022). EW ESTP MM24-40 [Online]. Standard Test Piece. Available at: <https://standardtestpiece.com/product-category/standard-test-piece/>

Standfest, G., Kranzer, S., Plank, B., & Petutschnigg, A. (2010). Dunky Anwendung der Sub μm CT zur charakterisierung von Holzwerkstoffen, Proceedings of iCT 2010, Wels, Austria, September 2010.

Teichner, W.H. (1974). The detection of a single visual signal as a function of time of watch. Human Factors, 16(1974), 339-352

Wetter, O.E. (2013). Imaging in airport security: Past, present, future and the link to forensic and clinical radiology. Journal of Forensic Radiology and Imaging, 1(2013), 152-160.

Wetter, O.E., Lipphardt, M., & Hofer, F. (2010). External and internal influences on the security control at airports. In: Proceedings of the 44th International Carnahan Conference on Security Technology, San Jose 2010, 301-309

Wolfe, J.M., Horowitz, T.S., Van Wert, M.J., Kenner, N.M., Place, S.S., & Kibbi, N. (2007). Low target prevalence is a stubborn source of errors in the visual search tasks. *Journal of Experimental Psychology, General* 136 (2007), 623-638.