



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**Επισκόπηση της Δοκιμής & Διασφάλισης Ποιότητας για Ιατρικές Εφαρμογές Ιστού**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

της

**Αντωνοπούλου Κατερίνα**

**Επιβλέπων:** Κρητικός Κυριάκος

**Μέλη εξεταστικής επιτροπής:** Κοκολάκης Σπυρίδων, Συμεωνίδης Παναγιώτης

Σάμος, Ιούλιος 2026



## Περιεχόμενα

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Περίληψη .....                                                                           | 9  |
| Abstract.....                                                                            | 11 |
| 1. Εισαγωγή .....                                                                        | 13 |
| 2. Υπόβαθρο.....                                                                         | 17 |
| 2.1 Δοκιμή Λογισμικού .....                                                              | 17 |
| 2.1.1 Πλεονεκτήματα και Οφέλη .....                                                      | 17 |
| 2.1.2 Είδη Δοκιμής Λογισμικού.....                                                       | 18 |
| 2.1.3 Αυτοματοποίηση Δοκιμής Λογισμικού: Ορισμοί, Τεχνικές και Εργαλεία .....            | 21 |
| 2.2 Διασφάλιση Ποιότητας Λογισμικού.....                                                 | 22 |
| 2.2.1 Ορισμός και Ρόλος .....                                                            | 22 |
| 2.2.2 Σχέση Διασφάλισης Ποιότητας και Δοκιμής Λογισμικού .....                           | 23 |
| 2.2.3 Μέθοδοι και Τεχνικές Διασφάλισης Ποιότητας.....                                    | 24 |
| 2.2.4 Πρότυπα και Πλαίσια Ποιότητας.....                                                 | 25 |
| 2.3 Εφαρμογές Ιστού και Ιατρικές Εφαρμογές Ιστού.....                                    | 26 |
| 2.3.1 Εφαρμογές Ιστού: Ορισμός και Χαρακτηριστικά .....                                  | 26 |
| 2.3.2 Ιατρικές Εφαρμογές Ιστού .....                                                     | 28 |
| 2.3.3 Ιδιαιτερότητες και Προκλήσεις .....                                                | 31 |
| 2.3.4 Κοινή Αρχιτεκτονική Ιατρικών Εφαρμογών Ιστού.....                                  | 33 |
| 3. Μεθοδολογία Επισκόπησης .....                                                         | 37 |
| 3.1 Σκοπός της Επισκόπησης και Ερευνητικά Ερωτήματα .....                                | 37 |
| 3.2 Διαδικασία Αναζήτησης .....                                                          | 38 |
| 3.3 Κριτήρια Αποδοχής, Αποκλεισμού και Ποιότητας .....                                   | 41 |
| 3.4 Διαδικασία Φιλτραρίσματος και Επιλογής.....                                          | 43 |
| 3.5 Περιορισμοί Μεθοδολογίας.....                                                        | 44 |
| 3.6 Κατανομή των Επιλεγμένων Άρθρων .....                                                | 45 |
| 4. Ανάλυση Προσεγγίσεων Δοκιμής και Διασφάλισης Ποιότητας Ιατρικών Εφαρμογών Ιστού ..... | 48 |
| 4.1 Εισαγωγή .....                                                                       | 48 |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2 Κατηγοριοποίηση των Επιλεγμένων Μελετών .....                                                | 49  |
| 4.3 Προσεγγίσεις Δοκιμής Λογισμικού σε Ιατρικές Εφαρμογές Ιστού.....                             | 53  |
| 4.3.1 Λειτουργική και Μη Λειτουργική Δοκιμή.....                                                 | 53  |
| 4.4 Προσεγγίσεις Διασφάλισης Ποιότητας Λογισμικού (SQA).....                                     | 68  |
| 4.5 Συγκριτική Ανάλυση Προσεγγίσεων.....                                                         | 75  |
| 4.5.1 Κριτήρια Σύγκρισης.....                                                                    | 75  |
| 4.5.2 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα Σύγκρισης.....                                               | 77  |
| 5. Μελέτη Περίπτωσης: Δοκιμές και Διασφάλιση Ποιότητας σε Εφαρμογή Ιστού Ιατρικών Ραντεβού ..... | 81  |
| 5.1 Εισαγωγή στη Μελέτη Περίπτωσης .....                                                         | 81  |
| 5.2 Σκοπός και Όρια του Πρωτοτύπου.....                                                          | 81  |
| 5.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος.....                                                            | 82  |
| 5.4 Ρόλοι χρηστών και βασικές οντότητες .....                                                    | 85  |
| 5.5 Λειτουργικές ροές της μελέτης περίπτωσης.....                                                | 86  |
| 5.5.1 Ροή εισόδου στο σύστημα.....                                                               | 86  |
| 5.5.2 Ροή προβολής ραντεβού.....                                                                 | 88  |
| 5.5.3 Ροή καταχώρισης νέου ραντεβού.....                                                         | 88  |
| 5.5.4 Ροή ακύρωσης ραντεβού.....                                                                 | 89  |
| 5.5.5 Ροή συνοπτικής αναφοράς .....                                                              | 91  |
| 5.6 Προσέγγιση Δοκιμής και Διασφάλιση Ποιότητας.....                                             | 92  |
| 5.7 Ενδεικτικά σενάρια δοκιμών .....                                                             | 93  |
| 5.8 Στοιχεία ασφάλειας και μη λειτουργικής ποιότητας .....                                       | 94  |
| 5.9 Περιορισμοί της υλοποίησης.....                                                              | 96  |
| 5.10 Συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης.....                                                    | 97  |
| 6. Ερευνητικά Κενά & Κατευθύνσεις.....                                                           | 98  |
| 6.1 Εισαγωγή.....                                                                                | 98  |
| 6.2 Κενά στην Αυτοματοποίηση Δοκιμών Ιατρικών Εφαρμογών.....                                     | 100 |
| 6.2.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών .....                                                            | 100 |
| 6.2.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης .....                                               | 102 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3 Κενά στη Διαλειτουργικότητα και Πρότυπα .....                    | 103 |
| 6.3.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών .....                                | 103 |
| 6.3.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης .....                   | 105 |
| 6.4 Κενά στην Κανονιστική Συμμόρφωση και την Κλινική Επικύρωση ..... | 106 |
| 6.4.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών .....                                | 106 |
| 6.4.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης .....                   | 108 |
| 6.5 Κενά στην Αξιολόγηση Χρηστικότητας.....                          | 109 |
| 6.5.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών .....                                | 109 |
| 6.5.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης .....                   | 110 |
| 6.6 Κενά στην Ασφάλεια και Προστασία της Ιδιωτικότητας.....          | 111 |
| 6.6.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών .....                                | 111 |
| 6.6.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης .....                   | 113 |
| 6.7 Συνολικές Ερευνητικές Προτάσεις.....                             | 114 |
| 7. Συμπεράσματα .....                                                | 119 |
| 7.1 Συνεισφορά της Εργασίας .....                                    | 119 |
| 7.2 Εμπειρία.....                                                    | 120 |
| 7.3 Βασικά Συμπεράσματα.....                                         | 121 |
| 7.4 Επίλογος .....                                                   | 122 |
| Παράρτημα Α - Περιγραφή προτεινόμενων UML/OpenUML διαγραμμάτων.....  | 123 |
| Α.1 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης .....                               | 123 |
| Α.2 Διάγραμμα περιβάλλοντος συστήματος .....                         | 124 |
| Α.3 Διάγραμμα ακολουθίας για την κράτηση ραντεβού .....              | 124 |
| Βιβλιογραφία .....                                                   | 125 |

## Λίστα Πινάκων

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 1:Είδη δοκιμής λογισμικού -----                                                                                         | 18 |
| Πίνακας 2: Διαφορές μεταξύ SQA και Testing -----                                                                                | 23 |
| Πίνακας 3: Πολυαξονική κατηγοριοποίηση μελετών-----                                                                             | 51 |
| Πίνακας 4: Συγκριτική αποτύπωση των επιλεγμένων μελετών βάσει της πολυαξονικής<br>κατηγοριοποίησης-----                         | 52 |
| Πίνακας 5: Συγκριτική αξιολόγηση των προσεγγίσεων βάσει των κριτηρίων K1–K7 -----                                               | 77 |
| Πίνακας 6: Υλοποιημένα σενάρια δοκιμών (όλα εκτελέστηκαν επιτυχώς) -----                                                        | 93 |
| Πίνακας 7: Χειροκίνητα υλοποιημένα σενάρια δοκιμών (εκτελεσμένα μέσω Postman, με<br>καταγεγραμμένο αποτέλεσμα ανά σενάριο)----- | 94 |
| Πίνακας 8: Χαρτογράφηση ερευνητικών κενών και κατευθύνσεων αντιμετώπισης -----                                                  | 99 |

## Λίστα Εικόνων

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1: Κατανομή ανά είδος δημοσίευσης -----                                                                                             | 45 |
| Εικόνα 2: Διάγραμμα κατανομής άρθρων ανά εκδότη -----                                                                                      | 46 |
| Εικόνα 3: Διάγραμμα κατανομής άρθρων ανά έτος δημοσίευσης -----                                                                            | 47 |
| Εικόνα 4: Πίνακας ελέγχου ADMIN -----                                                                                                      | 85 |
| Εικόνα 5: Πίνακας ελέγχου DOCTOR -----                                                                                                     | 86 |
| Εικόνα 6: Αρχική σελίδα εφαρμογής -----                                                                                                    | 87 |
| Εικόνα 7: Σελίδα προβολής και διαχείρισης ραντεβού -----                                                                                   | 88 |
| Εικόνα 8: Φόρμα δημιουργίας νέου ραντεβού -----                                                                                            | 89 |
| Εικόνα 9: Λίστα ραντεβού πριν από την ακύρωση, με διαθέσιμη την ενέργεια «Ακύρωση»<br>(ρόλος ADMIN) -----                                  | 90 |
| Εικόνα 10: Λίστα ραντεβού μετά την ακύρωση του ραντεβού της Κατερίνας Αντωνοπούλου<br>— κατάσταση AKYPΩMENO (CANCELLED), ρόλος ADMIN ----- | 91 |

## Λίστα Σχημάτων

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική εφαρμογών ιστού -----                 | 27 |
| Σχήμα 2: Πολυ-στρωματική δομή ιατρικών εφαρμογών ιστού ----- | 33 |
| Σχήμα 3: Αρχιτεκτονική του συστήματος -----                  | 84 |

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά συστηματικά τον έλεγχο λογισμικού (software testing) και τη διασφάλιση ποιότητας (quality assurance) για ιατρικές διαδικτυακές εφαρμογές, με στόχο την καταγραφή των κυρίαρχων προσεγγίσεων, τον εντοπισμό των περιορισμών τους και τη σκιαγράφηση ελπιδοφόρων κατευθύνσεων για μελλοντική έρευνα. Η μελέτη ακολουθεί τη μεθοδολογία της συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας και βασίζεται στην ανάλυση δεκαεννέα μελετών (δεκατέσσερις πρωτογενείς μελέτες και προτάσεις, πέντε δευτερογενείς ανασκοπήσεις), οι οποίες επιλέχθηκαν βάσει ρητών κριτηρίων συμπερίληψης, αποκλεισμού και ποιότητας.

Οι μελέτες οργανώθηκαν αρχικά με βάση μια πολυαξονική κατηγοριοποίηση, η οποία καλύπτει το είδος της μελέτης, το είδος της δραστηριότητας (δοκιμή, διασφάλιση ποιότητας ή συνδυασμός τους), τον τύπο της ιατρικής εφαρμογής και τις εξεταζόμενες ιδιότητες ποιότητας. Οι πέντε δευτερογενείς ανασκοπήσεις αξιοποιήθηκαν για σύνθεση γνώσης και όχι για συγκριτική αξιολόγηση. Η συγκριτική ανάλυση των δεκατεσσάρων πρωτογενών μελετών και προτάσεων δομήθηκε γύρω από επτά κριτήρια: το εύρος των ιδιοτήτων ποιότητας που καλύπτει κάθε προσέγγιση, τον βαθμό αυτοματοποίησης, την ευκολία υιοθέτησης, την αποδοτικότητα κόστους, τη μεθοδολογική καινοτομία, την εμπειρική τεκμηρίωση και τη φιλικότητα προς το παραγωγικό περιβάλλον. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ένα κατακερματισμένο βιβλιογραφικό τοπίο: καμία μεμονωμένη προσέγγιση δεν αντιμετωπίζει όλες τις κρίσιμες διαστάσεις ποιότητας με ολοκληρωμένο τρόπο, ενώ οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν σε απομονωμένες ιδιότητες, κυρίως στην ασφάλεια, την απόδοση ή την ευχρηστία. Ιδιαίτερα έντονα κενά εντοπίστηκαν στη σημασιολογική διαλειτουργικότητα, στη συστηματική μετάφραση των κανονιστικών υποχρεώσεων σε εκτελέσιμους ελέγχους και στη μετάβαση από την τεχνική επαλήθευση στην ουσιαστική κλινική επικύρωση. Επιπλέον, αν και οι αυτοματοποιημένες τεχνικές εμφανίζονται εξαιρετικά υποσχόμενες, συνήθως συνδέονται με υψηλότερο κόστος, εξειδικευμένη τεχνογνωσία και απαιτήσεις για μεγαλύτερη οργανωσιακή ωριμότητα.

Παράλληλα, η εργασία περιλαμβάνει μια πρακτική μελέτη περίπτωσης με τη μορφή μιας ιατρικής διαδικτυακής εφαρμογής διαχείρισης ραντεβού, η οποία αναπτύχθηκε ως Ελάχιστο Βιώσιμο Προϊόν (MVP - Minimum Viable Product), προκειμένου να καταδειχθεί πώς οι τεχνικές ελέγχου μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη. Η υλοποίηση χρησιμοποίησε αυτοματοποιημένους ελέγχους διεπαφής χρήστη (UI tests) και ένα αρχικό τεχνούργημα

ελέγχου φόρτου (load testing). Ωστόσο, αποκάλυψε επίσης σημαντικούς περιορισμούς, όπως την απουσία συστηματικού Δυναμικού Ελέγχου Ασφάλειας Εφαρμογών (DAST - Dynamic Application Security Testing), επίσημης αξιολόγησης ευχρηστίας και κλινικής επικύρωσης. Συνολικά, η διατριβή αναδεικνύει την ανάγκη για ολοκληρωμένα, βασισμένα στη διακινδύνευση (risk-based) και διεπιστημονικά πλαίσια ποιότητας, τα οποία θα συνδυάζουν την τεχνική στιβαρότητα, την εναρμόνιση με το κανονιστικό πλαίσιο και την κλινική αξιοπιστία καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των ιατρικών διαδικτυακών εφαρμογών.

**Λέξεις-κλειδιά:** ιατρικές διαδικτυακές εφαρμογές, έλεγχος λογισμικού, διασφάλιση ποιότητας, συστηματική ανασκόπηση βιβλιογραφίας, ερευνητικά κενά, ερευνητικές κατευθύνσεις, αυτοματοποίηση ελέγχων, διαλειτουργικότητα, κανονιστική συμμόρφωση, ευχρηστία, ασφάλεια, απόδοση, αξιοπιστία.

## Abstract

This master's thesis systematically investigates software testing and quality assurance for medical web applications, aiming to record the dominant approaches, identify their limitations, and outline promising directions for future research. The study follows a systematic literature review methodology and is based on the analysis of nineteen studies (fourteen primary studies and proposals, five secondary reviews), selected through explicit inclusion, exclusion and quality criteria.

The studies were first organized through a multi-axis categorization covering study type, activity (testing, quality assurance, or both), medical application type, and the quality properties examined; the five secondary reviews were utilised for knowledge synthesis rather than comparative rating. The comparative analysis of the fourteen primary studies and proposals was structured around seven criteria: the breadth of quality properties covered by each approach, degree of automation, ease of adoption, cost efficiency, methodological innovation, empirical evidence, and production-environment friendliness. The findings indicate a fragmented literature landscape: no single approach addresses all critical quality dimensions in an integrated way, while most studies focus on isolated properties, mainly security, performance, or usability. Particularly strong gaps were identified in semantic interoperability, the systematic translation of regulatory obligations into executable tests, and the transition from technical verification to meaningful clinical validation. Automated techniques appear highly promising, yet they are typically associated with higher cost, specialized expertise, and greater organizational maturity requirements.

In parallel, the thesis includes a practical case study in the form of an MVP medical web application for appointment management in order to demonstrate how testing techniques can be applied in practice. The implementation employed automated user-interface tests and an initial load-testing artifact. However, it also revealed significant limitations, such as the absence of systematic DAST, formal usability evaluation, and clinical validation. Overall, the thesis highlights the need for integrated, risk-based, and interdisciplinary quality frameworks that combine technical robustness, regulatory alignment, and clinical trustworthiness throughout the lifecycle of medical web applications.

**Keywords:** medical web applications, software testing, quality assurance, systematic literature review, research gaps, research directions, test automation, interoperability, regulatory compliance, usability, security, performance, reliability.

# 1. Εισαγωγή

Η ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών έχει οδηγήσει σε ευρεία χρήση εφαρμογών ιστού σε πολλούς τομείς, μεταξύ των οποίων και η υγεία. Πιο συγκεκριμένα, οι ιατρικές εφαρμογές ιστού αποτελούν πλέον, ιδιαίτερα σήμερα, ένα αναπόσπαστο κομμάτι τόσο των σύγχρονων συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης όσο και των διαδικασιών που αφορούν την αποθήκευση, διαχείριση, ανταλλαγή και ανάλυση ιατρικών δεδομένων (και της αντίστοιχης ευαισθησίας που τα χαρακτηρίζει). Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι τα ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία (Electronic Health Records - EHRs), τα συστήματα τηλεϊατρικής, οι πλατφόρμες διαχείρισης ασθενών, καθώς και τα διαγνωστικά πληροφοριακά συστήματα που υποστηρίζουν κλινικές αποφάσεις.

Λόγω της ευαισθησίας των ιατρικών δεδομένων, οι εφαρμογές αυτές οφείλουν να λειτουργούν με υψηλή αξιοπιστία, ακρίβεια, ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικότητας. Οποιαδήποτε δυσλειτουργία μπορεί να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ασθενών, να οδηγήσει σε παραβίαση προσωπικών δεδομένων ή να προκαλέσει νομικές και ηθικές συνέπειες για τους φορείς υγείας. Για αυτόν τον λόγο, όλες οι διαδικασίες που είναι σε θέση να επιβεβαιώσουν την πλήρη αντιμετώπιση των προαναφερόμενων ζητημάτων και την ολοκληρωμένη ικανοποίηση των αντίστοιχων απαιτήσεων που αυτά θέτουν είναι υψίστης σημασίας. Αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μια δραστηριότητα/φάση ανάπτυξης λογισμικού, η οποία ονομάζεται Software Verification & Validation (Επικύρωσης και Επαλήθευσης Λογισμικού) και περιλαμβάνει τόσο τη δοκιμή λογισμικού (software testing) όσο και διαδικασίες επιθεώρησης και αξιολόγησης (software review and evaluation) του λογισμικού.

Η διασφάλιση ποιότητας λογισμικού (software quality assurance) αποτελεί ένα ακόμη πιο ευρύ σύνολο δραστηριοτήτων, το οποίο εκτείνεται σε όλο τον κύκλο ανάπτυξης του λογισμικού και εμπεριέχει τη δοκιμή λογισμικού αλλά και πρόσθετες διαδικασίες, όπως τον έλεγχο συμμόρφωσης, τις επιθεωρήσεις (reviews), τους ελέγχους διαδικασιών (audits) και τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας (του λογισμικού). Η συσχέτιση μεταξύ δοκιμής και διασφάλισης ποιότητας λογισμικού είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η δοκιμή αποτελεί βασικό εργαλείο για την επιβεβαίωση της ποιότητας, ενώ η τελευταία στοχεύει στη συνολική διασφάλιση ότι όλες οι διεργασίες ανάπτυξης και συντήρησης οδηγούν σε ένα αξιόπιστο, ασφαλές και πλήρως συμμορφωμένο λογισμικό. Οι δύο αυτές δραστηριότητες συμβάλλουν στην αναγνώριση και εξάλειψη σφαλμάτων και στη βελτίωση της αξιοπιστίας. Παράλληλα, εξυπηρετούν την ικανοποίηση των απαιτήσεων ασφάλειας και προστασίας, τη συμμόρφωση

με κανονιστικά πλαίσια (όπως ο GDPR, το HIPAA και το ISO 13485) και, τελικά, την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των χρηστών και των επαγγελματιών υγείας.

Στις ιατρικές εφαρμογές ιστού, η δοκιμή και η διασφάλιση ποιότητας παρουσιάζουν αυξημένες δυσκολίες. Οι δυσκολίες αυτές αφορούν κυρίως τις μη λειτουργικές απαιτήσεις, όπως η ασφάλεια, η αξιοπιστία, η απόδοση, η χρηστικότητα, η διαλειτουργικότητα και η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια. Συγκεκριμένα, προκλήσεις εμφανίζονται σε τομείς όπου απαιτείται συνδυασμός ετερογενών τεχνολογιών, υπάρχει αυξημένη πολυπλοκότητα και όγκος δεδομένων υγείας, καθώς και είναι επιτακτική η ανάγκη συμμόρφωσης με αυστηρά πρότυπα ασφάλειας και κανονιστικά πλαίσια. Παρότι ορισμένες ιδιότητες (η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η απόδοση) μπορούν να αξιολογηθούν μέσω καθιερωμένων μεθόδων και εργαλείων δοκιμής, άλλες μη λειτουργικές απαιτήσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυσκολίες. Τέτοιες είναι, για παράδειγμα, η χρηστικότητα σε κλινικά περιβάλλοντα, η δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability) ή η επεκτασιμότητα (extensibility) του συστήματος (δύο διακριτές ιδιότητες που δεν πρέπει να συγχέονται), η συμμόρφωση με νομικά και ηθικά πλαίσια, καθώς και η ανάγκη ενσωμάτωσης με ποικίλα συστήματα υγείας. Οι απαιτήσεις αυτές υπερβαίνουν την κλασική λειτουργική δοκιμή και συχνά δεν μπορούν να καλυφθούν πλήρως με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις (μη λειτουργικής) δοκιμής, καθιστώντας αναγκαίες πιο εξειδικευμένες τεχνικές και πρακτικές.

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να διαμορφώσει μια συστηματική εικόνα των υπαρχουσών προσεγγίσεων που εφαρμόζονται στο πεδίο αυτό. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που θα εφαρμοστεί, επιχειρείται τόσο ο εντοπισμός και η ταξινόμηση όσο και η ανάλυση και η σύγκριση των μεθόδων και τεχνικών που υποστηρίζουν τη δοκιμή και τη διασφάλιση ποιότητας των ιατρικών εφαρμογών ιστού. Η επισκόπηση αυτή στοχεύει όχι μόνο στη χαρτογράφηση της υφιστάμενης κατάστασης, αλλά και στην ανάδειξη ερευνητικών κενών και νέων κατευθύνσεων προς αντιμετώπισή τους που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη βελτίωση της ποιότητας των μελλοντικών εφαρμογών υγείας.

Συνοπτικά, η συνεισφορά της διπλωματικής έγκειται στα εξής:

1. Στην ανάλυση και σύνθεση δεκαεννέα μελετών (δεκατέσσερις πρωτογενείς μελέτες και προτάσεις, πέντε δευτερογενείς ανασκοπήσεις) για τη δοκιμή και τη διασφάλιση ποιότητας ιατρικών εφαρμογών ιστού, με συγκριτική αξιολόγηση μόνο των δεκατεσσάρων πρωτογενών και εννοιολογικών προσεγγίσεων και αξιοποίηση των δευτερογενών για σύνθεση γνώσης.

2. Στην πολυαξονική κατηγοριοποίηση των μελετών ως προς το είδος της μελέτης, το είδος της δραστηριότητας (δοκιμή, διασφάλιση ποιότητας ή συνδυασμός τους), τον τύπο της ιατρικής εφαρμογής και τις εξεταζόμενες ιδιότητες ποιότητας, η οποία επιτρέπει την ενιαία αποτύπωση ετερογενών προσεγγίσεων.
3. Στον προσδιορισμό κοινών χαρακτηριστικών και διαφορών μεταξύ των μεθόδων που εφαρμόζονται στον ιατρικό τομέα και αυτών που προέρχονται από γενικές εφαρμογές ιστού.
4. Στην ανάδειξη των κυριότερων προκλήσεων και κενών που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία.
5. Στην πρόταση μελλοντικών ερευνητικών κατευθύνσεων που μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη πιο ασφαλών, αξιόπιστων και αποδοτικών ιατρικών εφαρμογών ιστού.

Η δομή του υπόλοιπου μέρους της αναφοράς της διπλωματικής αυτής εργασίας έχει ως εξής:

- *Κεφάλαιο 2: Υπόβαθρο*  
Παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες της δοκιμής λογισμικού, της διασφάλισης ποιότητας και των ιατρικών εφαρμογών ιστού, καθώς και οι μεταξύ τους συσχετίσεις.
- *Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία Επισκόπησης*  
Αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή, επιλογή και αξιολόγηση της σχετικής βιβλιογραφίας.
- *Κεφάλαιο 4: Ανάλυση Προσεγγίσεων Δοκιμής & Διασφάλισης Ποιότητας Ιατρικών Εφαρμογών Ιστού*  
Περιγράφεται η κατηγοριοποίηση, ανάλυση και εμπεριστατωμένη σύγκριση των επιλεγμένων άρθρων, διαχωρισμένων σε προσεγγίσεις δοκιμής και διασφάλισης ποιότητας. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα κριτήρια σύγκρισης και οι πίνακες αξιολόγησης/σύγκρισης από την βιβλιογραφική αυτή ανάλυση.
- *Κεφάλαιο 5: Μελέτη Περίπτωσης*  
Παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης πραγματικής ιατρικής εφαρμογής, όπου εφαρμόστηκαν στοχευμένες δοκιμές λογισμικού για την αξιολόγηση και επικύρωση των θεωρητικών συμπερασμάτων.
- *Κεφάλαιο 6: Ερευνητικά Κενά & Κατευθύνσεις*  
Παρουσιάζονται τα κενά και οι προκλήσεις που προκύπτουν από τη βιβλιογραφική ανάλυση, καθώς και οι αντίστοιχες ερευνητικές κατευθύνσεις για την αντιμετώπισή τους, με βάση τόσο τα θεωρητικά ευρήματα όσο και την πρακτική εφαρμογή.

- *Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα*

Παρουσιάζονται συνοπτικά η συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας, η εμπειρία που αποκομίστηκε και τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν.

## 2. Υπόβαθρο

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει το θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο για την κατανόηση των θεμάτων που εξετάζονται στη συνέχεια της εργασίας. Εισάγονται οι βασικές έννοιες της δοκιμής λογισμικού (software testing), της διασφάλισης ποιότητας λογισμικού (Software Quality Assurance – SQA) και του ευρύτερου πλαισίου Verification & Validation (V&V), καθώς και ο τρόπος με τον οποίο οι δραστηριότητες αυτές εφαρμόζονται στον κύκλο ζωής ανάπτυξης λογισμικού. Παρουσιάζονται επίσης οι κύριες κατηγορίες δοκιμών, τα εργαλεία και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα πρότυπα και οι μέθοδοι που διέπουν την ποιότητα λογισμικού. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια συνεκτική βάση γνώσης που επιτρέπει την ορθή ερμηνεία των μεθοδολογιών και προσεγγίσεων που αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.

Παράλληλα, το κεφάλαιο εξετάζει τις εφαρμογές ιστού και ειδικότερα τις ιατρικές εφαρμογές ιστού, αναδεικνύοντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τις απαιτήσεις και τις προκλήσεις τους. Δίνεται έμφαση στις μη λειτουργικές ιδιότητες, στα ζητήματα ασφάλειας και διαλειτουργικότητας, καθώς και στις κανονιστικές απαιτήσεις που καθιστούν τον τομέα της υγείας έναν χώρο με αυξημένη πολυπλοκότητα και αυστηρά πλαίσια ποιότητας. Ο σκοπός του κεφαλαίου είναι να θέσει τις αναγκαίες θεωρητικές βάσεις για τη βιβλιογραφική επισκόπηση και τη μελέτη περίπτωσης που ακολουθούν, ώστε η ανάλυση των προσεγγίσεων δοκιμής και διασφάλισης ποιότητας να γίνει με πλήρη τεχνική και εννοιολογική σαφήνεια.

### 2.1 Δοκιμή Λογισμικού

Η διαδικασία της δοκιμής λογισμικού (software testing) αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του κύκλου ανάπτυξης λογισμικού (Software Development Life Cycle – SDLC) και χρησιμοποιείται κυρίως για την επαλήθευση (verification) και την επικύρωση (validation) ότι το σύστημα λειτουργεί ορθά υπό τις απαιτούμενες συνθήκες, τηρεί τις καθορισμένες προδιαγραφές και ανταποκρίνεται στις ανάγκες των χρηστών. Με την επαλήθευση επιβεβαιώνουμε ότι η υλοποίηση έχει πραγματοποιηθεί βάσει των προδιαγραφών που έχουν τεθεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, ενώ με την επικύρωση διασφαλίζεται ότι το τελικό προϊόν καλύπτει τους πραγματικούς στόχους και απαιτήσεις του χρήστη (Sommerville, 2016).

#### 2.1.1 Πλεονεκτήματα και Οφέλη

Τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από τη διαδικασία της δοκιμής λογισμικού είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, αυτά είναι τα εξής:

- Έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος επιδιόρθωσης σε μεταγενέστερα στάδια.
- Αύξηση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας του συστήματος, καθώς η διαδικασία δοκιμής επιτρέπει τον εντοπισμό και τη διόρθωση σφαλμάτων καθώς και τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του λογισμικού, μειώνοντας την πιθανότητα δυσλειτουργιών και ευπαθειών.
- Συμμόρφωση με πρότυπα ποιότητας, όπως τα ISO/IEC 25010 και ISO 13485, τα οποία καθορίζουν συγκεκριμένα κριτήρια για την ποιότητα και ασφάλεια του λογισμικού.
- Ενίσχυση της εμπιστοσύνης των χρηστών και των πελατών, κάτι που είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε ευαίσθητους τομείς, όπως οι ιατρικές εφαρμογές.
- Διασφάλιση ορθής λειτουργίας του συστήματος υπό διαφορετικές συνθήκες, όπως μεταβολές φορτίου, διαφορετικά περιβάλλοντα εκτέλεσης και ποικιλία συσκευών.

Τα παραπάνω συνεισφέρουν καθοριστικά στη συνολική ποιότητα, σταθερότητα και αποδοτικότητα του τελικού προϊόντος, καθιστώντας τη δοκιμή λογισμικού μια αναπόσπαστη και κρίσιμη διαδικασία στην ανάπτυξη εφαρμογών, ιδίως στον τομέα της υγείας (Myers et al., 2011).

### 2.1.2 Είδη Δοκιμής Λογισμικού

Τα είδη της δοκιμής λογισμικού περιλαμβάνουν, όπως και η διαδικασία ανάπτυξης λογισμικού (software development), διαφορετικά στάδια, τύπους και αντίστοιχους στόχους για το καθένα. Κάθε στάδιο εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο σκοπό/στόχο και συμβάλλει συνολικά στη διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας του τελικού συστήματος. Συνοπτικά, τα βασικότερα είδη δοκιμών λογισμικού παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

*Πίνακας 1: Είδη δοκιμής λογισμικού*

| Είδη Testing                            | Περιγραφή                                                                                                              |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unit Testing (Δοκιμή Μονάδων)           | Έλεγχος επιμέρους μονάδων κώδικα (συνήθως συναρτήσεις/μέθοδοι ή κλάσεις) για τη σωστή λειτουργία και συμπεριφορά τους. |
| Integration Testing (Δοκιμή Ενοποίησης) | Έλεγχος της επικοινωνίας/αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών μονάδων ή συστατικών (components) που ενοποιούνται         |

| Είδη Testing                              | Περιγραφή                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | σχηματίζοντας ολόκληρα υποσυστήματα ή μέρη του λογισμικού προς δοκιμή.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| System Testing (Δοκιμή Συστήματος)        | Έλεγχος των βασικών λειτουργιών του συστήματος και της συμπεριφοράς του καθώς αυτό παίρνει την μορφή ενός ενιαίου συνόλου μέσω της ενοποίησης όλων των συστατικών του.                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Acceptance Testing (Δοκιμή Αποδοχής)      | Πραγματοποιείται συνήθως από τον πελάτη ή τον τελικό χρήστη για να επιβεβαιωθεί ότι το λογισμικό καλύπτει πλήρως όλες τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί για αυτό.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Regression Testing (Δοκιμή Παλινδρόμησης) | Διασφαλίζει ότι οι αλλαγές ή οι ενημερώσεις του λογισμικού δεν προκαλούν δυσλειτουργίες σε υπάρχοντα χαρακτηριστικά (features) του.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Performance Testing (Δοκιμή Απόδοσης)     | Αξιολογεί την ταχύτητα, την απόκριση και τη σταθερότητα του συστήματος υπό (σταθερό και κυμαινόμενο) φορτίο.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Security Testing (Δοκιμή Ασφάλειας)       | Εντοπίζει ευπάθειες, απειλές και πιθανά κενά ασφαλείας στο λογισμικό.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Usability Testing (Δοκιμή Χρηστικότητας)  | Εξετάζει τη φιλικότητα προς τον χρήστη, τη σαφήνεια διεπαφής και τη συνολική εμπειρία χρήσης.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Conformance Testing (Δοκιμή Συμμόρφωσης)  | Ελέγχει αν το λογισμικό συμμορφώνεται με συγκεκριμένα πρότυπα, κανονιστικά πλαίσια, πρωτόκολλα ή προκαθορισμένες απαιτήσεις. Είναι μία κρίσιμη διαδικασία για τη διαλειτουργικότητα, την αξιοπιστία, την ασφάλεια, τη νομιμότητα και την κανονιστική συμμόρφωση του λογισμικού.                                                                                                                                                            |
| Ethical Testing (Ηθική Δοκιμή)            | Αποτελεί μια ενιαία, συστηματική διαδικασία αξιολόγησης που καλύπτει δύο αλληλένδετες διαστάσεις. Συγκεκριμένα την ηθική λειτουργία του λογισμικού και την ηθική διεξαγωγή των διαδικασιών δοκιμής.<br>Από τη μία πλευρά, εξετάζεται κατά πόσο το λογισμικό λειτουργεί με τρόπους που σέβονται την υπεύθυνη και ορθή χρήση των δεδομένων, αποφεύγουν την αλγοριθμική προκατάληψη, διασφαλίζουν δίκαιη και ισότιμη μεταχείριση των χρηστών, |

| Είδη Testing                                                    | Περιγραφή                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                 | προστατεύουν την ιδιωτικότητα και τηρούν τις αρχές διαφάνειας και λογοδοσίας σε κάθε στάδιο της λειτουργίας του συστήματος.<br>Από την άλλη πλευρά, αξιολογείται αν η ίδια η διαδικασία δοκιμής συμμορφώνεται με καθιερωμένες ηθικές αρχές, επαγγελματικούς κώδικες δεοντολογίας και κοινωνικές νόρμες, διασφαλίζοντας υπεύθυνη διαχείριση των δεδομένων δοκιμής, αποτροπή κακόβουλων ή μη εξουσιοδοτημένων ενεργειών και απουσία δοκιμαστικών πρακτικών που θα μπορούσαν να επιφέρουν κινδύνους ή βλάβες σε χρήστες, οργανισμούς ή στο σύστημα. |
| Reliability Testing (Δοκιμή Αξιοπιστίας)                        | Εξετάζει τη συνεπή και σταθερή λειτουργία του λογισμικού σε βάθος χρόνου, αξιολογώντας την ικανότητά του να λειτουργεί χωρίς αστοχίες υπό κανονικές συνθήκες χρήσης και για παρατεταμένες περιόδους.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Load & Scalability Testing (Δοκιμή Φόρτου και Κλιμακωσιμότητας) | Αξιολογεί την ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται αποτελεσματικά σε αυξανόμενο αριθμό χρηστών, δεδομένων και συναλλαγών, χωρίς υποβάθμιση της απόδοσης, τόσο υπό συγκεκριμένο όσο και υπό κλιμακούμενο φόρτο.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Interoperability Testing (Δοκιμή Διαλειτουργικότητας)           | Διασφαλίζει ότι η εφαρμογή μπορεί να ανταλλάσσει δεδομένα και να συνεργάζεται με άλλα συστήματα υγείας με τρόπο ορθό, ασφαλή και συμβατό με τα προβλεπόμενα πρότυπα και πρωτόκολλα (π.χ. HL7, FHIR, DICOM).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Στο πλαίσιο των ιατρικών εφαρμογών ιστού, ιδιαίτερη σημασία δίνεται όχι μόνο στη δοκιμή ασφάλειας, συμμόρφωσης και ηθικής, αλλά και στη δοκιμή αξιοπιστίας, φόρτου και αντοχής (load και stress testing), κλιμακωσιμότητας και διαλειτουργικότητας. Οι προτεραιότητες αυτές προκύπτουν από το ότι τα συστήματα υγείας απαιτούν υψηλή σταθερότητα, ανθεκτικότητα, ασφαλή επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων και διαλειτουργική επικοινωνία με ετερογενή πληροφοριακά συστήματα βάσει προτύπων όπως HL7, FHIR και DICOM.

Για την εφαρμογή όλων των παραπάνω κατηγοριών δοκιμών υπάρχει μια πληθώρα εργαλείων και τεχνικών, οι οποίες, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναλύονται τόσο

θεωρητικά στο υπόβαθρο όσο και συγκριτικά μέσω των αποτελεσμάτων της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

### 2.1.3 Αυτοματοποίηση Δοκιμής Λογισμικού: Ορισμοί, Τεχνικές και Εργαλεία

Η αυτοματοποίηση της δοκιμής λογισμικού (test automation) αναφέρεται στη χρήση εξειδικευμένων εργαλείων και πλαισίων για την αυτόματη εκτέλεση δοκιμών χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Στόχος της είναι η επιτάχυνση της διαδικασίας ελέγχου/δοκιμής, η μείωση των σφαλμάτων που σχετίζονται με χειροκίνητες διαδικασίες και η δυνατότητα επαναλαμβανόμενων και αξιόπιστων δοκιμών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ανάπτυξης λογισμικού. Ως τεχνικές δοκιμής στο πλαίσιο της αυτοματοποίησης θεωρούνται οι μέθοδοι και οι προσεγγίσεις με τις οποίες οργανώνονται, υλοποιούνται και εκτελούνται τα αυτοματοποιημένα σενάρια δοκιμών. Η τρέχουσα ενότητα δεν εστιάζει στις θεωρητικές τεχνικές σχεδιασμού δοκιμών, αλλά στις τεχνικές και πρακτικές που χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση της εκτέλεσής τους.

Η αυτοματοποίηση εφαρμόζεται σε διάφορα είδη δοκιμών, όπως οι δοκιμές διεπαφής χρήστη (UI testing), οι οποίες αξιολογούν τη λειτουργική συμπεριφορά της γραφικής διεπαφής και τη σωστή αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα, οι δοκιμές φόρτου και απόδοσης (load και performance testing), που εξετάζουν την ταχύτητα, σταθερότητα και συμπεριφορά του συστήματος υπό διαφορετικά επίπεδα φόρτου, καθώς και οι δοκιμές ασφάλειας, οι οποίες εντοπίζουν ευπάθειες, λανθασμένες διαμορφώσεις και πιθανά σημεία παραβίασης σε εφαρμογές και υπηρεσίες ιστού. Για την υλοποίηση αυτοματοποιημένων δοκιμών χρησιμοποιούνται ευρέως εργαλεία/πλαίσια δοκιμής, τα οποία αποτελούν λογισμικά ή οργανωμένα σύνολα βιβλιοθηκών και μηχανισμών που υποστηρίζουν τον σχεδιασμό, την εκτέλεση και την αυτοματοποίηση δοκιμών, παρέχοντας έτοιμες λειτουργίες και πρότυπα για συνεπείς και επαναλήψιμους ελέγχους. Ενδεικτικά, εργαλεία αποτελούν τα Selenium<sup>1</sup>, Cypress<sup>2</sup> και Playwright<sup>3</sup> για δοκιμές διεπαφής χρήστη, τα JUnit<sup>4</sup>, NUnit<sup>5</sup> και PyTest<sup>6</sup> για

---

<sup>1</sup> <https://www.selenium.dev/>

<sup>2</sup> <https://www.cypress.io/#create>

<sup>3</sup> <https://playwright.dev/>

<sup>4</sup> <https://junit.org/>

<sup>5</sup> <https://nunit.org/>

<sup>6</sup> <https://docs.pytest.org/en/stable/>

δοκιμές μονάδας, τα JMeter <sup>7</sup> και Gatling <sup>8</sup> για δοκιμές απόδοσης και τα OWASP ZAP και Burp Suite για δοκιμές ασφάλειας.

Η αυτοματοποίηση δοκιμών αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο των πρακτικών Συνεχούς Ενοποίησης (Continuous Integration – CI) και Συνεχούς Παράδοσης (Continuous Delivery – CD) (μαζί ονομάζονται με βάση το ακρωνύμιο CI/CD), οι οποίες ενσωματώνουν συχνές αλλαγές κώδικα σε κοινό αποθετήριο, συνοδευόμενες από αυτόματη εκτέλεση δοκιμών και αυτοματοποιημένη προετοιμασία για τη διάθεση ή ακόμη και διάταξη (continuous deployment) νέων εκδόσεων. Η υιοθέτηση CI/CD ενισχύει τη σταθερότητα του συστήματος, επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων και βελτιώνει τη συνολική ποιότητα και αξιοπιστία του λογισμικού, διευκολύνοντας την ασφαλή και γρήγορη παροχή λειτουργικών ενημερώσεων ή νέων χαρακτηριστικών.

## 2.2 Διασφάλιση Ποιότητας Λογισμικού

### 2.2.1 Ορισμός και Ρόλος

Η Διασφάλιση Ποιότητας Λογισμικού (Software Quality Assurance – SQA) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύνολο δραστηριοτήτων και διαδικασιών που στοχεύουν στη διασφάλιση ότι το λογισμικό ικανοποιεί συγκεκριμένα πρότυπα ποιότητας, απαιτήσεις και προδιαγραφές σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του. Σε αντίθεση με τη δοκιμή λογισμικού, η οποία επικεντρώνεται κυρίως στον εντοπισμό σφαλμάτων στον κώδικα του λογισμικού που αναπτύσσεται, η SQA υιοθετεί μια προληπτική προσέγγιση, παρακολουθώντας και ελέγχοντας συστηματικά τόσο τις διαδικασίες ανάπτυξης όσο και τα παραγόμενα κομμάτια (δηλ. τα τεχνήματα που παράγονται από τις διάφορες φάσεις/διαδικασίες ανάπτυξης), με στόχο τη συνεχή και σταθερή ποιότητα.

Μεθοδολογικά, η SQA περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες (δηλ. συγκεκριμένες ενέργειες), όπως ορισμό και τήρηση προτύπων, καθιέρωση και έλεγχο των διαδικασιών ανάπτυξης λογισμικού (software development processes), καθορισμό μετρήσεων ποιότητας, επιθεωρήσεις (reviews), ελέγχους διαδικασιών (ανάπτυξης) και συστημάτων (audits), καθώς και δραστηριότητες επαλήθευσης και επικύρωσης, περιλαμβανομένων των δοκιμών λογισμικού (IEEE Standards Association, 2002). Μέσω των πρακτικών SQA διασφαλίζεται ότι η ανάπτυξη πραγματοποιείται με ελεγχόμενο, τεκμηριωμένο και αξιόπιστο τρόπο,

---

<sup>7</sup> <https://jmeter.apache.org/>

<sup>8</sup> <https://gatling.io/>

μειώνοντας τον κίνδυνο σφαλμάτων και αποκλίσεων από τις λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της SQA είναι η έγκαιρη πρόληψη προβλημάτων, καθώς εντοπίζει αδυναμίες σε διαδικασίες, προδιαγραφές και σχεδιασμό πριν αυτές εξελιχθούν σε σφάλματα κατά την υλοποίηση. Επιπλέον, συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ποιότητας του τελικού προϊόντος, μειώνοντας το κόστος διόρθωσης σφαλμάτων σε μεταγενέστερα στάδια. Η SQA ενισχύει επίσης τη συμμόρφωση του λογισμικού με διεθνή πρότυπα και κανονιστικές απαιτήσεις, ένα στοιχείο ιδιαίτερα κρίσιμο στον τομέα των ιατρικών εφαρμογών, όπου ισχύουν αυστηρά πλαίσια ποιότητας και ασφάλειας. Τέλος, η εφαρμογή ολοκληρωμένων διαδικασιών SQA προάγει τη διαφάνεια, την ιχνηλασιμότητα και τη συνεχή βελτίωση, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη τόσο της ομάδας ανάπτυξης όσο και των τελικών χρηστών στο σύστημα.

### 2.2.2 Σχέση Διασφάλισης Ποιότητας και Δοκιμής Λογισμικού

Αν και η δοκιμή λογισμικού αποτελεί σημαντικό μέρος της SQA, οι δύο έννοιες δεν είναι ταυτόσημες. Η δοκιμή επικεντρώνεται στον εντοπισμό σφαλμάτων στο τελικό προϊόν, ενώ η SQA επικεντρώνεται στη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος, διασφαλίζοντας ότι αυτή διεξάγεται με ελεγχόμενο και ποιοτικό τρόπο. Ο παρακάτω πίνακας αποτυπώνει τις βασικές διαφορές μεταξύ SQA & δοκιμής λογισμικού βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων σύγκρισης.

Πίνακας 2: Διαφορές μεταξύ SQA και Testing

| Στοιχείο  | SQA                                                     | Testing                                                                                                     |
|-----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Εστίαση   | Διαδικασίες ανάπτυξης και πρότυπα / τεχνήματα ανάπτυξης | Λειτουργικότητα & συμπεριφορά του λογισμικού                                                                |
| Σκοπός    | Πρόληψη & Εντοπισμός σφαλμάτων                          | Εντοπισμός σφαλμάτων                                                                                        |
| Χρονισμός | Καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής                    | Μετά την ανάπτυξη κάθε ενότητας, τη διενέργεια αλλαγών σε υπάρχοντα χαρακτηριστικά ή/και την υλοποίηση νέων |

| Στοιχείο             | SQA                                                                                                                                                                                                                                                     | Testing                                                   |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Τύποι δραστηριοτήτων | Έλεγχοι διαδικασιών και συστημάτων (audits), επιθεωρήσεις τεχνημάτων (reviews), παρακολούθηση διαδικασιών (process monitoring), σχεδίαση δοκιμών (test design), προγραμματισμός (planning) και παραγωγή τεκμηρίωσης/αναφοράς δοκιμών (reporting) κ.λ.π. | Εκτέλεση δοκιμών, παραγωγή αναφορών αποτελεσμάτων δοκιμής |

### 2.2.3 Μέθοδοι και Τεχνικές Διασφάλισης Ποιότητας

Μερικές από τις κύριες τεχνικές SQA περιλαμβάνουν:

- *Code Reviews & Peer Reviews*: εσωτερικός έλεγχος κώδικα και άλλων τεχνημάτων (πχ. διαγράμματα σχεδίασης) που παράγονται στο πλαίσιο της ανάπτυξης λογισμικού από άλλους προγραμματιστές ή μηχανικούς λογισμικού (εντός της ομάδας έργου ή μέλη εξειδικευμένης ομάδας διασφάλισης ποιότητας) για την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων.
- *Static Analysis*: αυτόματος στατικός έλεγχος πηγαίου ή και δυαδικού κώδικα για τυπικά σφάλματα, ευπάθειες ή αποκλίσεις από τα πρότυπα.
- *Formal Methods*: μαθηματική επαλήθευση της ορθότητας του λογισμικού (ιδιαίτερα σημαντική σε κρίσιμα συστήματα) (πχ. μέσω τεχνικών ελέγχου μοντέλων - model checking techniques).
- *Metrics & Quality Indicators*: μέτρηση της ποιότητας του λογισμικού και των διαδικασιών ανάπτυξης μέσω KPIs (πχ. αριθμός ελαττωμάτων, Mean-time-between-failure (MTBF), κάλυψη δοκιμών (test coverage)).
- *Process/Configuration Audits*:
  - Τα process audits αφορούν τον έλεγχο των διαδικασιών και ροών εργασίας που χρησιμοποιούνται κατά την ανάπτυξη λογισμικού, εξετάζοντας κατά πόσο συμμορφώνονται με τα καθιερωμένα πρότυπα, τις οργανωσιακές πολιτικές και τις εγκαθιδρυμένες οδηγίες. Στόχος τους είναι να εντοπίσουν αποκλίσεις από τις προβλεπόμενες διαδικασίες και να διασφαλίσουν ότι οι πρακτικές ανάπτυξης εφαρμόζονται με συνεπή, τεκμηριωμένο και ελεγχόμενο τρόπο.

- Αντίθετα, τα configuration audits εστιάζουν στα τεμάχια διαμόρφωσης (configuration items) και ελέγχουν την πληρότητα, την ορθότητα και τη συνέπειά τους σε σχέση με τις αντίστοιχες προδιαγραφές και τεχνήματα. Τα configuration audits καλύπτουν:
  - τον έλεγχο της σωστής έκδοσης, ιχνηλασιμότητας και συνέπειας τόσο του λογισμικού όσο και της τεκμηρίωσής του,
  - την επιβεβαίωση ότι οι αλλαγές στο λογισμικό παρακολουθούνται, επικυρώνονται και υλοποιούνται με ελεγχόμενο και ορθό τρόπο, και
  - την αξιολόγηση της δυνατότητας αναπαραγωγής, συντήρησης και αξιόπιστης διαχείρισης του λογισμικού συστήματος σε βάθος χρόνου.

## 2.2.4 Πρότυπα και Πλαίσια Ποιότητας

Η SQA στηρίζεται σε διεθνή πρότυπα που καθορίζουν διαδικασίες, απαιτήσεις και μεθοδολογίες για την ανάπτυξη και διασφάλιση ποιότητας λογισμικού:

- ISO 9001: Αποτελεί γενικό πρότυπο διαχείρισης ποιότητας που εστιάζει στη δημιουργία τεκμηριωμένων διαδικασιών, στη συνεχή βελτίωση και στη συστηματική διαχείριση κινδύνων και μη συμμορφώσεων. Αν και δεν είναι ειδικό για λογισμικό αλλά μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε οργανισμό που παράγει προϊόντα ή υπηρεσίες, θέτει τα θεμέλια μιας οργανωμένης και ποιοτικής διαδικασίας ανάπτυξης. Σε σχέση με την ανάπτυξη λογισμικού, μπορεί να εξασφαλίσει πως οι διαδικασίες ανάπτυξης είναι καλά ορισμένες, επαναλήψιμες και παρακολουθούμενες. Επίσης, δίνει έμφαση στη συνεχή βελτίωση και στην ικανοποίηση πελατών. Από την άλλη μεριά, για την φάση της δοκιμής το πρότυπο αυτό απαιτεί: σωστή τεκμηρίωση των διαδικασιών δοκιμής, τον εντοπισμό σφαλμάτων και ενεργειών επιδιόρθωσης καθώς και την εξασφάλιση πως το λογισμικό ικανοποιεί τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί για αυτό.
- CMMI (Capability Maturity Model Integration): Είναι μοντέλο ωριμότητας που αξιολογεί το επίπεδο ανάπτυξης και βελτιστοποίησης των διαδικασιών (ανάπτυξης λογισμικού) ενός οργανισμού. Παρέχει πέντε επίπεδα ωριμότητας, από άναρχες (ad hoc) διαδικασίες έως πλήρως βελτιστοποιημένα και ποσοτικοποιημένα συστήματα ανάπτυξης λογισμικού, βοηθώντας στην πρόβλεψη ποιότητας και στη μείωση κινδύνων. Βοηθά τους οργανισμούς να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους, να μειώσουν τα σφάλματα και προτυποποιήσουν καλές πρακτικές (ανάπτυξης λογισμικού). Σε σχέση με την δοκιμή, το μοντέλο αυτό προτείνει τη χρήση ορισμένων

και επαναλήψιμων διαδικασιών δοκιμής, τη συλλογή κατάλληλων μετρικών που εστιάζουν τόσο στο λογισμικό όσο και στην διαδικασία ανάπτυξής του καθώς και τη συνεχή βελτίωση των πρακτικών δοκιμής.

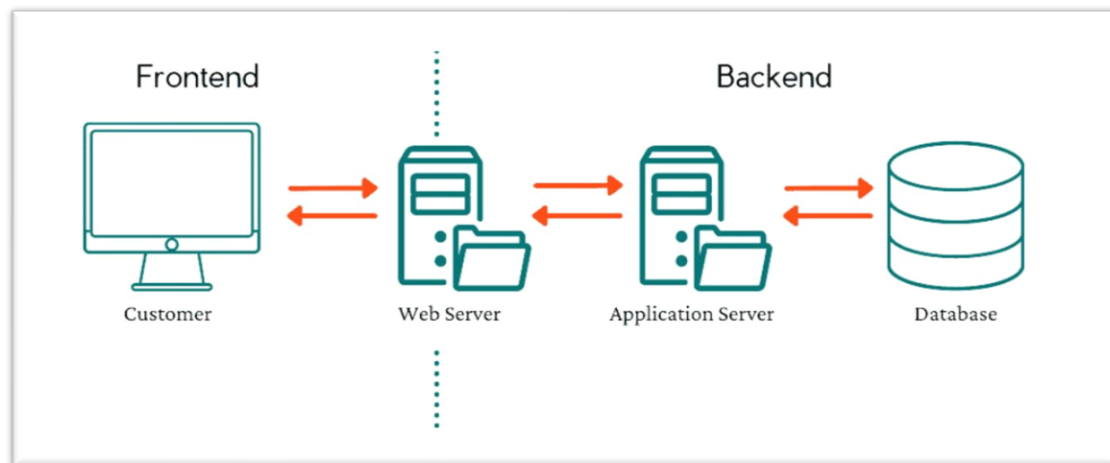
- ISO/IEC 25010: Προσδιορίζει ένα δομημένο μοντέλο χαρακτηριστικών ποιότητας λογισμικού, όπως λειτουργικότητα, αξιοπιστία, ασφάλεια, απόδοση, συντηρησιμότητα και χρηστικότητα. Χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση και μέτρηση της ποιότητας λογισμικού σε όλο τον κύκλο ζωής του. Επίσης, καθοδηγεί τον σχεδιασμό των μη λειτουργικών δοκιμών του λογισμικού για να εξασφαλίσει πως όλες οι ιδιότητες ποιότητας (λογισμικού) αξιολογούνται/δοκιμάζονται.
- ISO 13485: Πρότυπο που αφορά συστήματα διαχείρισης ποιότητας για ιατροτεχνολογικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένου λογισμικού που χρησιμοποιείται σε αυτά. Εστιάζει στην ασφάλεια, στην ιχνηλασιμότητα, στη διαχείριση κινδύνου και στη συμμόρφωση με αυστηρές κανονιστικές απαιτήσεις, καθιστώντας το ιδιαίτερα σημαντικό για ιατρικές εφαρμογές ιστού και συστήματα υγείας. Σε σχέση με την ανάπτυξη και την δοκιμή λογισμικού, εξασφαλίζει πως η ανάπτυξη συμμορφώνεται με αυστηρές κανονιστικές απαιτήσεις όσον αφορά την προστασία και την αποτελεσματικότητα ενώ απαιτεί την ύπαρξη λεπτομερούς τεκμηρίωσης για τις διαδικασίες ανάπτυξης και δοκιμής, την εγκαθίδρυση ιχνηλασιμότητας μεταξύ των διαφορετικών φάσεων ανάπτυξης (πχ. από την ανάλυση απαιτήσεων στην σχεδίαση) καθώς τόσο την επικύρωση όσο και την επαλήθευση ώστε να εξασφαλιστεί πως η λειτουργικότητα κρίσιμης ασφάλειας/προστασίας λειτουργεί με συνεπή και αξιόπιστο τρόπο.

## 2.3 Εφαρμογές Ιστού και Ιατρικές Εφαρμογές Ιστού

### 2.3.1 Εφαρμογές Ιστού: Ορισμός και Χαρακτηριστικά

Οι εφαρμογές ιστού (web applications) είναι συστήματα λογισμικού που εκτελούνται μέσω φυλλομετρητή (browser), παρέχοντας με αυτό τον τρόπο την λειτουργικότητά τους μέσω διαδικτύου. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η προσβασιμότητα (accessibility) και η άμεση ενημέρωση του περιεχομένου (real-time updating), οι πλούσιες διεπαφές (rich interfaces) και η χρηστικότητα (usability), η πολυπλατφορμικότητα (multi-platformness), η κλιμακωσιμότητα (scalability) και η διαλειτουργικότητα (interoperability) μέσω APIs

(Application Programming Interfaces) (Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών) και υπηρεσίες ιστού (web services) (Sommerville, 2016).



Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική εφαρμογών ιστού

Σημείωση (για το παραπάνω σχήμα): Για λόγους απλοποίησης, ο web server απεικονίζεται στην πλευρά του back-end. Η επιλογή αυτή είναι ορθή, καθώς ο web server αποτελεί μέρος της υποδομής του εξυπηρετητή και είναι υπεύθυνος για την παροχή του στατικού περιεχομένου της εφαρμογής (όπως αρχεία HTML, CSS και JavaScript) προς τον browser του χρήστη.

Η διεπαφή χρήστη (front-end) υλοποιείται και εκτελείται τελικά στον browser, ο οποίος, πέρα από την απλή απόδοση του στατικού περιεχομένου, εκτελεί και κώδικα που παραδίδεται από τον server (κυρίως JavaScript), προσδίδοντας δυναμική συμπεριφορά και διαδραστικότητα στην εφαρμογή.

Συνεπώς, το front-end της εφαρμογής καλύπτεται λειτουργικά από δυναμικό περιεχόμενο που εκτελείται στην πλευρά του πελάτη (client-side), ενώ τροφοδοτείται αρχικά από στατικό περιεχόμενο που παρέχεται από την πλευρά του server. Στο παρόν κείμενο, ο όρος back-end αναφέρεται κυρίως στο επίπεδο της επιχειρησιακής λογικής (application server), ενώ η βάση δεδομένων αντιμετωπίζεται ως διακριτό τρίτο επίπεδο της αρχιτεκτονικής.

Η αρχιτεκτονική τους συνήθως περιλαμβάνει τρία επίπεδα:

- *Επίπεδο παρουσίασης (front-end):* Παρέχει την διεπαφή χρήστη ιστού (web user interface – web UI) μέσω της οποίας αλληλεπιδρά ο χρήστης με την εφαρμογή. Η διεπαφή αυτή αναπτύσσεται μέσω τεχνολογιών που περιλαμβάνουν τις γλώσσες

HTML, CSS και JavaScript καθώς και πλαίσια (frameworks) της Javascript, όπως React<sup>9</sup> και Angular<sup>10</sup>.

- Επίπεδο λογικής (back-end): εδώ υλοποιείται η επιχειρησιακή λογική της εφαρμογής και άρα η βασική της λειτουργικότητα μέσω γνωστών γλωσσών προγραμματισμού, όπως Java, Python, Node.js και PHP. Για πιο ταχεία ανάπτυξη του επιπέδου αυτού ενδέχεται και να χρησιμοποιούνται πλαίσια/βιβλιοθήκες ιστού (web frameworks) που συνοδεύουν τις γλώσσες αυτές, όπως είναι το Spring Boot<sup>11</sup>, το Django<sup>12</sup>, το Express.js<sup>13</sup> ή το Laravel<sup>14</sup>.
- Επίπεδο δεδομένων (database layer): εδώ πραγματοποιείται η διαχείριση των δεδομένων της εφαρμογής μέσω της χρήσης σχεσιακών (πχ. MySQL<sup>15</sup>, PostgreSQL<sup>16</sup>) ή NoSQL βάσεων δεδομένων (πχ. MongoDB<sup>17</sup>).

### 2.3.2 Ιατρικές Εφαρμογές Ιστού

Οι ιατρικές εφαρμογές ιστού είναι εξειδικευμένα πληροφοριακά συστήματα που υποστηρίζουν κρίσιμες διαδικασίες του τομέα υγείας και επιτρέπουν την παροχή υπηρεσιών, την αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων, καθώς και τη διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ ασθενών, επαγγελματιών υγείας και οργανισμών. Λόγω του ρόλου τους, χαρακτηρίζονται από αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας, αξιοπιστίας, διαθεσιμότητας και συμμόρφωσης με κανονιστικά πλαίσια. Τα πιο σημαντικά είδη αυτών των εφαρμογών αναλύονται συντόμως παρακάτω.

- *Ηλεκτρονικά Ιατρικά Αρχεία (Electronic Health Records — EHR/EMR):*

Τα συστήματα EHR/EMR διαχειρίζονται το πλήρες ιατρικό ιστορικό ενός ασθενούς, συμπεριλαμβανομένων κλινικών δεδομένων, εξετάσεων, διαγνώσεων, φαρμακευτικών αγωγών και σχεδίων θεραπείας. Απαιτούν υψηλό επίπεδο ασφάλειας & ιδιωτικότητας

---

<sup>9</sup> <https://react.dev/>

<sup>10</sup> <https://angular.dev/>

<sup>11</sup> <https://spring.io/projects/spring-boot>

<sup>12</sup> <https://www.djangoproject.com/>

<sup>13</sup> <https://expressjs.com/>

<sup>14</sup> <https://laravel.com/>

<sup>15</sup> <https://www.mysql.com/>

<sup>16</sup> <https://www.postgresql.org/>

<sup>17</sup> <https://www.mongodb.com/>

δεδομένων, μηχανισμούς ελέγχου πρόσβασης (role-based access control) και ακεραιότητας πληροφοριών (information integrity) καθώς και ισχυρή ιχνηλασιμότητα (audit logs). Η διαθεσιμότητα και αξιοπιστία είναι επίσης κρίσιμες, αφού η μη πρόσβαση στα δεδομένα μπορεί να επηρεάσει άμεσα την κλινική φροντίδα.

- *Συστήματα Τηλεϊατρικής:*

Οι πλατφόρμες τηλεϊατρικής επιτρέπουν την εξ αποστάσεως παροχή κλινικών υπηρεσιών, όπως τηλεδιαγνώσεις, τηλεσυμβουλές ή απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών. Απαιτούν ασφαλή μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, υψηλή διαθεσιμότητα και αντοχή σε απώλεια σύνδεσης, καθώς και πλήρη συμμόρφωση με πρότυπα ιδιωτικότητας, δεδομένης της συνεχούς διακίνησης ευαίσθητων ιατρικών πληροφοριών (π.χ. βίντεο, βιομετρικά δεδομένα).

- *Πλατφόρμες Διαχείρισης Ασθενών:*

Αυτές περιλαμβάνουν συστήματα προγραμματισμού ραντεβού, διαχείρισης ροής ασθενών σε κλινικές, παρακολούθησης θεραπευτικών πλάνων και υποστήριξης επικοινωνίας μεταξύ ασθενών και ιατρών. Εκτός από αυξημένες απαιτήσεις χρηστικότητας (καθώς αποτελούν μέρος της καθημερινής λειτουργίας κλινικών και νοσοκομείων), συνοδεύονται και από κρίσιμες απαιτήσεις ιδιωτικότητας και προστασίας προσωπικών δεδομένων υγείας, σύμφωνα με κανονιστικά πλαίσια όπως το GDPR<sup>18</sup> ή το HIPAA<sup>19</sup>. Επιπλέον, απαιτούν ισχυρούς μηχανισμούς ασφάλειας και ελέγχου πρόσβασης βάσει ρόλων (RBAC), ώστε μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες να μπορούν να προβάλλουν ή να τροποποιούν κλινικές πληροφορίες. Τέλος, απαιτούν συνέπεια δεδομένων, έγκαιρη ενημέρωση πληροφοριών και διαλειτουργικότητα με άλλες υπηρεσίες υγείας.

- *Διαγνωστικά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Clinical Decision Support Systems-CDSS):*

Τα CDSS αξιοποιούν κανόνες, αλγορίθμους και πολλές φορές τεχνητή νοημοσύνη για την υποστήριξη κλινικών αποφάσεων (π.χ. προτάσεις διάγνωσης, προειδοποιήσεις για αλληλεπιδράσεις φαρμάκων). Διαθέτουν τις υψηλότερες απαιτήσεις ως προς την ακρίβεια, την αξιοπιστία και την ελαχιστοποίηση σφαλμάτων, καθώς η λανθασμένη

---

<sup>18</sup><https://gdpr.eu/>

<sup>19</sup><https://www.hhs.gov/hipaa/index.html>

λειτουργία μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη κλινική πράξη. Επίσης, ενέχουν σημαντικές ηθικές προεκτάσεις, όπως η ανάγκη για διαφάνεια, ανάλυση προκαταλήψεων (bias) και ερμηνεία των συστάσεων.

- *Εφαρμογές Κινητής Υγείας (mHealth / Mobile Apps):*

Πρόκειται για κινητές εφαρμογές υγείας που εκτελούνται σε smartphones και tablets και υποστηρίζουν την παρακολούθηση φυσιολογικών δεικτών, τις ειδοποιήσεις και την αυτοδιαχείριση της υγείας από τον ίδιο τον χρήστη.

- *Συστήματα Υγείας Βασισμένα στο Νέφος (Cloud-based Healthcare Systems):*

Αφορούν ιατρικές εφαρμογές που φιλοξενούνται σε υποδομές νέφους και αξιοποιούν την ελαστική κλιμάκωση, την κατανομημένη επεξεργασία και την αρθρωτή αρχιτεκτονική μικροϋπηρεσιών για τη διαχείριση μεταβαλλόμενου φόρτου.

- *Συστήματα IoT Υγείας (Healthcare IoT Systems):*

Περιλαμβάνουν διασυνδεδεμένες ιατρικές συσκευές και αισθητήρες που επικοινωνούν μέσω δικτύου για τη συλλογή, μετάδοση και επεξεργασία κλινικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

- *Ευρύτερες Εφαρμογές Ηλεκτρονικής Υγείας (eHealth Applications):*

Καλύπτουν διαδικτυακές εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας που υποστηρίζουν παρεμβάσεις, ενημέρωση και υπηρεσίες προς ασθενείς ή επαγγελματίες υγείας, χωρίς να εμπίπτουν αποκλειστικά σε κάποια από τις προηγούμενες κατηγορίες.

### **Μη λειτουργικές απαιτήσεις των ιατρικών εφαρμογών:**

Ανεξαρτήτως κατηγορίας, όλες οι ιατρικές εφαρμογές ιστού συνοδεύονται από απαιτήσεις ιδιαίτερα υψηλού επιπέδου σε θέματα ασφάλειας, όπως εμπιστευτικότητα (confidentiality), ακεραιότητα (integrity) και διαθεσιμότητα (availability). Επιπλέον, απαιτούν αυστηρή προστασία προσωπικών δεδομένων σύμφωνα με κανονισμούς όπως το GDPR ή το HIPAA, καθώς και υψηλή αξιοπιστία και συνεχή λειτουργία. Επίσης, απαιτούν διαλειτουργικότητα με διεθνή πρότυπα, όπως HL7<sup>20</sup>, FHIR<sup>21</sup> και DICOM<sup>22</sup>, καθώς και ηθική συμμόρφωση, ειδικά όταν ενσωματώνουν αλγοριθμικές μεθόδους, όπως μοντέλα Μηχανικής Μάθησης ή βασισμένα σε κανόνες συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Clinical Decision Support

---

<sup>20</sup> <https://www.hl7.org/>

<sup>21</sup> <https://hl7.org/fhir/>

<sup>22</sup> <https://www.dicomstandard.org/>

Systems), οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την κλινική φροντίδα, να δημιουργήσουν κινδύνους προκατάληψης (bias) ή να απαιτούν διαφάνεια και ερμηνευσιμότητα.

Τα συστήματα αυτά διαχειρίζονται ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα, απαιτούν υψηλά επίπεδα ασφάλειας και πρέπει να συμμορφώνονται με αυστηρά πρότυπα και κανονισμούς (GDPR, HIPAA, ISO 13485).

### 2.3.3 Ιδιαιτερότητες και Προκλήσεις

Οι ιατρικές εφαρμογές ιστού διαφέρουν ουσιαστικά από τις γενικές εφαρμογές ιστού, καθώς καλούνται να λειτουργήσουν σε περιβάλλοντα όπου η ασφάλεια, η αξιοπιστία, η διαθεσιμότητα και η συμμόρφωση δεν αποτελούν απλές επιθυμητές ιδιότητες, αλλά κρίσιμες απαιτήσεις που επηρεάζουν άμεσα την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών. Οι βασικές ιδιαιτερότητες και προκλήσεις των ιατρικών εφαρμογών ιστού συνοψίζονται ως εξής:

- *Αυστηρή κανονιστική συμμόρφωση (π.χ. HL7, FHIR, DICOM):*

Οι ιατρικές εφαρμογές πρέπει να συμμορφώνονται με ένα πλήθος τεχνικών και νομικών προτύπων. Τα πρότυπα HL7 και FHIR καθορίζουν τον τρόπο δομημένης ανταλλαγής και αναπαράστασης κλινικών δεδομένων μεταξύ ετερογενών συστημάτων. Το DICOM, αντίστοιχα, αποτελεί διεθνές πρότυπο για τη μορφοποίηση, αποθήκευση, μετάδοση και διαχείριση διαγνωστικών ιατρικών εικόνων, καθώς και των σχετικών μεταδεδομένων και ροών εργασίας. Παράλληλα, η συμμόρφωση με νομικά και ρυθμιστικά πλαίσια όπως GDPR, HIPAA, ISO 13485<sup>23</sup> και IEC 62304<sup>24</sup> αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη νόμιμη λειτουργία των συστημάτων υγείας. Οι απαιτήσεις αυτές αυξάνουν σημαντικά την πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη δοκιμή του λογισμικού, επιβάλλοντας αυστηρούς μηχανισμούς ασφάλειας, διαχείρισης κινδύνου και καταγραφής ενεργειών. *Ανάγκη για υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία:*

Οι εφαρμογές υγείας συχνά υποστηρίζουν κρίσιμες κλινικές διαδικασίες. Ένα σύστημα EHR, τηλεϊατρικής ή CDSS δεν μπορεί να παρουσιάζει αστοχίες ή μη διαθεσιμότητα, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την παροχή φροντίδας ή να οδηγήσει σε εσφαλμένες αποφάσεις. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται αρχιτεκτονικές υψηλής διαθεσιμότητας (HA), μηχανισμοί ανάκαμψης από σφάλματα (fault tolerance),

---

<sup>23</sup> <https://www.iso.org/standard/59752.html>

<sup>24</sup> <https://www.iso.org/standard/38421.html>

αντίγραφα ασφαλείας σε πραγματικό χρόνο (real-time backups) και συστήματα συνεχούς παρακολούθησης (continuous monitoring systems). Η αξιοπιστία των λειτουργιών ελέγχεται μέσω εντατικών δοκιμών απόδοσης, αντοχής και σφάλματος (performance, stress και failover testing).

- *Ενυασησία δεδομένων (προστασία απορρήτου, ασφάλεια μετάδοσης, audit trails):*

Τα δεδομένα υγείας θεωρούνται από τα πιο ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα. Οι εφαρμογές ιστού πρέπει να διασφαλίζουν εμπιστευτικότητα, ακεραιότητα και διαθεσιμότητα (δηλ. τη γνωστή τριάδα με ακρωνύμιο CIA) μέσω μηχανισμών όπως κρυπτογράφηση σε μεταφορά και αποθήκευση, αυθεντικοποίηση πολλαπλών παραγόντων (Multi-Factor Authentication – MFA) και αυστηρά δικαιώματα πρόσβασης ανά ρόλο. Επιπλέον, πρέπει να διατηρούν πλήρη audit trails ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος χρήσης και πρόσβασης, κάτι που αποτελεί νομική απαίτηση σε πολλές δικαιοδοσίες. Η δοκιμή ασφάλειας σε αυτά τα συστήματα περιλαμβάνει penetration testing (δοκιμή διείσδυσης), vulnerability scanning (ανίχνευση τρωτοτήτων) και αξιολόγηση συμμόρφωσης με πολιτικές ασφάλειας.

- *Διαλειτουργικότητα μεταξύ συστημάτων και οργανισμών υγείας:*

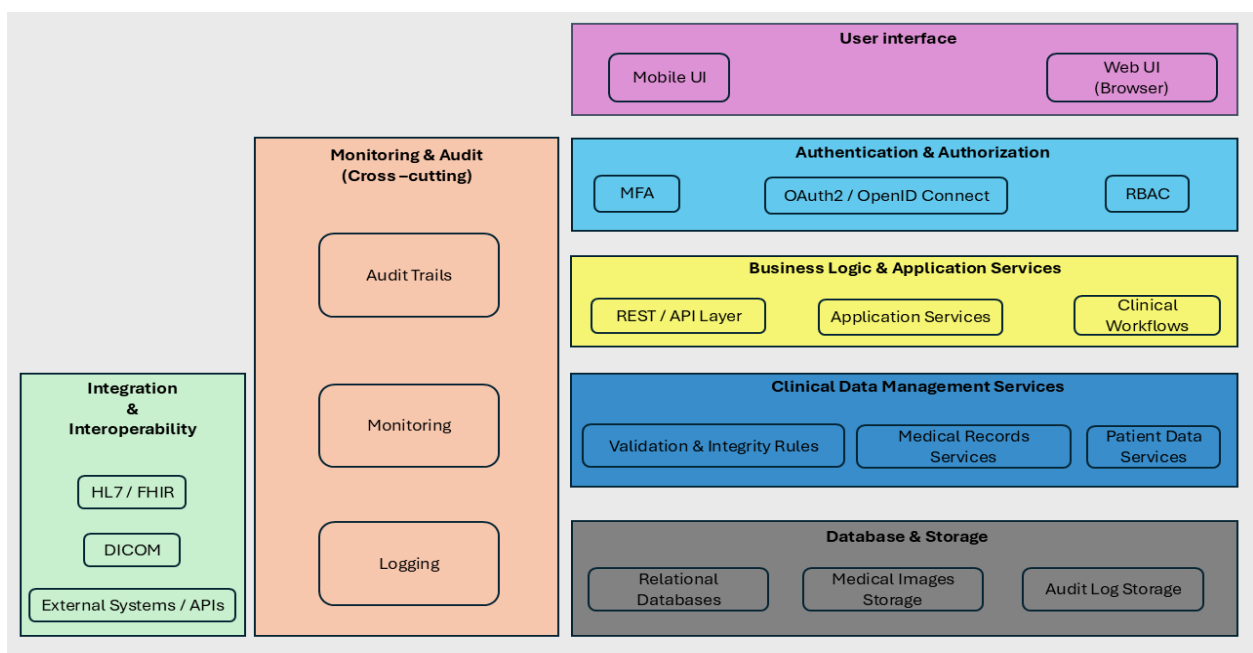
Τα συστήματα υγείας λειτουργούν συνήθως σε ένα οικοσύστημα με πολλούς διαφορετικούς φορείς (νοσοκομεία, διαγνωστικά κέντρα, φαρμακεία, ασφαλιστικά ταμεία). Οι ιατρικές εφαρμογές πρέπει να ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλα συστήματα με αποτελεσματικό, ασφαλή και διαλειτουργικό τρόπο. Αυτό απαιτεί υποστήριξη πρωτοκόλλων, όπως FHIR APIs, HL7 messaging, DICOM web services, καθώς και συχνά προσωποποιημένα στρώματα ενοποίησης (custom integration layers). Η διαλειτουργικότητα αποτελεί σημαντική πρόκληση, καθώς χρειάζεται εκτεταμένη δοκιμή ολοκλήρωσης (integration testing) και δοκιμή συμμόρφωσης με πρότυπα.

Οι ιατρικές εφαρμογές ιστού πρέπει να λειτουργούν αδιάλειπτα, ακόμη και υπό συνθήκες υψηλού φόρτου, αυξημένης ζήτησης ή μερικής αστοχίας υποσυστημάτων. Η ανθεκτικότητα (resilience) απαιτεί τεχνικές όπως πλεονασμός (redundancy), εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) και ομαλή υποβάθμιση λειτουργίας (graceful degradation). Για την αξιολόγηση αυτών των ιδιοτήτων εφαρμόζονται εξειδικευμένες δοκιμές, όπως δοκιμές ανοχής σε σφάλματα (fault-tolerance testing), δοκιμές ανάκαμψης και μεταγωγής (failover και recovery testing), δοκιμές φόρτου και υπερφόρτωσης (load και stress testing), καθώς και (όπου αυτό είναι εφικτό) δοκιμές τυχαίων αστοχιών (chaos testing).

Παράλληλα, η επεκτασιμότητα περιλαμβάνει τόσο την κλιμακωσιμότητα (scalability), δηλαδή την ικανότητα διαχείρισης μεγαλύτερου φόρτου, όσο και την επεκτασιμότητα ως δυνατότητα προσθήκης νέων λειτουργιών (extensibility) χωρίς διακοπή ή αλλοίωση της υπάρχουσας λειτουργικότητας. Αυτές οι ιδιότητες αξιολογούνται μέσω δοκιμών απόδοσης (performance testing), δοκιμών κλιμακωσιμότητας (scalability testing) και δοκιμών παλινδρόμησης (regression testing) για τη διασφάλιση συμβατότητας με τις νέες αλλαγές. Συνολικά, οι παραπάνω ιδιαιτερότητες καθιστούν τις ιατρικές εφαρμογές ιστού ένα από τα πιο απαιτητικά πεδία ανάπτυξης λογισμικού, όπου η δοκιμή και η διασφάλιση ποιότητας απαιτούν εξειδικευμένες μεθοδολογίες και εργαλεία, καθώς και αυστηρή συμμόρφωση με πρότυπα, κανονισμούς και βέλτιστες πρακτικές.

#### 2.3.4 Κοινή Αρχιτεκτονική Ιατρικών Εφαρμογών Ιστού

Οι ιατρικές εφαρμογές ιστού μπορούν να ακολουθήσουν διαφορετικές αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις, ανάλογα με το είδος τους, τον σκοπό τους, τις λειτουργικές ανάγκες και τις κανονιστικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιήσουν. Παρόλα αυτά, παρά τις διαφοροποιήσεις αυτές, είναι δυνατό να αναγνωριστεί μια βασική και συχνά πολυ-στρωματική (multi-layered) αρχιτεκτονική δομή, η οποία αποτελείται από κοινά συστατικά που εμφανίζονται στις περισσότερες εφαρμογές υγείας. Η γενική αυτή πολύ-στρωματική δομή αποτυπώνεται στο Σχήμα 2, όπου παρουσιάζονται τα βασικά επίπεδα μιας ιατρικής εφαρμογής ιστού.



Σχήμα 2: Πολυ-στρωματική δομή ιατρικών εφαρμογών ιστού

Η πολυ-στρωματικότητα είναι χαρακτηριστικό των σύγχρονων, εξελιγμένων web εφαρμογών, καθώς επιτρέπει τον σαφή διαχωρισμό ευθυνών, την ενίσχυση της ασφάλειας και την ευκολότερη επέκταση και συντήρηση.

Τα κοινά αυτά συστατικά συνθέτουν ένα ενιαίο πλαίσιο λειτουργίας, πάνω στο οποίο μπορούν να προστεθούν εξειδικευμένες λειτουργίες. Τα συστατικά αυτά είναι τα εξής:

- *Διεπαφή Χρήστη (User Interface-UI):*

Η διεπαφή χρήστη αποτελεί το σημείο αλληλεπίδρασης της εφαρμογής με τους χρήστες της. Αν και συχνά δίνεται έμφαση στη χρηστικότητα για το ιατρικό προσωπικό (π.χ. γιατρούς, νοσηλευτές, διοικητικούς υπαλλήλους), η διεπαφή μπορεί να απευθύνεται και σε άλλους τύπους χρηστών, όπως ασθενείς, φροντιστές, τεχνικό προσωπικό ή φορείς ασφαλιστικών οργανισμών. Η διεπαφή χρήστη πρέπει να είναι προσβάσιμη, σαφής, εύχρηστη υπό πίεση χρόνου και να μειώνει τον κίνδυνο σφαλμάτων, στοιχεία ιδιαίτερης σημασίας σε κλινικά περιβάλλοντα.

- *Αυθεντικοποίηση & Εξουσιοδότηση:*

Το επίπεδο αυτό διαχειρίζεται την ασφαλή πρόσβαση χρηστών, εξασφαλίζοντας ότι κάθε χρήστης διαθέτει δικαιώματα αντίστοιχα με τον ρόλο του, στο πλαίσιο Role-Based Access Control (RBAC) (Έλεγχος Πρόσβασης Βάσει Ρόλων). Η αυθεντικοποίηση (authentication) επιβεβαιώνει την ταυτότητα του χρήστη και μπορεί να υλοποιείται μέσω κωδικών πρόσβασης, πιστοποίησης δύο παραγόντων (2FA), πρωτοκόλλων όπως OAuth2 (εξουσιοδότηση μέσω εξωτερικών υπηρεσιών), SAML (ανταλλαγή στοιχείων ταυτότητας μεταξύ συστημάτων) και OpenID Connect (σύγχρονο πρωτόκολλο ταυτοποίησης), καθώς και μέσω βιομετρικών μεθόδων, όταν απαιτείται αυξημένο επίπεδο ασφάλειας (στο πλαίσιο 2FA ή MFA). Από την άλλη, η εξουσιοδότηση (authorization) καθορίζει τις ενέργειες που επιτρέπεται να εκτελεί κάθε χρήστης μέσα στο σύστημα, ορίζοντας τα δικαιώματα πρόσβασης σε δεδομένα και λειτουργίες και μειώνοντας τον κίνδυνο μη εξουσιοδοτημένης χρήσης (τους).

- *Επίπεδο Επιχειρησιακής Λογικής (Business Logic / Application Services Layer):*

Το επίπεδο αυτό αποτελεί τον πυρήνα της εφαρμογής και υλοποιεί τους βασικούς κανόνες λειτουργίας και τις επιχειρησιακές διαδικασίες του συστήματος. Περιλαμβάνει τις υπηρεσίες και τα APIs που καταναλώνονται από τη διεπαφή χρήστη ή από άλλες εφαρμογές, εξασφαλίζοντας ότι η πρόσβαση στα δεδομένα πραγματοποιείται με τρόπο

ελεγχόμενο και ασφαλές. Επιπλέον, εφαρμόζει κανόνες εγκυρότητας, διαχείρισης ροών εργασίας (clinical workflows), λογική επεξεργασίας αιτημάτων και μηχανισμούς συντονισμού μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών. Αποτελεί διακριτό στρώμα μεταξύ της διεπαφής χρήστη και των υπηρεσιών διαχείρισης κλινικών δεδομένων, διευκολύνοντας την επεκτασιμότητα, τη συντηρησιμότητα και τη δομημένη ανάπτυξη της εφαρμογής.

- *Υπηρεσίες Διαχείρισης Κλινικών Δεδομένων (Clinical Data Management Services):*  
Αποτελούν το επίπεδο υπηρεσιών που χειρίζεται τα κλινικά δεδομένα (την αποθήκευση, ανάκτηση, ενημέρωση, επεξεργασία και διαχείριση των ιατρικών πληροφοριών). Το επίπεδο αυτό λειτουργεί ως ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ της κεντρικής υποδομής δεδομένων και των επιχειρησιακών λειτουργιών που υλοποιούνται στο επίπεδο της επιχειρησιακής λογικής. Μπορεί να περιλαμβάνει APIs για πρόσβαση σε δεδομένα ασθενών, δημογραφικά στοιχεία, αποτελέσματα εξετάσεων, εικόνες, καθώς και υπηρεσίες για κλινικούς κανόνες ή έλεγχο ακεραιότητας.
- *Επίπεδο Ολοκλήρωσης (Integration Layer):*  
Το επίπεδο ολοκλήρωσης επιτρέπει την επικοινωνία με άλλα συστήματα και οργανισμούς υγείας. Η ολοκλήρωση πραγματοποιείται συνήθως μέσω προτύπων όπως HL7 (Health Level 7), ένα διεθνές πρότυπο για τη δομημένη ανταλλαγή κλινικών δεδομένων, ή FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), το οποίο παρέχει σύγχρονες RESTful διεπαφές για διαλειτουργικότητα. Αυτά τα πρότυπα εξασφαλίζουν ότι τα συστήματα μπορούν να μοιράζονται αξιόπιστα και με συνέπεια ιατρικές πληροφορίες.
- *Βάση Δεδομένων & Υποδομή Αποθήκευσης (Database & Storage):*  
Το στρώμα αυτό αφορά την υποκείμενη υποδομή αποθήκευσης δεδομένων, όπου διατηρούνται τα ιατρικά αρχεία, οι ιατρικές εικόνες, τα αρχεία καταγραφής και άλλες κρίσιμες πληροφορίες. Σε αντίθεση με το επίπεδο Υπηρεσιών Διαχείρισης Κλινικών Δεδομένων (Clinical Data Management), το οποίο παρέχει λειτουργίες διαχείρισης, επεξεργασίας και πρόσβασης στα δεδομένα, το Database & Storage αποτελεί το βαθύτερο στρώμα της υποδομής (infrastructure layer), υπεύθυνο για τη φυσική και λογική αποθήκευση και την αξιοπιστία των δεδομένων.  
Σε πολλές αρχιτεκτονικές συστημάτων υγείας αυτά τα δύο στρώματα (δηλ. το τρέχον και το επίπεδο Διαχείρισης Κλινικών Δεδομένων) λειτουργούν ως διακριτές οντότητες, ενώ σε άλλες περιπτώσεις ενοποιούνται σε ένα ενιαίο, σύνθετο συστατικό, ειδικά όταν

χρησιμοποιούνται πλατφόρμες που συνδυάζουν υπηρεσίες backend και βάσης δεδομένων σε μία λύση (π.χ. FHIR servers που ενσωματώνουν τους δικούς τους database engines).

- *Παρακολούθηση, Καταγραφή, Αναφορά (Monitoring, Logging & Reporting):*

Το επίπεδο παρακολούθησης και καταγραφής διασφαλίζει ότι το σύστημα λειτουργεί ομαλά, επιτρέπει την ανίχνευση ανωμαλιών και υποστηρίζει την ιχνηλασιμότητα μέσω λεπτομερών αρχείων καταγραφής (audit logs). Σε περιβάλλοντα υγείας η ιχνηλασιμότητα δεν είναι μόνο τεχνική ανάγκη, αλλά και νομική απαίτηση (π.χ. GDPR). Σε αρκετές εφαρμογές το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει και μηχανισμούς παραγωγής αναφορών, είτε για κλινικούς σκοπούς, είτε για διοικητική παρακολούθηση, είτε για συμμόρφωση με κανονισμούς. Σε άλλες περιπτώσεις, η λειτουργία παραγωγής αναφορών (reporting) ενσωματώνεται στην επιχειρησιακή λογική ή σε εξειδικευμένα Συστήματα Επιχειρηματικής Ευφυΐας (Business Intelligence) συστήματα, ανάλογα με τον σχεδιασμό.

Ως συμπέρασμα, θα μπορούσαμε να αποφανθούμε ότι η δοκιμή και η διασφάλιση ποιότητας αποτελούν αλληλοσυμπληρούμενες δραστηριότητες που είναι κρίσιμες για την ανάπτυξη ασφαλών, αξιόπιστων και αποτελεσματικών ιατρικών εφαρμογών ιστού. Η κατανόηση του θεωρητικού υποβάθρου των διαδικασιών αυτών είναι απαραίτητη για την επισκόπηση που ακολουθεί, καθώς επιτρέπει την αναγνώριση των προσεγγίσεων που έχουν αναπτυχθεί, των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους, καθώς και των σημείων στα οποία εντοπίζονται σημαντικά ερευνητικά κενά.

### 3. Μεθοδολογία Επισκόπησης

Το τρέχον κεφάλαιο παρουσιάζει τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη συστηματική επισκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με τις προσεγγίσεις δοκιμής και διασφάλισης ποιότητας ιατρικών εφαρμογών ιστού. Η διεξαγωγή μιας Συστηματικής Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης (Systematic Literature Review – SLR) απαιτεί μια δομημένη, τεκμηριωμένη και επαναλήψιμη διαδικασία, η οποία εξασφαλίζει ότι τα ευρήματα της εργασίας βασίζονται σε σαφώς ορισμένα ερευνητικά ερωτήματα, αντικειμενικά κριτήρια επιλογής και διαφανή μεθοδολογικά βήματα. Για τον λόγο αυτό, η εργασία υιοθετεί το πλαίσιο που προτείνεται από τους Kitchenham & Charters (2007) για SLRs στη μηχανική λογισμικού, διασφαλίζοντας υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας και εγκυρότητας στην ανάλυση των πηγών.

Το κεφάλαιο οργανώνεται με τρόπο που αντικατοπτρίζει τα βασικά στάδια αυτής της μεθοδολογίας: αρχικά ορίζονται ο σκοπός της επισκόπησης και τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδηγούν την αναζήτηση. Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά η διαδικασία αναζήτησης, τα κριτήρια επιλογής, απόρριψης και ποιότητας των πηγών, καθώς και τα βήματα φιλτραρίσματος που οδήγησαν στην τελική λίστα των επιλεγμένων άρθρων. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι περιορισμοί που ενδέχεται να επηρεάσουν την ερμηνεία ή τη γενίκευση των αποτελεσμάτων και τέλος η κατανομή των επιλεγμένων άρθρων. Με αυτόν τον τρόπο, το κεφάλαιο θέτει το μεθοδολογικό υπόβαθρο που επιτρέπει η ανάλυση των επόμενων κεφαλαίων να είναι συστηματική, τεκμηριωμένη και ελέγξιμη.

#### 3.1 Σκοπός της Επισκόπησης και Ερευνητικά Ερωτήματα

Η παρούσα επισκόπηση έχει ως κύριο σκοπό τη συστηματική διερεύνηση και ανάλυση των μεθόδων, τεχνικών και προσεγγίσεων που εφαρμόζονται στη δοκιμή και διασφάλιση ποιότητας ιατρικών εφαρμογών ιστού. Με βάση τη μεθοδολογία Systematic Literature Review (SLR) των Kitchenham & Charters (2007), η επισκόπηση αποσκοπεί στον εντοπισμό, την ταξινόμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση των σχετικών δημοσιεύσεων, καθώς και στην ανάδειξη υφιστάμενων προκλήσεων και ερευνητικών κενών. Η ανασκόπηση καλύπτει τόσο πρωτογενείς μελέτες και εννοιολογικές προτάσεις, που προτείνουν ή εφαρμόζουν συγκεκριμένες τεχνικές, όσο και δευτερογενείς μελέτες που συνθέτουν την υπάρχουσα γνώση. Οι δύο κατηγορίες αξιοποιούνται διαφορετικά: οι πρώτες τροφοδοτούν την ανάλυση και τη συγκριτική αξιολόγηση των προσεγγίσεων, ενώ οι δευτερογενείς συνεισφέρουν στη σύνθεση γνώσης, στην επιβεβαίωση τάσεων και στον εντοπισμό ερευνητικών κενών.

Στο πλαίσιο αυτό, τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα που καθοδηγούν την επισκόπηση είναι τα εξής:

1. Ποιες προσεγγίσεις και τεχνικές χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή ιατρικών εφαρμογών ιστού;
2. Ποιες προσεγγίσεις και τεχνικές εφαρμόζονται για τη διασφάλιση ποιότητας των ιατρικών εφαρμογών ιστού;
3. Πώς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν οι παραπάνω προσεγγίσεις βάσει διαστάσεων όπως το είδος της δραστηριότητας, ο τύπος της ιατρικής εφαρμογής, το είδος της μελέτης και η εστίαση σε ιδιότητες ποιότητας (π.χ. ασφάλεια, αξιοπιστία);
4. Ποια εργαλεία ή μεθοδολογίες αναδεικνύονται ως πιο αποτελεσματικά και με βάση ποια κριτήρια αξιολόγησης;
5. Ποιες προκλήσεις και ποια ερευνητικά κενά προκύπτουν από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, και ποιες κατευθύνσεις προτείνονται για μελλοντική έρευνα;

Τα ερωτήματα αυτά διαμορφώνουν το πλαίσιο της επισκόπησης και απαντώνται στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας: Τα ερωτήματα 1–4 εξετάζονται στο Κεφάλαιο 4 (Ανάλυση Προσεγγίσεων Δοκιμής & Διασφάλισης Ποιότητας Ιατρικών Εφαρμογών Ιστού). Το ερώτημα 5 εξετάζεται στο Κεφάλαιο 6 (Ερευνητικά Κενά & Κατευθύνσεις). Στα ερωτήματα 1–3 συνεισφέρει το σύνολο των μελετών, καθώς και οι δευτερογενείς ανασκοπήσεις τεκμηριώνουν ποιες προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται και πώς κατηγοριοποιούνται. Το ερώτημα 4 απαντάται αποκλειστικά από τις πρωτογενείς μελέτες και τις εννοιολογικές προτάσεις, αφού μόνο αυτές προτείνουν ή εφαρμόζουν τεχνικές που επιδέχονται συγκριτική αξιολόγηση, ενώ στο ερώτημα 5 συνεισφέρουν και τα δύο είδη, με τις δευτερογενείς να προσφέρουν συμπυκνωμένη εικόνα των κενών που έχει ήδη καταγράψει η βιβλιογραφία.

### 3.2 Διαδικασία Αναζήτησης

Η αναζήτηση των άρθρων πραγματοποιήθηκε σε πέντε έγκριτες βάσεις επιστημονικών δεδομένων, οι οποίες επιλέχθηκαν με βάση τη θεματική τους συνάφεια και την αξιοπιστία των δημοσιεύσεών τους:

| Βάση Δεδομένων           | Περιγραφή                                                                                                               | Λόγος Επιλογής στη Μεθοδολογία Αναζήτησης                                                                                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Google Scholar           | Πολυθεματική μηχανή αναζήτησης με πολύ μεγάλη κάλυψη επιστημονικών πηγών από διάφορους εκδότες.                         | Χρησιμοποιήθηκε για ευρεία χαρτογράφηση της βιβλιογραφίας και διασταύρωση αποτελεσμάτων από τις εξειδικευμένες βάσεις.                              |
| IEEE Xplore              | Εξειδικευμένη βάση στο πεδίο της μηχανικής λογισμικού, συστημάτων και τεχνολογιών πληροφορικής.                         | Επιλέχθηκε για στοχευμένη αναζήτηση σε θέματα software testing, software quality (assurance), safety-critical systems και αρχιτεκτονικών εφαρμογών. |
| ScienceDirect (Elsevier) | Μεγάλη συλλογή άρθρων στους τομείς της πληροφορικής, των τεχνολογιών ιστού και των πληροφοριακών συστημάτων υγείας.     | Χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη του τεχνολογικού και ταυτόχρονα υγειονομικού σκέλους (healthcare IT, eHealth, medical web applications).             |
| SpringerLink             | Βάση δημοσιεύσεων υψηλής ποιότητας σε μηχανική λογισμικού, λογισμικό υγείας και τεχνολογικά συστήματα eHealth.          | Επιλέχθηκε για συμπληρωματική κάλυψη άρθρων με έμφαση σε Testing, SQA, IoT healthcare και αρχιτεκτονικές λύσεις υγείας.                             |
| PubMed / PMC             | Εξειδικευμένη βάση για βιοϊατρικές και κλινικές εφαρμογές, περιλαμβάνει τεχνολογίες eHealth και συστήματα τηλεϊατρικής. | Εντάχθηκε στη μεθοδολογία λόγω της σχετικότητας με εφαρμογές υγείας και των απαιτήσεων αξιολόγησης/ασφάλειας πληροφοριακών συστημάτων.              |

Εν γένει, μπορεί να ειπωθεί πως η επιλογή των πηγών έγινε έτσι ώστε να καλύπτουν τόσο το τεχνολογικό πεδίο (testing frameworks, QA models) όσο και το ιατρικό (healthcare, telemedicine, EHR).

Στο πλαίσιο της διαδικασίας SLR, ορίστηκε ένα σύνολο λέξεων-κλειδιών και λογικών μοτίβων αναζήτησης (search strings), ώστε να διασφαλιστεί ότι η αναζήτηση ήταν συστηματική, επαναλήψιμη και πλήρης. Οι λέξεις-κλειδιά επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν:

- το αντικείμενο της δοκιμής λογισμικού,
- το αντικείμενο της διασφάλισης ποιότητας,
- το πλαίσιο των ιατρικών εφαρμογών ιστού,
- ειδικά πρότυπα ή όρους της υγειονομικής πληροφορικής.

Οι βασικές ομάδες λέξεων-κλειδιών ήταν:

- “software testing”, “web application testing”, “software test automation”, “non-functional testing”, “security testing”, “performance testing” (Κάλυψη αντικειμένου δοκιμής λογισμικού)
- “software quality assurance”, “SQA”, “quality models”, “verification and validation”, “V&V” (Κάλυψη αντικειμένου διασφάλισης ποιότητας)
- “medical web applications”, “healthcare web systems”, “eHealth applications”, “telemedicine systems”, “clinical information systems” (Κάλυψη πλαισίου ιατρικών εφαρμογών ιστού)
- “FHIR”, “HL7”, “healthcare interoperability”, “medical device software” (Κάλυψη ειδικών προτύπων/όρων της υγειονομικής πληροφορικής)

Το γενικό μοτίβο αναζήτησης που προέκυψε από τις παραπάνω ομάδες λέξεων-κλειδιών μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

(Όροι σχετικοί με δοκιμή λογισμικού OR όροι σχετικοί με διασφάλιση ποιότητας) AND (Όροι σχετικοί με ιατρικές εφαρμογές ιστού / συστήματα υγείας) [AND προαιρετικά: (Ειδικά πρότυπα ή τεχνικοί όροι υγειονομικής πληροφορικής)]

Σε βάσεις όπως PubMed/PMC, οι όροι προσαρμόστηκαν ώστε να ευθυγραμμίζονται με τη δομή και τη θεματική κατηγοριοποίηση της κάθε πλατφόρμας. Οι όροι που σχετίζονται με την δοκιμή και τη διασφάλιση ποιότητας λογισμικού που επιλέχθηκαν επειδή αποτελούν τον πυρήνα του υπό εξέταση αντικειμένου. Αντίστοιχα, οι όροι που αφορούν τις medical/healthcare web applications κρίθηκαν απαραίτητοι, ώστε τα αποτελέσματα να περιοριστούν αποκλειστικά στο πλαίσιο της υγείας και να αποφευχθεί η ανάκτηση εργασιών που αφορούν γενικές web εφαρμογές. Επιπλέον, οι όροι που σχετίζονται με την διαλειτουργικότητα και τα πρότυπα FHIR/HL7 συμπεριλήφθηκαν, καθώς μεγάλο μέρος των απαιτήσεων ποιότητας στις ιατρικές εφαρμογές αφορά συμμόρφωση και διαλειτουργικότητα. Τέλος, όροι όπως “security”, “performance” και “non-functional testing” χρησιμοποιήθηκαν, επειδή οι μη λειτουργικές απαιτήσεις είναι ιδιαίτερα κρίσιμες στον χώρο της υγείας.

### 3.3 Κριτήρια Αποδοχής, Αποκλεισμού και Ποιότητας

Στο πλαίσιο μιας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης, τα κριτήρια αξιολόγησης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές των Kitchenham & Charters (2007):

- κριτήρια αποδοχής (inclusion criteria),
- κριτήρια αποκλεισμού (exclusion criteria),
- κριτήρια ποιότητας (quality assessment criteria).

Τα κριτήρια αποδοχής και αποκλεισμού βασίζονται στα μεταδεδομένα κάθε δημοσίευσης (τύπος, έκδοση, πεδίο, γλώσσα κ.λπ.), ενώ τα κριτήρια ποιότητας αξιολογούν το περιεχόμενο των μελετών που έχουν ήδη γίνει αποδεκτές.

Παρακάτω παραθέτουμε τα βασικά κριτήρια αποδοχής που εφαρμόστηκαν.

1. *Είδος δημοσίευσης (peer-reviewed white literature)*. Γίνονται αποδεκτά μόνο άρθρα που έχουν αξιολογηθεί από ομότιμους και έχουν δημοσιευθεί σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά, διεθνή συνέδρια ή επίσημα peer-reviewed workshops. Ο σκοπός εδώ είναι η διασφάλιση ποιότητας και αξιοπιστίας της βιβλιογραφίας καθώς και η αποφυγή grey/yellow βιβλιογραφίας (π.χ. blogs ή μη αξιολογημένες τεχνικές αναφορές).
2. *Θεματική συνάφεια με τη δοκιμή ή/και τη διασφάλιση ποιότητας λογισμικού*. Η δημοσίευση πρέπει να παρουσιάζει σαφή θεματική σύνδεση με το αντικείμενο της δοκιμής λογισμικού ή/και της διασφάλισης ποιότητας και να ικανοποιεί τουλάχιστον μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις:
  - να περιγράφει μεθόδους, τεχνικές, εργαλεία ή προσεγγίσεις δοκιμής λογισμικού,
  - να παρουσιάζει μεθοδολογίες ή προσεγγίσεις διασφάλισης ποιότητας λογισμικού.
3. *Εστίαση σε ιατρικές εφαρμογές ιστού ή συστήματα υγείας (υποχρεωτικό κριτήριο)*. Η δημοσίευση πρέπει να εστιάζει σε ιατρικές εφαρμογές ιστού, eHealth ή γενικότερα σε πληροφοριακά συστήματα υγείας με web-based αρχιτεκτονική και αντίστοιχη λειτουργικότητα. Το κριτήριο αυτό θεωρείται βασική και απαραίτητη προϋπόθεση

ένταξης, ώστε να διασφαλίζεται ότι όλα τα επιλεγμένα άρθρα εμπίπτουν σαφώς στο πεδίο των ιατρικών εφαρμογών ιστού.

*Η συνολική συνάφεια* (με βάση δηλαδή το τρέχον και το προηγούμενο κριτήριο) κρίνεται με βάση τη συμβολή της δημοσίευσης στην κατανόηση των πρακτικών δοκιμής και διασφάλισης ποιότητας σε web-based συστήματα υγείας.

4. *Πλήρης διαθεσιμότητα κειμένου*. Εντάσσονται μόνο άρθρα με διαθέσιμο πλήρες κείμενο, καθώς αυτό απαιτείται για την αξιολόγηση της μεθοδολογίας, των αποτελεσμάτων και των περιορισμών τους.
5. *Έτος δημοσίευσης (2014–2025)*. Επιλέγονται δημοσιεύσεις από το 2014 και μετά, καθώς μετά το 2014 παρατηρείται σημαντική αύξηση:
  - στη χρήση web τεχνολογιών σε συστήματα υγείας,
  - στην εφαρμογή σύγχρονων αρχιτεκτονικών λογισμικού (API-based, FHIR, microservices),
  - στην υιοθέτηση εξελιγμένων πρακτικών δοκιμής και διασφάλισης ποιότητας (CI/CD, test automation frameworks).
6. *Γλώσσα δημοσίευσης*. Γίνονται αποδεκτά μόνο άρθρα γραμμένα στην αγγλική γλώσσα, η οποία αποτελεί τη γλώσσα της διεθνούς επιστημονικής και τεχνικής κοινότητας.

Τα κριτήρια αποκλεισμού εφαρμόζονται μετά τα κριτήρια αποδοχής, με σκοπό να απομακρυνθούν δημοσιεύσεις που, παρότι πληρούν τις βασικές προϋποθέσεις ένταξης, δεν είναι αξιολογήσιμες ή κατάλληλες για ποιοτική ανάλυση. Στο πλαίσιο της παρούσας επισκόπησης εφαρμόστηκε ένα επιπλέον κριτήριο αποκλεισμού: *Άρθρα ανεπαρκούς μεγέθους ή πληρότητας (π.χ. abstract-only)*. Απορρίπτονται δημοσιεύσεις στις οποίες δεν είναι διαθέσιμο πλήρες κείμενο ή το περιεχόμενο είναι ανεπαρκές για αξιολόγηση, καθώς δεν επιτρέπεται η ανάλυση της μεθοδολογίας, των αποτελεσμάτων και των περιορισμών της συνεισφοράς τους.

Εφόσον ένα άρθρο γίνει αποδεκτό βάσει των μεταδεδομένων του, αξιολογείται η ποιότητά του με βάση το περιεχόμενό του αξιολογώντας τα εξής ποιοτικά κριτήρια:

1. *Μεθοδολογική τεκμηρίωση:*

Πρέπει να υπάρχει σαφής αναλυτική περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου/προσέγγισης/τεχνικής/εργαλείου δοκιμής ή SQA, ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να αναπαραχθούν.

2. *Επαρκής τεχνική λεπτομέρεια:*

Αξιολογείται αν η μελέτη παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τεχνικές, εργαλεία, διαδικασίες και περιβάλλοντα δοκιμής.

3. *Συνάφεια εφαρμογής στον ιατρικό τομέα:*

Περιγράφεται πώς η μέθοδος εφαρμόζεται σε ιατρικά συστήματα ιστού (medical web systems), όχι απλώς σε γενικά λογισμικά.

4. *Ποιότητα και σαφήνεια αποτελεσμάτων:*

Εξετάζεται αν υπάρχουν μετρήσιμα αποτελέσματα ή αξιολογήσεις (performance metrics, error rates, reliability indicators, compliance checks).

5. *Αναφορά περιορισμών:*

Ένα ποιοτικό άρθρο πρέπει να αναφέρει ρητά τους περιορισμούς της μελέτης.

6. *Βαθμός κατανόησης του περιεχομένου:*

Εξετάζει αν το άρθρο είναι γραμμένο με σαφή και κατανοητό τρόπο, ώστε ο αναγνώστης να μπορεί εύκολα να κατανοήσει το αντικείμενο, τη μεθοδολογία και τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης.

### 3.4 Διαδικασία Φιλτραρίσματος και Επιλογής

Η διαδικασία αναζήτησης και επιλογής των άρθρων πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαδοχικές φάσεις, σύμφωνα με τις οδηγίες των Kitchenham & Charters για συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η αναζήτηση και συλλογή των δημοσιεύσεων από τις επιλεγμένες βάσεις δεδομένων, με αποτέλεσμα τον εντοπισμό 65 άρθρων. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε το πρώτο φιλτράρισμα βάσει μεταδεδομένων (τίτλος, περίληψη, τύπος δημοσίευσης, γλώσσα, έτος, διαθεσιμότητα πλήρους κειμένου), χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα κριτήρια αποδοχής και αποκλεισμού, με αποτέλεσμα την διατήρηση 35 άρθρων. Ακολούθησε δεύτερο φιλτράρισμα μέσω εξέτασης του πλήρους κειμένου, κατά το οποίο αξιολογήθηκε διεξοδικά η ουσιαστική εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων στο πεδίο των web-based ιατρικών συστημάτων, καθώς και η τεχνική τους επάρκεια, ενώ εφαρμόστηκαν ταυτόχρονα και τα κριτήρια ποιότητας (μεθοδολογική τεκμηρίωση, πληρότητα περιγραφών, σαφήνεια αποτελεσμάτων, αναφορά περιορισμών και βαθμός κατανόησης του περιεχομένου).

Η ενιαία αυτή διαδικασία αξιολόγησης οδήγησε στη εν τέλει διατήρηση είκοσι (20) δημοσιεύσεων. Μία από αυτές, η μελέτη των Sartaj et al. (2023), εντοπίστηκε σε δύο χώρους δημοσίευσης (arXiv και Springer) και αντιμετωπίστηκε ως διπλότυπη. Έτσι, το τελικό σύνολο ανάλυσης περιλαμβάνει δεκαεννέα (19) μοναδικές μελέτες.

### 3.5 Περιορισμοί Μεθοδολογίας

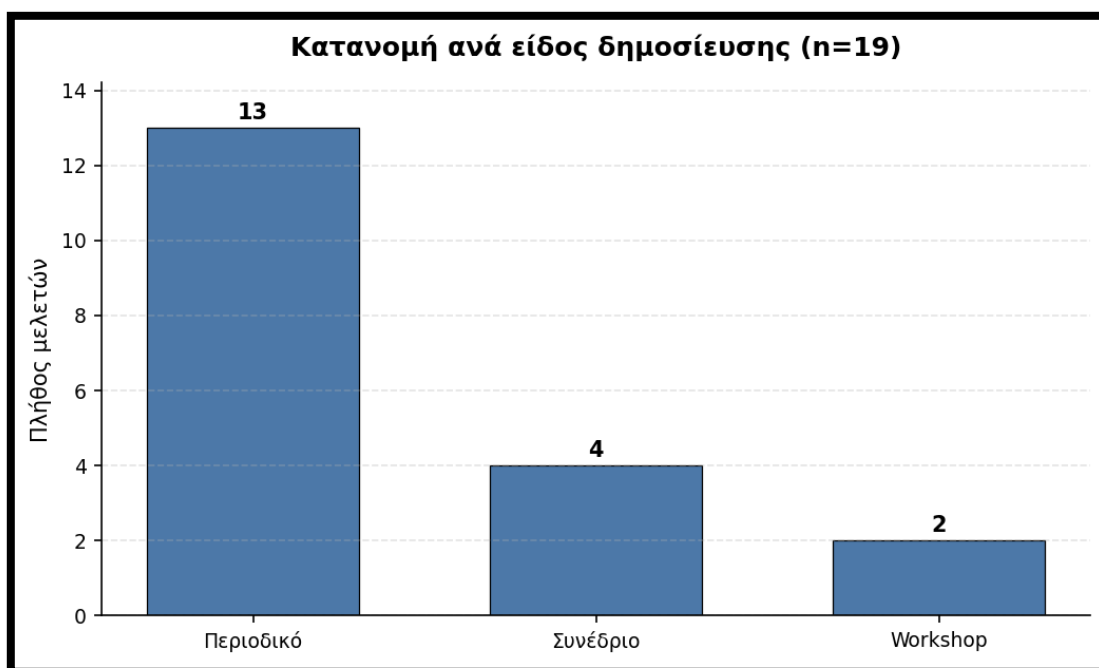
Παρότι η αναζήτηση ακολούθησε αυστηρή διαδικασία, αναγνωρίζονται οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- *Περιορισμένη υποκειμενικότητα σε περιπτώσεις οριακής συνάφειας:*  
Κατά τη διαδικασία επιλογής των μελετών, ορισμένες δημοσιεύσεις εξετάζουν ευρύτερα συστήματα eHealth ή γενικά τεχνικά ζητήματα, χωρίς σαφή και άμεση εστίαση στη δοκιμή λογισμικού ή στη διασφάλιση ποιότητας ιατρικών εφαρμογών ιστού. Στις περιπτώσεις αυτές, οι μελέτες δεν εντάχθηκαν στο τελικό σύνολο, καθώς η έμμεση μόνο συνάφεια με το αντικείμενο της παρούσας επισκόπησης κρίθηκε ανεπαρκής. Ως εκ τούτου, εντάχθηκαν αποκλειστικά δημοσιεύσεις με σαφή και τεκμηριωμένη συμβολή στις πρακτικές δοκιμής ή/και διασφάλισης ποιότητας σε web-based συστήματα υγείας. Παρότι εφαρμόστηκαν σαφή κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού, αναγνωρίζεται ότι η διάκριση μεταξύ άμεσης και οριακής συνάφειας μπορεί σε περιορισμένο βαθμό να εμπεριέχει στοιχείο ερμηνευτικής κρίσης.
- *Χρονικός περιορισμός (2014–2025):*  
Ο χρονικός περιορισμός μπορεί να έχει οδηγήσει στον αποκλεισμό παλαιότερων, αλλά ενδεχομένως θεμελιωδών μελετών, ιδιαίτερα αυτών που εισήγαγαν βασικές αρχές και τεχνικές στον χώρο του software testing ή του health informatics πριν το 2013. Επιπλέον, για το έτος 2025, η διαδικασία αναζήτησης πραγματοποιήθηκε πριν την ολοκλήρωση του ετήσιου κύκλου δημοσιεύσεων, γεγονός που σημαίνει ότι οι καταγραφές για το έτος αυτό δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα το συνολικό εύρος της ερευνητικής δραστηριότητας.
- *Περιορισμοί λόγω επιλογής βιβλιογραφικών βάσεων δεδομένων:* Παρότι επιλέχθηκαν οι πιο κατάλληλες και έγκριτες βάσεις (IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, PubMed/PMC και Google Scholar), κάθε βάση διαθέτει διαφορετικούς μηχανισμούς ευρετηρίασης, κάλυψης θεματικών πεδίων και ενημέρωσης περιεχομένου. Είναι πιθανό ορισμένες εξειδικευμένες ή πρόσφατα δημοσιευμένες εργασίες να μην είχαν ακόμη ευρετηριαστεί σε μία ή περισσότερες βάσεις κατά τη χρονική στιγμή της

αναζήτησης. Επομένως, παρότι η επιλογή των βάσεων θεωρείται επαρκής και αντιπροσωπευτική, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο παράλειψης ορισμένων μελετών που θα μπορούσαν να έχουν τεθεί υπό εξέταση.

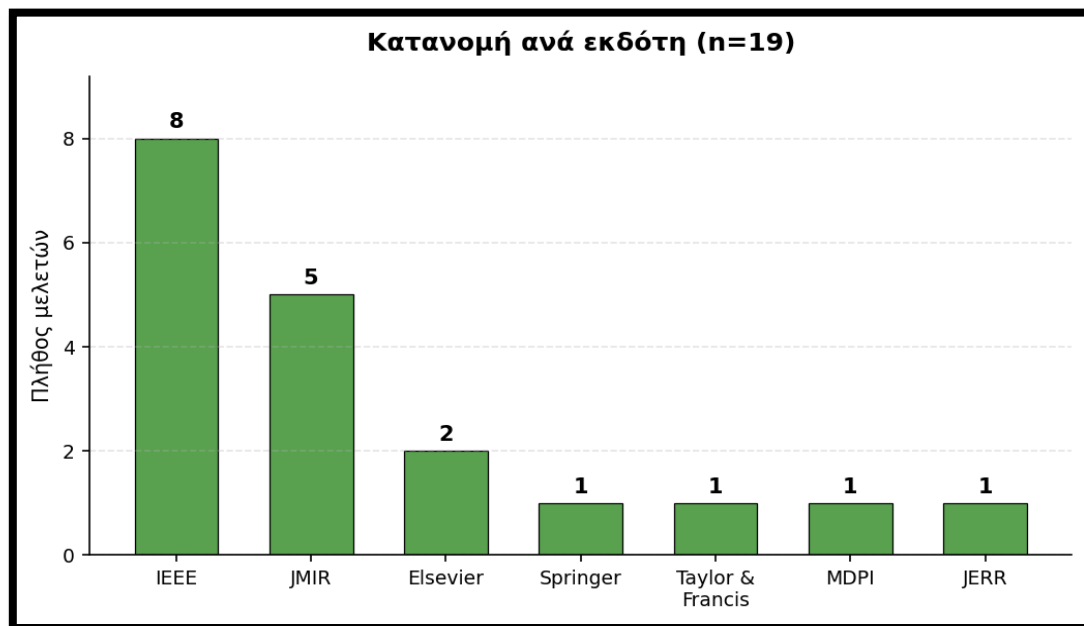
### 3.6 Κατανομή των Επιλεγμένων Άρθρων

Η παρουσίαση της κατανομής των επιλεγμένων άρθρων βοηθά στο να διαμορφωθεί μια πιο καθαρή εικόνα για το τι είδους δημοσιεύσεις περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία που εξετάστηκε. Μέσα από αυτή την ποσοτική απεικόνιση φαίνεται ποιοι εκδότες έχουν τη μεγαλύτερη παρουσία στο συγκεκριμένο πεδίο, ποια είναι η χρονική κατανομή των εργασιών, αλλά και τι είδους δημοσιεύσεις κυριαρχούν. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ευκολότερη η κατανόηση των βασικών τάσεων και της συνολικής ερευνητικής δραστηριότητας γύρω από τη δοκιμή λογισμικού σε ιατρικές και eHealth εφαρμογές, λειτουργώντας ως ένα χρήσιμο υπόβαθρο για την ανάλυση και τα ευρήματα που ακολουθούν στα επόμενα κεφάλαια.



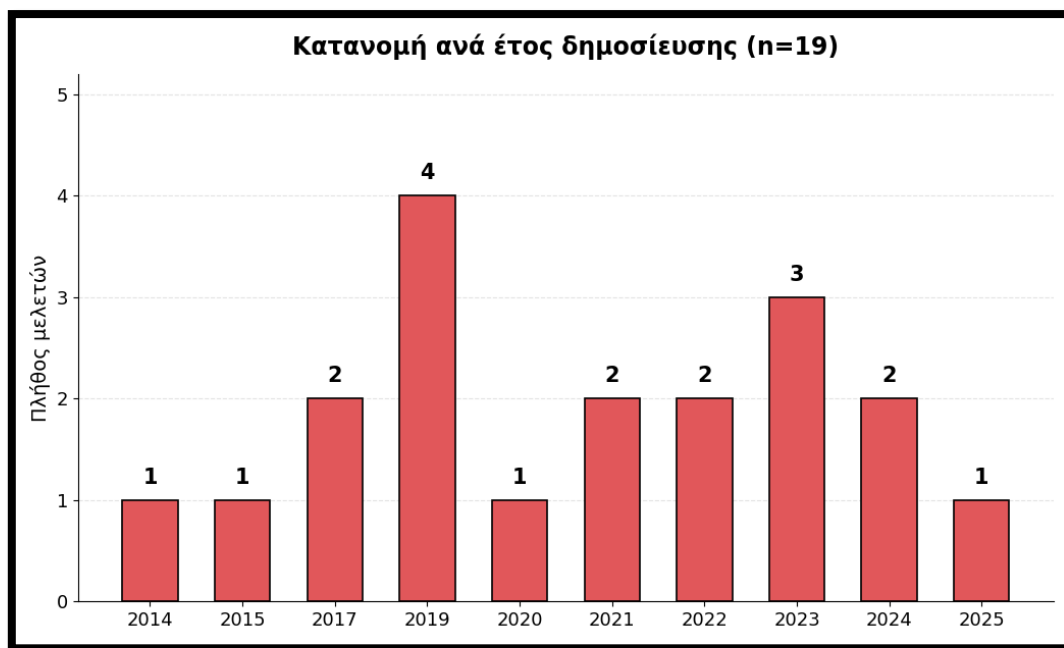
Εικόνα 1: Κατανομή ανά είδος δημοσίευσης

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των μελετών ανά είδος δημοσίευσης (περιοδικό, συνέδριο ή workshop). Η πλειονότητα των εργασιών, δεκατρείς από τις δεκαεννέα (68.4%), έχει δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά, γεγονός που υποδηλώνει την ωρίμανση του πεδίου και τη συστηματική ερευνητική παραγωγή γύρω από την ποιότητα λογισμικού σε συστήματα υγείας. Οι υπόλοιπες έξι εργασίες (31.6%) προέρχονται από συνέδρια ή workshops, τα οποία συνήθως φιλοξενούν πιο πρόσφατες ή πειραματικές προσεγγίσεις, αναδεικνύοντας τη συνεχή εξερεύνηση και ανάπτυξη νέων μεθόδων στον χώρο.



Εικόνα 2: Διάγραμμα κατανομής άρθρων ανά εκδότη

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η κατανομή των δεκαεννέα μελετών ανά εκδότη. Ο εκδότης IEEE κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό, καθώς οκτώ από τις δεκαεννέα μελέτες (42.1%) προέρχονται από περιοδικά ή συνέδρια του IEEE, γεγονός που αναδεικνύει τον κεντρικό ρόλο του στον χώρο της μηχανικής λογισμικού και των τεχνικών δοκιμής. Δεύτερος ισχυρός πόλος είναι ο όμιλος JMIR, με πέντε μελέτες (26.3%), ο οποίος εστιάζει σε εφαρμογές eHealth και mHealth. Ακολουθεί ο Elsevier με δύο μελέτες (10.5%), ενώ οι Springer, Taylor & Francis, MDPI και JERR συμμετέχουν με μία μελέτη έκαστος (5.3% έκαστος, συνολικά 21.1%), συμβάλλοντας στη θεματική ποικιλία του δείγματος.



Εικόνα 3: Διάγραμμα κατανομής άρθρων ανά έτος δημοσίευσης

Τέλος, στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται η κατανομή των μελετών ανά έτος δημοσίευσης. Οι δημοσιεύσεις καλύπτουν το διάστημα 2014–2025, με σαφή τάση ενίσχυσης τα τελευταία χρόνια. Δεκαπέντε από τις δεκαεννέα μελέτες (79%) έχουν δημοσιευθεί από το 2019 και μετά, ενώ η πενταετία 2021–2025 συγκεντρώνει το 53% των εργασιών (δέκα από τις δεκαεννέα). Η τριετία 2023–2025 αντιστοιχεί σε έξι μελέτες (32%), γεγονός που καταδεικνύει το αυξανόμενο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τη δοκιμή και τη διασφάλιση ποιότητας σε ιατρικές εφαρμογές ιστού, eHealth και mHealth συστήματα. Η συνδυαστική εξέταση της κατανομής ανά εκδότη και έτος ενισχύει τη διαπίστωση ότι το δείγμα είναι τόσο θεματικά συναφές όσο και χρονικά επίκαιρο.

Θα πρέπει να τονιστεί πως η σχετικά περιορισμένη παρουσία άρθρων για το 2025 οφείλεται στο γεγονός ότι η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε εντός του έτους, πριν ολοκληρωθεί ο κύκλος δημοσιεύσεων, και συνεπώς μεγάλο μέρος της ερευνητικής παραγωγής του έτους δεν είχε ακόμη καταχωρισθεί στις βάσεις δεδομένων. Ως εκ τούτου, η κατανομή του 2025 αντανakλά χρονικό περιορισμό της διαδικασίας ανασκόπησης και όχι ουσιαστική μείωση της σχετικής ερευνητικής δραστηριότητας.

## 4. Ανάλυση Προσεγγίσεων Δοκιμής και Διασφάλισης Ποιότητας Ιατρικών Εφαρμογών Ιστού

### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν παρουσιάζονται, αναλύονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής επισκόπησης που περιγράφηκε μεθοδολογικά στο Κεφάλαιο 3. Συγκεκριμένα, το κεφάλαιο αυτό εξετάζει τις προσεγγίσεις δοκιμής λογισμικού (software testing) και διασφάλισης ποιότητας λογισμικού (Software Quality Assurance – SQA) που εφαρμόζονται σε ιατρικές εφαρμογές ιστού και ευρύτερα σε web-based συστήματα υγείας, όπως πλατφόρμες τηλεϊατρικής, συστήματα ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων, εφαρμογές eHealth και mHealth, καθώς και σύνθετα πληροφοριακά συστήματα υγείας βασισμένα σε cloud ή microservice αρχιτεκτονικές.

Αρχικά, παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των επιλεγμένων μελετών βάσει συγκεκριμένων διαστάσεων, δηλαδή του είδους δραστηριότητας, του τύπου ιατρικής εφαρμογής, του είδους μελέτης και των ιδιοτήτων ποιότητας. Στη συνέχεια, αναλύονται ξεχωριστά οι προσεγγίσεις δοκιμής λογισμικού και οι προσεγγίσεις διασφάλισης ποιότητας, με έμφαση στις τεχνικές, τα εργαλεία, τα πλαίσια εφαρμογής τους στον ιατρικό τομέα, καθώς και στα πλεονεκτήματα, τους περιορισμούς και τα ιδιαίτερα στοιχεία που εισάγουν. Η ανάλυση δεν περιορίζεται σε περιγραφικό επίπεδο, αλλά εξετάζει συγκριτικά τη συνεισφορά κάθε προσέγγισης, τις συνθήκες καταλληλότητάς της και τις προκλήσεις που συνεπάγεται η εφαρμογή της σε ρυθμιζόμενα (regulated) περιβάλλοντα υγείας.

Η χρηστικότητα (usability) και η εμπειρία χρήστη (user experience, UX) δεν εξετάζονται ως ιδιότητες των ίδιων των προσεγγίσεων δοκιμής ή διασφάλισης ποιότητας, αλλά ως κρίσιμες ιδιότητες ποιότητας των ιατρικών εφαρμογών που αυτές αξιολογούν ή υποστηρίζουν. Η ανάλυσή τους ενσωματώνεται στη μη λειτουργική δοκιμή της ενότητας 4.3.1.2. Δικαιολογείται η έμφαση αυτή από το ότι, σε κλινικά περιβάλλοντα, η μειωμένη χρηστικότητα μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργικά ή ακόμη και κλινικά σφάλματα, επηρεάζοντας άμεσα την ασφάλεια των ασθενών. Ως ευρύτερη έννοια, η εμπειρία χρήστη περιλαμβάνει τη χρηστικότητα αλλά επεκτείνεται και σε παράγοντες όπως η ικανοποίηση, η εμπιστοσύνη και η συνολική αντίληψη

του χρήστη. Η αρνητική εμπειρία μειώνει την υιοθέτηση του συστήματος από επαγγελματίες υγείας και ασθενείς, ακόμη και όταν πληρούνται τα λειτουργικά και τεχνικά κριτήρια.

Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με συγκριτική ανάλυση των προσεγγίσεων που εντοπίστηκαν στις επιλεγμένες πρωτογενείς μελέτες και εννοιολογικές προτάσεις. Ενώ τα πλεονεκτήματα, οι περιορισμοί και οι συνθήκες καταλληλότητας κάθε προσέγγισης αναλύονται αρχικά στο πλαίσιο της επιμέρους παρουσίασής της, η συγκριτική αξιολόγηση εξετάζει συστηματικά τις προσεγγίσεις βάσει κοινών κριτηρίων, όπως το εύρος των ιδιοτήτων ποιότητας που καλύπτουν, ο βαθμός αυτοματοποίησης, η ευκολία υιοθέτησης, η αποδοτικότητα κόστους, η μεθοδολογική καινοτομία, η εμπειρική τεκμηρίωση και η φιλικότητα προς το παραγωγικό περιβάλλον.

Στο πλαίσιο αυτό, δεν επιχειρείται η ανάδειξη μιας απόλυτα καλύτερης ή χειρότερης προσέγγισης, αλλά η εξαγωγή συγκριτικών συμπερασμάτων σχετικά με το ποιες προσεγγίσεις εμφανίζουν σχετική υπεροχή ή αδυναμία ως προς συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης. Παράλληλα, αναδεικνύονται οι ιδιότητες ποιότητας για τις οποίες παρατηρείται υψηλότερος βαθμός ωριμότητας και αποτελεσματικότητας στη βιβλιογραφία (π.χ. ασφάλεια και απόδοση), καθώς και εκείνες που παρουσιάζουν περιορισμένη κάλυψη ή ερευνητικά κενά (π.χ. χρηστικότητα σε κλινικά περιβάλλοντα ή ηθική αξιολόγηση αλγοριθμικών συστημάτων).

Με τον τρόπο αυτό, η συγκριτική ανάλυση λειτουργεί ως εργαλείο σύνθεσης και όχι απλής περιγραφής, επιτρέποντας την ανάδειξη τάσεων, ισχυρών και ασθενών σημείων του πεδίου, καθώς και τεκμηριωμένων κατευθύνσεων για μελλοντική έρευνα.

## 4.2 Κατηγοριοποίηση των Επιλεγμένων Μελετών

Οι μελέτες κατηγοριοποιήθηκαν βάσει τεσσάρων βασικών αξόνων, με στόχο τη συστηματική και πολυεπίπεδη ανάλυσή τους. Η κατηγοριοποίηση αυτή αποτυπώνεται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 3, όπου παρουσιάζονται οι επιμέρους 4 κατηγορίες ανά άξονα.

- *Είδος δραστηριότητας*: Οι μελέτες διαχωρίστηκαν σε εκείνες που εστιάζουν κυρίως στη δοκιμή λογισμικού (software testing), σε εκείνες που επικεντρώνονται στη διασφάλιση ποιότητας (Software Quality Assurance – SQA), καθώς και σε μελέτες που υιοθετούν συνδυαστική προσέγγιση, ενσωματώνοντας τόσο τεχνικές δοκιμής όσο και οργανωσιακές πρακτικές ποιότητας.
- *Τύπος της ιατρικής εφαρμογής*: Ταξινομεί τις εφαρμογές που δοκιμάζονται ή των οποίων διασφαλίζεται η ποιότητα σε συστήματα ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων

(EHR/EMR), συστήματα τηλεϊατρικής (Telemedicine Systems), συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων (CDSS), εφαρμογές κινητής υγείας (mHealth), πλατφόρμες διαχείρισης ασθενών (Patient Management Platforms), συστήματα υγείας βασισμένα στο νέφος (Cloud-based Healthcare Systems), συστήματα IoT υγείας (Healthcare IoT Systems) και ευρύτερες εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας (eHealth Applications). Οι τύποι αυτοί ορίζονται στην Ενότητα 2.3.

- *Είδος της μελέτης:* Διακρίνει τις πρωτογενείς εμπειρικές μελέτες, που εφαρμόζουν ή αξιολογούν μια τεχνική σε πραγματικό ή πειραματικό περιβάλλον, τις δευτερογενείς ανασκοπήσεις, που συνθέτουν την υπάρχουσα βιβλιογραφία, και τις εννοιολογικές προτάσεις, που εισάγουν πλαίσια ή μεθόδους χωρίς πλήρη εμπειρική επικύρωση. Η διάκριση αυτή καθορίζει και τον ρόλο κάθε μελέτης στην ανάλυση, αφού οι πρωτογενείς μελέτες και οι εννοιολογικές προτάσεις τροφοδοτούν τη συγκριτική αξιολόγηση της Ενότητας 4.5, ενώ οι δευτερογενείς αξιοποιούνται για τη σύνθεση γνώσης και την επιβεβαίωση τάσεων.
- Η κωδικοποίηση της εστίασης σε *ιδιότητες ποιότητας*: περιλαμβάνει τη λειτουργική ορθότητα (functional correctness), την ασφάλεια (security), την απόδοση (performance), την αξιοπιστία (reliability), τη χρηστικότητα (usability), την εμπειρία χρήστη (UX), τη διαλειτουργικότητα (interoperability), τη συμμόρφωση (compliance) και τις ηθικές ιδιότητες (ethics). Καταγράφονται όλες οι ιδιότητες τις οποίες αγγίζει κάθε μελέτη, ακόμη και όταν δεν ελέγχονται όλες με την ίδια πληρότητα. Στις τελευταίες εντάσσονται η δικαιοσύνη (fairness), η ιδιωτικότητα (privacy), η μη διάκριση (non-discrimination), η ερμηνευσιμότητα (explainability) και η ευεργεσία (beneficence).

Η ανωτέρω πολυ-αξονική κατηγοριοποίηση επιτρέπει τη συστηματική σύγκριση των προσεγγίσεων και διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις τάσεις, τα ερευνητικά κενά και τα επίπεδα ωριμότητας του πεδίου.

Πίνακας 3: Πολυαξονική κατηγοριοποίηση μελετών

| Αξονας                            | Κατηγορίες                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Είδος Δραστηριότητας           | Software Testing<br>Software Quality Assurance (SQA)<br>Συνδυαστική                                                                                                    |
| 2. Τύπος Ιατρικής Εφαρμογής       | EHR/EMR<br>Telemedicine Systems<br>CDSS<br>mHealth<br>Patient Management Platforms<br>Cloud-based Healthcare Systems<br>Healthcare IoT Systems<br>eHealth Applications |
| 3. Είδος Μελέτης                  | Πρωτογενής εμπειρική<br>Δευτερογενής ανασκόπηση<br>Εννοιολογική πρόταση                                                                                                |
| 4. Εστίαση σε Ιδιότητες Ποιότητας | Functional Correctness<br>Security<br>Performance<br>Reliability<br>Usability<br>UX<br>Interoperability<br>Compliance<br>Ethics                                        |

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι επιλεγμένες μελέτες και οι κατηγορίες που καλύπτει η καθεμία, σύμφωνα με την πολυαξονική κατηγοριοποίηση που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Ως προς το είδος δραστηριότητας, εννέα μελέτες (47.4%) εστιάζουν στη Δοκιμή Λογισμικού, πέντε (26.3%) υιοθετούν Συνδυαστική προσέγγιση Δοκιμής και Διασφάλισης Ποιότητας, και πέντε (26.3%) εστιάζουν αμιγώς στη Διασφάλιση Ποιότητας.

Ως προς το είδος της μελέτης, δέκα είναι πρωτογενείς εμπειρικές (52.6%), πέντε δευτερογενείς ανασκοπήσεις (26.3%) και τέσσερις εννοιολογικές προτάσεις (21.1%). Η αυξημένη παρουσία δευτερογενών και εννοιολογικών μελετών περιορίζει την εμπειρική βάση του πεδίου, ζήτημα που επανέρχεται στη συγκριτική αξιολόγηση της Ενότητας 4.5.

Ως προς τις ιδιότητες ποιότητας, η ασφάλεια είναι η συχνότερα εξεταζόμενη, με εννέα μελέτες (47.4%), και ακολουθούν η χρηστικότητα με οκτώ (42.1%) και η αξιοπιστία με έξι (31.6%). Η συμμόρφωση εμφανίζεται σε πέντε μελέτες (26.3%), η απόδοση και η λειτουργική ορθότητα

σε τέσσερις (21.1%), η διαλειτουργικότητα και η εμπειρία χρήστη σε τρεις (15.8%) η καθεμία, ενώ η ηθική διάσταση δεν εξετάζεται ρητά σε καμία μελέτη. Η ασφάλεια κυριαρχεί στις εφαρμογές mHealth, όπου συγκεντρώνονται οι περισσότερες σχετικές μελέτες.

Ως προς τον τύπο της ιατρικής εφαρμογής, οι εφαρμογές mHealth αποτελούν τον συχνότερα μελετημένο τύπο, με επτά μελέτες (36.8%). Ακολουθούν οι ευρύτερες εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας με τέσσερις μελέτες (21.1%), τα συστήματα IoT υγείας με τρεις (15.8%), τα συστήματα τηλεϊατρικής με τρεις (15.8%) και τα βασισμένα στο νέφος με δύο (10.5%). Κανένα από τα επιλεγμένα άρθρα δεν εστιάζει σε συστήματα ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων (EHR/EMR), σε Συστήματα Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων (CDSS) ή σε Πλατφόρμες Διαχείρισης Ασθενών, γεγονός που αφήνει τους τρεις αυτούς τύπους ιατρικών εφαρμογών εκτός της εμπειρικής και θεωρητικής εικόνας του πεδίου.

Πίνακας 4: Συγκριτική αποτύπωση των επιλεγμένων μελετών βάσει της πολυαξονικής κατηγοριοποίησης

| Μελέτη                      | Δραστηριότητα | Τύπος Εφαρμογής                | Είδος Μελέτης        | Ιδιότητες Ποιότητας                                      |
|-----------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|
| Mejia Tascon et al. (2024)  | Testing       | Telemedicine Systems           | Πρωτογενής           | Functional Correctness                                   |
| Zaki et al. (2022)          | SQA           | Cloud-based Healthcare Systems | Εννοιολογική πρόταση | Performance, Reliability, Compliance                     |
| Hunt et al. (2014)          | Testing       | mHealth                        | Πρωτογενής           | Functional Correctness                                   |
| Sartaj et al. (2023)        | Testing       | Healthcare IoT Systems         | Εννοιολογική πρόταση | Reliability, Interoperability, Compliance                |
| Caballero et al. (2021)     | Combined      | Telemedicine Systems           | Πρωτογενής           | Reliability, Security, Performance                       |
| Hrisafov et al. (2021)      | Testing       | mHealth                        | Πρωτογενής           | Security, Usability                                      |
| Obigbesan et al. (2024)     | Combined      | eHealth Applications           | Δευτερογενής         | Usability, Reliability, Security, UX                     |
| Ronchieri & Canaparo (2023) | SQA           | eHealth Applications           | Πρωτογενής           | Reliability, Functional Correctness, Security, Usability |
| Baltaxe et al. (2023)       | SQA           | Telemedicine Systems           | Πρωτογενής           | Compliance, Security, Interoperability, Usability        |
| Wairagade & Cuthrell (2025) | Combined      | eHealth Applications           | Δευτερογενής         | Reliability, Security, Performance, Usability            |

| Μελέτη                       | Δραστηριότητα | Τύπος Εφαρμογής                | Είδος Μελέτης        | Ιδιότητες Ποιότητας          |
|------------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Weber (2019)                 | SQA           | Cloud-based Healthcare Systems | Εννοιολογική πρόταση | Interoperability, Compliance |
| Vilela et al. (2019)         | SQA           | Healthcare IoT Systems         | Πρωτογενής           | Performance                  |
| Iwaya et al. (2020)          | Combined      | mHealth                        | Δευτερογενής         | Security                     |
| Jha et al. (2022)            | Testing       | Healthcare IoT Systems         | Πρωτογενής           | Functional Correctness       |
| Müthing et al. (2017)        | Testing       | mHealth                        | Πρωτογενής           | Security                     |
| Knorr & Aspinall (2015)      | Testing       | mHealth                        | Πρωτογενής           | Security                     |
| Maramba et al. (2019)        | Testing       | eHealth Applications           | Δευτερογενής         | Usability, UX                |
| Alwashmi et al. (2019)       | Testing       | mHealth                        | Εννοιολογική πρόταση | Usability, UX                |
| Jake-Schoffman et al. (2017) | Combined      | mHealth                        | Δευτερογενής         | Usability, Compliance        |

### 4.3 Προσεγγίσεις Δοκιμής Λογισμικού σε Ιατρικές Εφαρμογές Ιστού

Η ανάλυση που ακολουθεί εξετάζει κάθε επιλεγμένη μελέτη μία φορά, ανεξάρτητα από το πλήθος των διαστάσεων που καλύπτει. Οι προσεγγίσεις ομαδοποιούνται ανάλογα με το αν η Δοκιμή είναι λειτουργική ή μη λειτουργική, ενώ οι προσεγγίσεις Διασφάλισης Ποιότητας εξετάζονται χωριστά στην Ενότητα 4.4. Για τις πρωτογενείς μελέτες και τις εννοιολογικές προτάσεις αναφέρεται και ο βαθμός αυτοματοποίησης κάθε προσέγγισης, ο οποίος αξιολογείται συστηματικά στην Ενότητα 4.5, ενώ για τις δευτερογενείς ανασκοπήσεις η παρουσίαση εστιάζει στη γνώση που συνθέτουν.

#### 4.3.1 Λειτουργική και Μη Λειτουργική Δοκιμή

##### 4.3.1.1 Λειτουργική Δοκιμή

Η λειτουργική δοκιμή ελέγχει αν το σύστημα παράγει τα αναμενόμενα αποτελέσματα για δεδομένες εισόδους. Από το σύνολο των μελετών, μόλις τρεις αγγίζουν ρητά τη λειτουργική

ορθότητα και ακόμη λιγότερες την εξετάζουν ως κύριο αντικείμενο, εύρημα που αναδεικνύει την υποεκπροσώπηση της λειτουργικής δοκιμής στη βιβλιογραφία του πεδίου.

#### Jha et al. (2022) – Δοκιμή βασισμένη σε μοντέλα για τηλεϊατρικό σύστημα IoT

Η εργασία των Jha et al. (2022) αφορά την εφαρμογή δοκιμών αποδοχής. Πρόκειται για δοκιμή λογισμικού (software testing) και, ειδικότερα, για δοκιμή αποδοχής (acceptance testing) ενός συστήματος υγειονομικής περίθαλψης βασισμένου στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Healthcare IoT Systems). Το σενάριο που εξετάζεται είναι τηλεϊατρικό και διαχειρίζεται τον διαβήτη: από εξετάσεις σακχάρου αίματος υπολογίζει τον τύπο διαβήτη μαζί με την πιθανότητα μελλοντικής εμφάνισης. Ως τεχνική εφαρμόζεται δοκιμή βασισμένη σε μοντέλα (Model-Based Testing, MBT), ένα διάγραμμα δραστηριοτήτων UML (UML activity diagram) μετατρέπεται σε γράφημα ροής δραστηριοτήτων (activity flow graph), και από εκεί εξάγονται συστηματικά οι περιπτώσεις δοκιμής αποδοχής. Η ιδιότητα ποιότητας που καλύπτεται είναι η λειτουργική ορθότητα (functional correctness) της συμπεριφοράς, δηλαδή η σωστή κάλυψη των αναμενόμενων ροών εκτέλεσης, και όχι κάποια πλευρά χρηστικότητας. Ως προς τον χαρακτήρα της, η συνεισφορά αποτελεί πρωτογενή μελέτη, καθώς πέρα από το θεωρητικό σκέλος περιλαμβάνει ισχυρό πρακτικό και αξιολογητικό μέρος μέσω της εφαρμογής στο τηλεϊατρικό σενάριο του διαβήτη. Ο βαθμός αυτοματοποίησης κρίνεται μερικώς: το μοντέλο UML κατασκευάζεται χειροκίνητα, η μεθοδολογία παράγει συστηματικά περιπτώσεις δοκιμής, όμως αυτές απαιτούν περαιτέρω χειροκίνητη υλοποίηση και εκτέλεση, χωρίς αλυσίδα εργαλείων για αυτόματη εκτέλεση από άκρο σε άκρο. Παρά τη ρητή διατύπωση των συγγραφέων περί αυτόματης παραγωγής σεναρίων, η απουσία εκτελέσιμης υποδομής συγκρατεί τον βαθμό σε μερική και όχι πλήρη αυτοματοποίηση.

Σε τηλεϊατρικό σενάριο IoT, η μέθοδος εφαρμόζει το MBT με τρόπο σχετικό με τον τομέα. Η μελέτη περίπτωσης για τον υπολογισμό τύπου και πιθανότητας διαβήτη από εξετάσεις σακχάρου λειτουργεί ως σαφές, κατανοητό παράδειγμα εξαγωγής δοκιμών αποδοχής. Επιπλέον, η διαφάνεια και ιχνηλασιμότητα διασφαλίζονται κατά την παραγωγή. Ειδικότερα, η αλληλουχία από το διάγραμμα δραστηριοτήτων UML προς το γράφημα ροής, και έπειτα προς τις περιπτώσεις δοκιμής, αξιοποιεί τυποποιημένα και αναπαραγώγιμα τεχνουργήματα, ώστε κάθε δοκιμή να συνδέεται με την αντίστοιχη ροή ή απαίτηση. Η προσέγγιση γεφυρώνει, ακόμη, τη θεωρία της δοκιμής βασισμένης σε μοντέλα με τη δοκιμή αποδοχής εφαρμογών υγείας IoT. Πρόκειται για πεδίο που οι συγγραφείς το τεκμηριώνουν ως ελλιπώς καλυμμένο, και αυτή η γεφύρωση μειώνει τον κίνδυνο παράλειψης κρίσιμων ροών εκτέλεσης.

Η αποτίμηση στηρίζεται σε μία μόνο ενδεικτική μελέτη περίπτωσης (τηλεϊατρική διαβήτη), χωρίς ποσοτική επικύρωση της ικανότητας ανίχνευσης σφαλμάτων, της επάρκειας κάλυψης ή σύγκρισης με μεθόδους αναφοράς. Αυτό περιορίζει την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας. Επειδή το μοντέλο κατασκευάζεται χειροκίνητα και δεν επιδεικνύεται εκτελέσιμη αλυσίδα εργαλείων MBT, οι αναφορές σε αυτόματη παραγωγή δεν συνοδεύονται από αυτόματη εκτέλεση. Η συνολική προσπάθεια εξαρτάται από την ακρίβεια και την πληρότητα του αρχικού μοντέλου, η σύνταξη του οποίου απαιτεί χρόνο και εξειδίκευση. Το εύρος, τέλος, εξαντλείται στη λειτουργική συμπεριφορά αποδοχής. Μένουν εκτός κρίσιμες μη λειτουργικές απαιτήσεις για συστήματα υγείας IoT, όπως ασφάλεια και ιδιωτικότητα, επιδόσεις, διαλειτουργικότητα και κανονιστική συμμόρφωση, κάτι που περιορίζει τη γενίκευση των ευρημάτων.

#### Hunt et al. (2014) – Αυτοματοποιημένη λειτουργική δοκιμή φυσικών διεπαφών χρήστη

Οι Hunt et al. (2014) προτείνουν μια μέθοδο αυτοματοποιημένης δοκιμής φυσικών διεπαφών χρήστη (automated testing of natural user interfaces, NUI). Η εργασία εντάσσεται συνεπώς στη δοκιμή λογισμικού και αφορά εφαρμογές mHealth με διεπαφές αφής και χειρονομιών, ελέγχοντας τη λειτουργική ορθότητα (functional correctness) της απόκρισης της διεπαφής. Καλύπτεται δηλαδή η σωστή συμπεριφορά της διεπαφής και όχι πλευρές χρηστικότητας. Πρόκειται για πρωτογενή μελέτη με πλήρως αυτοματοποιημένο βαθμό, αφού η εκτέλεση των σεναρίων δοκιμής γίνεται αυτόματα χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση. Η κατάταξη στη λειτουργική δοκιμή προκύπτει από το ότι επαληθεύεται αν η διεπαφή παράγει τη σωστή συμπεριφορά για δεδομένες ενέργειες χρήστη.

Η προσέγγιση καλύπτει την αυτοματοποίηση μιας ιδιαίτερα απαιτητικής περιοχής, της δοκιμής φυσικών διεπαφών, όπου η χειροκίνητη επαλήθευση είναι χρονοβόρα και επιρρεπής σε σφάλματα. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση αυτή επιτρέπει την επαναλαμβανόμενη εκτέλεση των δοκιμών σε κάθε κύκλο ανάπτυξης με χαμηλό οριακό κόστος. Τέλος, η προσέγγιση είναι μεταφέρσιμη σε εφαρμογές υγείας με διεπαφές αφής, όπου η ορθή απόκριση της διεπαφής συνδέεται με την ασφαλή χρήση.

Δυστυχώς, η προσέγγιση αφήνει εκτός μη λειτουργικές ιδιότητες, όπως η ασφάλεια και η απόδοση, διότι εστιάζει στη λειτουργική ορθότητα της διεπαφής. Η αξιολόγηση δεν τοποθετείται ρητά σε ιατρικό πλαίσιο, οπότε η σχετικότητα με τις ιδιαιτερότητες των ιατρικών εφαρμογών χρειάζεται περαιτέρω τεκμηρίωση. Τέλος, η αυτοματοποίηση φυσικών διεπαφών απαιτεί εξειδικευμένη υποδομή δοκιμής, αυξάνοντας το αρχικό κόστος υιοθέτησης.

Mejia Tascon et al. (2024) – Λειτουργική δοκιμή υπηρεσιών ιστού πλατφόρμας τηλεϊατρικής για εκτίμηση κίνησης

Οι Mejia Tascon et al. (2024) περιγράφουν την αρχιτεκτονική λογισμικού και τις υπηρεσίες ιστού (web services) μιας πλατφόρμας τηλεϊατρικής οργανωμένης κατά το πρότυπο Model-View-Controller (MVC), με στόχο την απομακρυσμένη εκτίμηση της κίνησης ασθενών. Η εργασία εντάσσεται στη δοκιμή λογισμικού και αφορά σύστημα τηλεϊατρικής (Telemedicine Systems). Οι συγγραφείς εφαρμόζουν κυρίως δοκιμές συμπεριφοράς και δομής, οι οποίες είναι λειτουργικές, οπότε η ιδιότητα ποιότητας που καλύπτεται είναι η λειτουργική ορθότητα (functional correctness) των υπηρεσιών κατά την ανταλλαγή δεδομένων κίνησης. Το άρθρο αναφέρει επιπλέον επικύρωση της πλατφόρμας και των υπηρεσιών της, χωρίς όμως να προσδιορίζει με σαφήνεια τα είδη δοκιμών που εφαρμόστηκαν εκεί καθώς παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Αν η επικύρωση αυτή συνυπολογιστεί, ως δραστηριότητα που αγγίζει τη διασφάλιση ποιότητας και όχι μόνο τη δοκιμή, τότε η μελέτη καλύπτει πολλαπλές ιδιότητες ποιότητας και όχι μία. Πρόκειται για πρωτογενή εμπειρική μελέτη και ο βαθμός αυτοματοποίησης κρίνεται μερικώς, καθώς η εκτέλεση των δοκιμών εντάσσεται σε αγωγό συνεχούς ενσωμάτωσης με ανθρώπινη εποπτεία.

Η μελέτη καταγράφει μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική υπηρεσιών ιστού για ρεαλιστικό κλινικό σενάριο, και αυτό προσφέρει από πλαίσιο ελέγχου της συμπεριφοράς των τηλεϊατρικών ροών δεδομένων. Οι δοκιμές συμπεριφοράς και δομής επαληθεύουν την ορθή λειτουργία κάθε υπηρεσίας πριν από τη μετάβαση σε παραγωγή, ενώ η μερική αυτοματοποίηση μειώνει το επαναλαμβανόμενο κόστος έναντι αμιγώς χειροκίνητων ελέγχων. Η αξιολόγηση επικεντρώνεται σε ένα μόνο πεδίο, την εκτίμηση κίνησης, και έτσι η γενικευσιμότητα προς ευρύτερες κατηγορίες τηλεϊατρικών εφαρμογών περιορίζεται. Η ασαφής τεκμηρίωση των ειδών δοκιμής που εφαρμόστηκαν κατά την επικύρωση δυσχεραίνει την αναπαραγωγή της διαδικασίας και την ιχνηλάτηση των ευρημάτων. Κρίσιμες μη λειτουργικές ιδιότητες, όπως η ασφάλεια και η διαλειτουργικότητα, μένουν τέλος εκτός εξέτασης.

#### *4.3.1.2 Μη Λειτουργική Δοκιμή*

Η μη λειτουργική δοκιμή αποτιμά ιδιότητες ποιότητας, όπως η ασφάλεια, η απόδοση, η χρηστικότητα, η αξιοπιστία και η διαλειτουργικότητα. Οι μελέτες παρουσιάζονται κατά κυρίαρχη ιδιότητα, ξεκινώντας από την ασφάλεια.

#### Iwaya et al. (2020) – Συστηματική χαρτογράφηση ασφάλειας και ιδιωτικότητας σε συστήματα mHealth & uHealth

Οι Iwaya et al. (2020) πραγματοποιούν συστηματική χαρτογράφηση (systematic mapping study) της βιβλιογραφίας για την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα σε συστήματα κινητής υγείας (mHealth) και πανταχού παρούσας υγείας (ubiquitous health, uHealth). Στην κατηγοριοποίηση του Πίνακα 4 η μελέτη εντάσσεται στην κατηγορία mHealth, που αποτελεί το κύριο αντικείμενό της. Η εργασία είναι δευτερογενής καθώς δεν προτείνει νέα τεχνική δοκιμής, αλλά συνθέτει τη δημοσιευμένη γνώση και την οργανώνει σε κατηγορίες δοκιμών ασφάλειας και ιδιωτικότητας, καταγράφοντας παράλληλα τα ερευνητικά κενά του πεδίου. Ως δευτερογενής μελέτη, αξιοποιείται εδώ για τη σύνθεση γνώσης και δεν αξιολογείται ως προς τον βαθμό ή την τεχνική αυτοματοποίησης, ούτε συγκρίνεται με τις πρωτογενείς προσεγγίσεις και εννοιολογικές προτάσεις βάσει των κριτηρίων της Ενότητας 4.5.

Η μελέτη παρέχει συνολική εικόνα του τοπίου ασφάλειας (security) και ιδιωτικότητας στο mHealth, με εντοπισμό επαναλαμβανόμενων αδυναμιών και ερευνητικών κενών. Η συστηματική μεθοδολογία προσδίδει διαφάνεια και αναπαραγωγιμότητα στη διαδικασία επιλογής μελετών. Τα ευρήματα λειτουργούν ως σημείο αναφοράς για τον προσανατολισμό μελλοντικών πρωτογενών μελετών δοκιμής ασφάλειας.

Ως δευτερογενής μελέτη, δεν παρέχει πρωτότυπα πειραματικά αποτελέσματα ούτε επικυρωμένη τεχνική δοκιμής. Η ποιότητα και η κάλυψη της βιβλιογραφίας που συνθέτει κρίνονται πάντως ικανοποιητικές, καθώς η συστηματική διαδικασία αναζήτησης και επιλογής συγκροτεί ευρύ και αντιπροσωπευτικό σώμα μελετών για τα συστήματα mHealth. Το στοιχείο αυτό λειτουργεί ως πλεονέκτημα της εργασίας, γιατί ενισχύει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων της σύνθεσης. Η ταξινόμηση των κενών, ωστόσο, δεν συνοδεύεται από εφαρμόσιμες λύσεις, αφήνοντας ανοιχτή τη μετάβαση από τα ευρήματα στην πράξη.

#### Knorr & Aspinall (2015) – Δοκιμή ασφάλειας σε δείγμα 154 Android εφαρμογών mHealth

Οι Knorr & Aspinall (2015) επιχειρούν αξιολόγηση της ασφάλειας (security) σε εφαρμογές mHealth για την πλατφόρμα Android. Η δραστηριότητα εντάσσεται στη δοκιμή λογισμικού και ειδικότερα, στη μη λειτουργική δοκιμή. Η έρευνα είναι πρωτογενής καθώς οι συγγραφείς εφαρμόζουν οι ίδιοι μια διαδικασία ελέγχου σε πραγματικό δείγμα 154 εφαρμογών και παράγουν δικά τους εμπειρικά ευρήματα. Συνδυάζονται δύο τεχνικές: δοκιμή ασφάλειας με γνώμονα τις απειλές (threat-driven security testing) και αυτοματοποιημένη ανάλυση κώδικα και μεταδεδομένων (automated code/metadata analysis). Ένα μέρος της εξέτασης αυτοματοποιείται, όπως η σάρωση των μεταδεδομένων και των δικαιωμάτων (permissions)

στο σύνολο των 154 δειγμάτων. Η μοντελοποίηση των απειλών, η ερμηνεία των ευρημάτων και η εις βάθος εξέταση επιλεγμένων εφαρμογών παραμένουν χειρωνακτικές. Επομένως, ο βαθμός αυτοματοποίησης χαρακτηρίζεται ως μερικός.

Η κλίμακα του δείγματος συνιστά συγκεκριμένο πλεονέκτημα. Εξετάζοντας 154 εφαρμογές, η μελέτη εξάγει ευρήματα με στατιστική βαρύτητα αντί να παρατηρεί μεμονωμένες περιπτώσεις, και αποκαλύπτει ότι η πλημμελής διαχείριση κρυπτογραφίας μαζί με τη μη ασφαλή μεταφορά δεδομένων αποτελούν διαδεδομένα, όχι σποραδικά, προβλήματα στον τομέα. Ο συνδυασμός αυτοματοποιημένης ανάλυσης κώδικα και μεταδεδομένων με τη μοντελοποίηση απειλών είναι επίσης αξιοποιήσιμος, καθώς εξισορροπεί την ευρεία κάλυψη του δείγματος με τη στοχευμένη εξέταση των πιο κρίσιμων κατηγοριών ευπαθειών. Η μεθοδολογία στηρίζεται, επιπλέον, σε διαθέσιμα εργαλεία και σε ρητά κριτήρια ελέγχου. Αυτό την καθιστά αναπαραγώγιμη και μεταφέρσιμη σε νέα δείγματα εφαρμογών mHealth.

Η αποκλειστική εστίαση στο Android λειτουργεί περιοριστικά. Αφήνει εκτός εξέτασης τις εφαρμογές iOS και τα διαπλατφορμικά (cross-platform) ζητήματα, οπότε τα ευρήματα δεν γενικεύονται άμεσα σε ολόκληρο το οικοσύστημα mHealth. Δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι η εργασία εφαρμόζει υπάρχουσες τεχνικές δοκιμής ασφάλειας σε ιατρικό πλαίσιο χωρίς να προτείνει νέα μεθοδολογία ή νέο εργαλείο. Η συνεισφορά παραμένει επομένως στο επίπεδο της προσαρμοσμένης εφαρμογής γνωστών πρακτικών. Η μερική αυτοματοποίηση προσθέτει ένα τρίτο ζήτημα. Καθώς η εις βάθος ανάλυση των ευπαθειών και η μοντελοποίηση των απειλών εξαρτώνται από χειρωνακτική εργασία και κρίση εμπειρογνώμονα, η κλιμακωσιμότητα της προσέγγισης σε πολύ μεγαλύτερα σύνολα εφαρμογών περιορίζεται και εισάγεται υποκειμενικότητα στα συμπεράσματα.

#### Müthing et al. (2017) – Δοκιμή ασφάλειας μεταφοράς δεδομένων σε εφαρμογές κινητής υγείας (mHealth)

Οι Müthing et al. (2017) ελέγχουν την ασφάλεια μεταφοράς δεδομένων σε εφαρμογές mHealth. Εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο οι εφαρμογές προστατεύουν την επικοινωνία ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων από την πλευρά του πελάτη. Η αξιολόγηση αφορά την ασφάλεια (Security), και ειδικότερα η ορθή υλοποίηση των πρωτοκόλλων TLS, η επικύρωση των ψηφιακών πιστοποιητικών και η αντοχή του διαύλου επικοινωνίας σε επιθέσεις ενδιάμεσου (man-in-the-middle, MITM). Είναι πρωτογενής έρευνα δοκιμής λογισμικού, αφού οι συγγραφείς εκτελούν πραγματικές δοκιμές ασφαλείας σε υπαρκτές εφαρμογές αντί να συνθέτουν ευρήματα προϋπάρχουσας βιβλιογραφίας και χαρακτηρίζεται μερικώς αυτοματοποιημένη προσέγγιση. Στηρίζεται σε δοκιμή ασφάλειας μεταφοράς μέσω διακομιστή

μεσολάβησης παρεμβολής (MITM proxy), με χρήση του εργαλείου OWASP ZAP και υποστήριξη πρωτοτύπου: η υποκλοπή και η ανάλυση της δικτυακής κίνησης γίνονται με εργαλειακή υποστήριξη, ενώ η ρύθμιση των σεναρίων, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και η κατηγοριοποίηση των ευπαθειών απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση.

Η προσέγγιση εστιάζει σε ένα συγκεκριμένο και κρίσιμο διάνυσμα επίθεσης, τη μεταφορά δεδομένων. Αυτό επιτρέπει ανάλυση σε βάθος των σημαντικότερων ευπαθειών: της απουσίας κρυπτογράφησης TLS, της αποδοχής μη έγκυρων ή αυτο-υπογεγραμμένων πιστοποιητικών και της ελλιπούς επικύρωσης ονόματος κεντρικού υπολογιστή, στοιχείων που εκθέτουν άμεσα τα ιατρικά δεδομένα σε υποκλοπή. Η αξιοποίηση ανοικτού εργαλείου όπως το OWASP ZAP για την υλοποίηση του διακομιστή μεσολάβησης παρεμβολής καθιστά τη μεθοδολογία αναπαραγώγιμη και χαμηλού κόστους, εφαρμόσιμη από προγραμματιστές χωρίς εξειδικευμένη υποδομή. Η δοκιμή διενεργείται, επιπλέον, σε πραγματικές, διαθέσιμες στην αγορά εφαρμογές. Έτσι τα ευρήματα αποκτούν πρακτική εγκυρότητα και οδηγούν σε άμεσα εφαρμόσιμες συστάσεις για τον μετριασμό των εντοπισμένων κινδύνων.

Το πεδίο της αξιολόγησης παραμένει στενό. Καλύπτει αποκλειστικά την ασφάλεια μεταφοράς και αφήνει εκτός εξέτασης ευρύτερες πτυχές ασφάλειας, όπως η ασφαλής τοπική αποθήκευση δεδομένων, ο έλεγχος πρόσβασης και ο έλεγχος ταυτότητας. Ο μερικός βαθμός αυτοματοποίησης συνεπάγεται σημαντική εξάρτηση από χειροκίνητη ρύθμιση και ανθρώπινη ερμηνεία, έτσι η διαδικασία γίνεται επαναλαμβανόμενη και δύσκολα κλιμακούμενη σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών, εφόσον δεν ενσωματωθεί σε αυτοματοποιημένη ροή. Ένα ακόμη μειονέκτημα έγκειται στη στατική, χρονικά περιορισμένη φύση του ελέγχου. Τα αποτελέσματα αποτυπώνουν την κατάσταση των εφαρμογών σε μια δεδομένη στιγμή, χωρίς μηχανισμό συνεχούς παρακολούθησης που θα εντόπιζε υποβαθμίσεις της ασφάλειας μεταφοράς σε μεταγενέστερες εκδόσεις.

Hrisafon et al. (2021) – Συνδυασμένη δοκιμή ασφάλειας και ευχρηστίας σε διαδικτυακή εφαρμογή υγείας

Οι Hrisafon et al. (2021) πραγματοποιούν δοκιμή ασφάλειας και ευχρηστίας σε διαδικτυακή εφαρμογή υγείας, αντιμετωπίζοντας από κοινού δύο μη λειτουργικές ιδιότητες ποιότητας: την ασφάλεια (Security) και την ευχρηστία (Usability). Πρόκειται για πρωτογενή μελέτη, συγκεκριμένα μελέτη περίπτωσης με πρακτική εφαρμογή, και όχι για δευτερογενή ανασκόπηση ούτε για εννοιολογική πρόταση. Κατατάσσεται στη δραστηριότητα της δοκιμής λογισμικού (Software Testing). Συνδυάζει δυναμική ανάλυση ασφάλειας εφαρμογών (Dynamic Application Security Testing, DAST) με χειροκίνητη δοκιμή διεύθυνσης

(penetration testing) για την πλευρά της ασφάλειας, ενώ για την αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης αξιοποιεί δοκιμές ευχρηστίας (usability testing) με συμμετοχή χρηστών. Ο βαθμός αυτοματοποίησης είναι μερικός. Η σάρωση τρωτοτήτων μέσω εργαλείων DAST εκτελείται αυτόματα, την ώρα που η ερμηνεία των ευρημάτων, η εκμετάλλευση των ευπαθειών στο πλαίσιο της διείσδυσης και η συλλογή δεδομένων ευχρηστίας απαιτούν ανθρώπινη εμπλοκή. Η μελέτη παράγει καταγραφή τρωτοτήτων ασφάλειας, εντοπισμό προβλημάτων ευχρηστίας και αντίστοιχες συστάσεις αποκατάστασης.

Δύο συμπληρωματικοί άξονες ποιότητας, η ασφάλεια και η ευχρηστία, εξετάζονται ταυτόχρονα μέσα σε μία ενιαία εμπειρική προσπάθεια, και αυτό διαφοροποιεί τη μελέτη από προσεγγίσεις που πραγματεύονται τις ιδιότητες αυτές απομονωμένα, αναδεικνύοντας τις αλληλεπιδράσεις τους μέσα σε ένα περιβάλλον υγείας. Η μελέτη προσφέρει, παράλληλα, μια πρακτική και αναπαραγώγιμη διαδικασία τύπου μελέτης περίπτωσης, με συγκεκριμένη χρήση εργαλείων DAST και βημάτων δοκιμής διείσδυσης, η οποία λειτουργεί ως απτός μεθοδολογικός οδηγός. Τα αποτελέσματα αποκτούν άμεση εφαρμοσιμότητα χάρη στην παραγωγή συγκεκριμένων ευρημάτων για τρωτότητες και προβλήματα ευχρηστίας, που συνοδεύονται από καθοδήγηση αποκατάστασης.

Η μελέτη επικεντρώνεται σε μία μόνο διαδικτυακή εφαρμογή, χαρακτηριστικό έρευνας πρώιμης ωριμότητας, και έτσι η γενικευσιμότητα και η εξωτερική εγκυρότητα των συμπερασμάτων περιορίζονται. Η μεθοδολογική αυστηρότητα παραμένει μέτρια: τα δείγματα συμμετεχόντων στις δοκιμές ευχρηστίας είναι μικρά, ενώ η καταλληλότητα και η αντιπροσωπευτικότητά τους δεν τεκμηριώνονται, στοιχείο που αποδυναμώνει την αξιοπιστία των μετρήσεων, όπως την αποδυναμώνει και η εξάρτηση από εργαλειακή σάρωση, η οποία ενδέχεται να παράγει ψευδώς θετικά ή ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα. Η ένταξη της εφαρμογής στην κατηγορία mHealth μένει, τέλος, ασαφής, αφού το αντικείμενο φαίνεται να αφορά γενικότερες διαδικτυακές εφαρμογές. Η ασάφεια αυτή εγείρει εύλογα ερωτήματα και για τη συνάφεια της μελέτης με το αντικείμενο της ανασκόπησης, όμως η μελέτη διατηρείται κυρίως ως μεθοδολογικό παράδειγμα συνδυασμένης δοκιμής ασφάλειας και ευχρηστίας.

[Obigbesan et al. \(2024\)](#) – επισκόπηση πρακτικών δοκιμής λογισμικού σε eHealth εφαρμογές με έμφαση στην επαναληπτική στρατηγική

Η εργασία των Obigbesan et al. (2024) καταγράφει και συνθέτει τις πρακτικές δοκιμής λογισμικού (software testing) που εφαρμόζονται σε εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας (eHealth Applications). Πρόκειται για δευτερογενή μελέτη (secondary study) τύπου άποψης ή αφηγηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης (viewpoint / narrative review) και όχι για

πρωτογενή πειραματική έρευνα. Για τον λόγο αυτό αξιοποιείται εδώ για σύνθεση γνώσης και δεν συμμετέχει στη συγκριτική αξιολόγηση των πρωτογενών προσεγγίσεων και εννοιολογικών προτάσεων. Η συμβολή της είναι συνδυαστική, καθώς ενώνει τη θεώρηση της δοκιμής με ζητήματα διασφάλισης ποιότητας λογισμικού (Software Quality Assurance, SQA), πραγματευόμενη τόσο τις τεχνικές ελέγχου όσο και τη συστηματική οργάνωση και τυποποίησή τους. Ως προς τον τύπο εφαρμογής, το αντικείμενο είναι ευρύ: οι λύσεις eHealth, που στο κανονικό σύνολο τύπων αντιστοιχίζονται κυρίως σε εφαρμογές mHealth, με δευτερεύουσα διασύνδεση προς τα συστήματα τηλεϊατρικής (Telemedicine Systems).

Η ανάλυση καλύπτει ευρύ φάσμα ιδιοτήτων ποιότητας, αφού οι στόχοι δοκιμής που εντοπίζουν οι συγγραφείς στη βιβλιογραφία ποικίλλουν σημαντικά: περιλαμβάνουν την ασφάλεια χρήσης/προστασία (safety), την αξιοπιστία (Reliability) και τη σταθερότητα λειτουργίας, καθώς και την ευχρηστία (Usability) και την αποδοχή από τον χρήστη, με τις δύο τελευταίες να συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος της προσοχής. Οι μέθοδοι που καταγράφονται, όπως ερωτηματολόγια, συνεντεύξεις και δοκιμές άλφα και βήτα με πραγματικούς χρήστες, εξετάζουν ακριβώς αυτές τις πλευρές της λειτουργίας υπό ρεαλιστικές συνθήκες χρήσης επίσης η απόδοση και η συμμόρφωση δεν αποτελούν αντικείμενο της μελέτης. Κεντρικό εύρημα αποτελεί η διαπίστωση ότι δεν υφίσταται ενιαίο τυποποιημένο πλαίσιο δοκιμής για το λογισμικό υγείας, ότι η αναφορά των μεθόδων είναι ασυνεπής και ότι στη βιβλιογραφία συγχέονται συχνά η δοκιμή άλφα (alpha testing) με τη δοκιμή βήτα (beta testing). Βάσει αυτών, οι συγγραφείς εισηγούνται μια επαναληπτική στρατηγική δοκιμής (iterative testing strategy) που διευκολύνει ευέλικτες και ταχείες αλλαγές, ιδίως για αρχάριους προγραμματιστές eHealth. Συγκεντρώνονται κατακερματισμένες πρακτικές δοκιμής του λογισμικού υγείας σε ένα κείμενο, και αυτή η συγκέντρωση, μαζί με τη ρητή ονομασία ενός συγκεκριμένου προβλήματος, δηλαδή της απουσίας τυποποίησης και της σύγχυσης μεταξύ δοκιμής άλφα και βήτα, προσφέρει πρακτική αξία, καθώς τα ζητήματα αυτά συνδέονται άμεσα με την ασφάλεια του ασθενούς. Χρήσιμη είναι και η διατύπωση μιας εφαρμόσιμης σύστασης, της επαναληπτικής στρατηγικής δοκιμής. Απευθύνεται ειδικά σε αρχάριους προγραμματιστές eHealth και τους κατευθύνει σε σταδιακό και ευέλικτο έλεγχο της ευχρηστίας και της αξιοπιστίας.

Ως προς τη μεθοδολογική αυστηρότητα, ο βασικός περιορισμός είναι ότι δεν πρόκειται για συστηματική επισκόπηση. Λείπει τεκμηριωμένο πρωτόκολλο τύπου PRISMA, δεν δηλώνονται κριτήρια ένταξης ή αποκλεισμού με αντίστοιχα πλήθη, ούτε αναπαραγώγιμη διαδικασία διαλογής, και αυτό μειώνει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων. Σε επίπεδο

πρότασης παραμένει η προτεινόμενη επαναληπτική στρατηγική, αφού δεν συνοδεύεται από πρωτογενή εμπειρική επικύρωση. Απουσιάζει, με άλλα λόγια, πείραμα, μελέτη περίπτωσης ή μετρήσιμα αποτελέσματα που να τεκμηριώνουν την αποτελεσματικότητά της σε πραγματικό περιβάλλον. Ευρύ και ποιοτικό είναι, επιπλέον, το εύρος της ανάλυσης, χωρίς ποσοτική σύγκριση τεχνικών ή εργαλείων δοκιμής, με αποτέλεσμα οι διαπιστώσεις να παραμένουν περιγραφικές. Δεδομένου ότι η μελέτη είναι δευτερογενής, η έλλειψη πρωτογενών αποτελεσμάτων απορρέει από τη φύση της και όχι από παράλειψη, χωρίς ωστόσο να αναιρείται ότι μια συνοδευτική μελέτη περίπτωσης θα ενίσχυε σημαντικά την τεκμηρίωση.

Maramba et al. (2019) – Δευτερογενής επισκόπηση μεθόδων δοκιμής χρηστικότητας σε εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας

Οι Maramba et al. (2019) συγκροτούν μια επισκοπική ανασκόπηση (scoping review) των μεθόδων δοκιμής χρηστικότητας (usability testing) που εφαρμόζονται κατά την ανάπτυξη εφαρμογών ηλεκτρονικής υγείας (eHealth applications). Πρόκειται για δευτερογενή μελέτη, η οποία αξιοποιείται εδώ για σύνθεση γνώσης και όχι για σύγκριση με τις πρωτογενείς προσεγγίσεις. Η δοκιμή εξετάζεται ως δραστηριότητα με κύρια ιδιότητα τη χρηστικότητα (usability). Δευτερευόντως αποτυπώνεται και η ικανοποίηση των χρηστών, στον βαθμό που οι καταγραφόμενες μέθοδοι, όπως τα ερωτηματολόγια της κλίμακας SUS, τη μετρούν. Οι συγγραφείς δεν εισάγουν νέα τεχνική αλλά εντοπίζουν, καταγράφουν και κατηγοριοποιούν 133 δημοσιευμένες μελέτες, αποτυπώνοντας ποιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται, σε ποια φάση του κύκλου ανάπτυξης και με ποια μεγέθη δείγματος. Το ρεπερτόριο που χαρτογραφείται περιλαμβάνει τις καθιερωμένες μεθόδους χρηστικότητας (usability methods): ευρετική αξιολόγηση (heuristic evaluation) βάσει των αρχών του Nielsen, πρωτόκολλα ομιλούσας σκέψης (think-aloud protocols), ερωτηματολόγια της κλίμακας χρηστικότητας συστήματος (System Usability Scale, SUS), ανάλυση ολοκλήρωσης εργασιών και γνωστική διερεύνηση.

Η κάλυψη 133 μελετών προσφέρει χρήσιμη συγκεντρωτική εικόνα του τοπίου. Επιτρέπει στους προγραμματιστές ιατρικών εφαρμογών να εντοπίσουν το διαθέσιμο ρεπερτόριο μεθόδων αξιολόγησης χρηστικότητας μέσα σε ένα ενιαίο κείμενο αναφοράς. Ο εντοπισμός επαναλαμβανόμενων μεθοδολογικών αδυναμιών στον τομέα έχει ιδιαίτερη αξία καθώς ξεχωρίζουν τα ανεπαρκή μεγέθη δείγματος και η αποσπασματική, μη συστηματική ενσωμάτωση της δοκιμής χρηστικότητας στον κύκλο ανάπτυξης των εφαρμογών ηλεκτρονικής υγείας. Το εύρημα αυτό λειτουργεί διαγνωστικά για τη βελτίωση της πρακτικής. Επιπλέον, η ανασκόπηση συνδέει συστηματικά κάθε μέθοδο με τη φάση ανάπτυξης στην οποία

απαντάται, και έτσι οι ερευνητές αποκτούν ένα κριτήριο προσανατολισμού ως προς το πότε ενδείκνυται η κάθε προσέγγιση.

Ως δευτερογενής σύνθεση, η μελέτη περιορίζεται στην καταγραφή υφιστάμενων πρακτικών χωρίς να προτείνει νέα μέθοδο ή τεχνική δοκιμής χρηστικότητας, στοιχείο που μειώνει τη μεθοδολογική της συνεισφορά στην προαγωγή της πρακτικής της δοκιμής. Συγκριτικά, η ανασκόπηση δεν αποτιμά την αποτελεσματικότητα των επιμέρους μεθόδων ούτε καταλήγει σε τεκμηριωμένο εργαλείο επιλογής, όπως ένα διάγραμμα αποφάσεων, έτσι η αξιοποίησή της ως οδηγού επιλογής μεθόδου παραμένει έμμεση και εξαρτάται αποκλειστικά από την κρίση του αναγνώστη. Υπάρχει και ένα ζήτημα ομοιογένειας, καθώς οι πρωτογενείς μελέτες αποτιμούν τη χρηστικότητα, και δευτερευόντως την ικανοποίηση των χρηστών, με ετερογενείς μετρικές, οπότε η σύνθεση κληρονομεί την ανομοιογένεια αυτών των δεδομένων και δεν παρέχει κοινό ποσοτικό πλαίσιο σύγκρισης μεταξύ των αξιολογήσεων.

#### [Alwashmi et al. \(2019\) – Επαναληπτικός σχεδιασμός χρηστικότητας για εφαρμογές κινητής υγείας](#)

Οι Alwashmi et al. (2019) τοποθετούν τη συμβολή τους στη δοκιμή λογισμικού για εφαρμογές mHealth. Οι συγγραφείς διατυπώνουν τη μέθοδο Επαναληπτικού Συγκλίνοντος Σχεδιασμού (Iterative Convergent Design, ICD), η οποία οργανώνει την αξιολόγηση χρηστικότητας (usability) σε διαδοχικούς κύκλους σχεδιασμού, ώστε τα ευρήματα κάθε επανάληψης να τροφοδοτούν τη βελτίωση της διεπαφής προτού ξεκινήσει η επόμενη. Η εμπειρία χρήστη (UX) καλύπτεται δευτερευόντως, στον βαθμό που ο μικτός σχεδιασμός συλλέγει, πέρα από μετρικές εκτέλεσης εργασιών, και τις αντιλήψεις και την ικανοποίηση των συμμετεχόντων. Ποιοτικές και ποσοτικές μέθοδοι συνδυάζονται ως μικτή μεθοδολογία (mixed-methods). Πρόκειται για εννοιολογική/μεθοδολογική πρόταση. Περιγράφεται το πλαίσιο μαζί με τον τρόπο ενσωμάτωσής του στον κύκλο ανάπτυξης, οπότε ο βαθμός αυτοματοποίησης είναι χειροκίνητος, αφού η συλλογή και η ερμηνεία των δεδομένων χρηστικότητας στηρίζονται σε ανθρώπινη κρίση και σε μεθόδους αξιολόγησης χρηστικότητας (usability methods) με συμμετοχή πραγματικών χρηστών, δίχως αυτοματοποιημένη εκτέλεση δοκιμών.

Όταν η αξιολόγηση χρηστικότητας εντάσσεται μέσα σε κάθε επανάληψη του σχεδιασμού αντί να αφήνεται ως μεταγενέστερος έλεγχος, τα προβλήματα διεπαφής εντοπίζονται έγκαιρα, όσο δηλαδή το κόστος αλλαγής παραμένει ακόμη χαμηλό. Το πλεονέκτημα αυτό έχει ιδιαίτερη βαρύτητα για εφαρμογές κινητής υγείας που απευθύνονται σε ευάλωτους ή μη εξοικειωμένους με την τεχνολογία χρήστες. Συμπληρωματική εικόνα δίνει ο συνδυασμός ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων σε κάθε κύκλο. Οι μετρικές αποτυπώνουν το «τι», ενώ οι ποιοτικές

παρατηρήσεις φωτίζουν το «γιατί» των δυσκολιών των χρηστών. Κάθε επανάληψη δένεται ρητά με συγκεκριμένες σχεδιαστικές αποφάσεις, και έτσι προκύπτει ένα δομημένο, επαναλήψιμο πλαίσιο που μεταφέρεται σε διαφορετικά έργα κινητής υγείας.

Σε επίπεδο μεθοδολογικής πρότασης παραμένει η συμβολή, χωρίς εκτεταμένη πειραματική επικύρωση σε ποικίλα συστήματα. Η έλλειψη αυτή περιορίζει την τεκμηρίωση για το πόσο γενικεύονται τα οφέλη της. Καθώς η διαδικασία είναι χειροκίνητη και εξαρτάται από επαναλαμβανόμενες συνεδρίες με αντιπροσωπευτικούς χρήστες, ο χρόνος και το κόστος ανάπτυξης ανεβαίνουν, ενώ η κλιμάκωση σε μεγάλα ή χρονικά πιεσμένα έργα δυσχεραίνεται. Αφήνονται, τέλος, εκτός πλαισίου άλλες κρίσιμες ιδιότητες ποιότητας. Η ασφάλεια και η επίδοση μετρούν εξίσου για ιατρικές εφαρμογές, όμως η προτεινόμενη προσέγγιση, εστιασμένη αποκλειστικά στη χρηστικότητα και την εμπειρία χρήστη, δεν τις καλύπτει.

Jake-Schoffman et al. (2017) – Δευτερογενής μεθοδολογική ανασκόπηση μεθόδων αξιολόγησης εμπορικών mHealth εφαρμογών

Πώς αποτιμώνται οι εμπορικά διαθέσιμες εφαρμογές υγείας για κινητές συσκευές (mobile health, mHealth); Οι Jake-Schoffman et al. (2017) εξετάζουν αυτό το ερώτημα, συγκεντρώνοντας και συγκρίνοντας μεθόδους που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία. Πρόκειται για δευτερογενή μελέτη, και ειδικότερα για μεθοδολογική ανασκόπηση καθώς δεν αναπτύσσεται ούτε δοκιμάζεται κάποιο σύστημα, αλλά κωδικοποιούνται οι προσεγγίσεις αξιολόγησης προηγούμενων μελετών. Για τον λόγο αυτό η εργασία αξιοποιείται εδώ για σύνθεση γνώσης και δεν συμμετέχει στη συγκριτική αξιολόγηση των πρωτογενών προσεγγίσεων και εννοιολογικών προτάσεων στην Ενότητα 4.5. Η δραστηριότητα τοποθετείται στον συνδυασμένο άξονα Δοκιμή και Διασφάλιση Ποιότητας Λογισμικού, αφού η ανασκόπηση γεφυρώνει την αποτίμηση συμπεριφοράς της εφαρμογής με την ευρύτερη διασφάλιση καταλληλότητας ως προς τον τελικό χρήστη και το κλινικό περιεχόμενο. Οι μέθοδοι που κωδικοποιούνται οργανώνονται σε τρεις διαστάσεις, δηλαδή περιεχόμενο, χρηστικότητα και αποτελεσματικότητα. Αντίστοιχα, η ανασκόπηση καλύπτει τη χρηστικότητα (usability) απέναντι στον χρήστη και την αποτελεσματικότητα (efficacy) ως ιδιότητα ποιότητας εν χρήσει, την οποία η δοκιμή αποτελεσματικότητας (efficacy testing) αποτιμά με σχεδιασμούς, όπως οι τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές, ενώ η συμμόρφωση (compliance) του περιεχομένου με τεκμηριωμένες κατευθυντήριες γραμμές υγείας προκύπτει έμμεσα, ως αποτέλεσμα της ανάλυσης περιεχομένου (content analysis).

Ένα δομημένο μεθοδολογικό πλαίσιο συστηματοποιεί ετερογενείς μεθόδους αξιολόγησης σε τρεις διακριτές διαστάσεις, δηλαδή περιεχόμενο, χρηστικότητα και αποτελεσματικότητα της

εφαρμογής. Έτσι διευκολύνεται η συγκρίσιμη αποτίμηση εμπορικών mHealth εφαρμογών, που συνήθως μένουν εκτός ακαδημαϊκού ελέγχου. Καθώς η ανάλυση περιεχομένου αντιπαραβάλλει τις λειτουργίες κάθε εφαρμογής με τεκμηριωμένες κατευθυντήριες γραμμές, η συμμόρφωση συνδέεται άμεσα με τη χρηστικότητα, αναδεικνύεται ότι η αποδοχή από τον χρήστη δεν αρκεί χωρίς έγκυρο και κλινικά κατάλληλο περιεχόμενο. Ως δευτερογενής σύνθεση, η μελέτη καθιστά αναγνωρίσιμα τα κενά ανάμεσα στο περιεχόμενο των διαθέσιμων εφαρμογών και τις επιστημονικές συστάσεις, και προσφέρει σημείο αναφοράς για σχεδιαστές και αξιολογητές της αγοράς.

Η εστίαση βρίσκεται στην αξιολόγηση καταλληλότητας, όχι στη δοκιμή λογισμικού με τη στενή τεχνική έννοια. Για τον λόγο αυτό το πλαίσιο δεν εντοπίζει τεχνικά σφάλματα, αστοχίες διεπαφής ή ζητήματα απόδοσης και ασφάλειας, και η συμβολή του στη λειτουργική και μη λειτουργική δοκιμή περιορίζεται αναλόγως. Ο χειροκίνητος χαρακτήρας των μεθόδων φέρνει εξάρτηση από την κρίση των αξιολογητών και περιορισμένη επαναληψιμότητα, χωρίς δυνατότητα αυτόματης εκτέλεσης ή κλιμάκωσης σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Καθώς πρόκειται για δευτερογενή αποτύπωση ενός ταχέως μεταβαλλόμενου τοπίου εμπορικών εφαρμογών, τα ευρήματα παραμένουν χρονικά ευαίσθητα, αφού νέες εκδόσεις και κατευθυντήριες γραμμές μεταβάλλουν γρήγορα τη βάση σύγκρισης.

Sartaj et al. (2023) – Αρχιτεκτονική HITA και αυτοματοποιημένη δοκιμή σε επίπεδο συστήματος για εφαρμογές υγείας IoT

Οι Sartaj et al. (2023) προτείνουν την αρχιτεκτονική HITA (Healthcare IoT Architecture for Testing) για τη δοκιμή σε επίπεδο συστήματος (system-level testing) εφαρμογών Healthcare IoT Systems, δηλαδή διασυνδεδεμένων συστημάτων υγείας που συνδυάζουν αισθητήρες, πύλες (gateways), υπηρεσίες νέφους και εφαρμογές χρήστη. Πρόκειται για εννοιολογική μελέτη, καθώς η κύρια συνεισφορά της είναι η ίδια η αρχιτεκτονική δοκιμής HITA. Η χειροπιαστή πειραματική αποτίμηση που τη συνοδεύει δεν αλλάζει τον χαρακτήρα της συνεισφοράς και αποτυπώνεται στο κριτήριο της εμπειρικής τεκμηρίωσης (K6). Η δραστηριότητα ταξινομείται ως Δοκιμή Λογισμικού. Οι ελεγχόμενες ιδιότητες είναι η αξιοπιστία (Reliability), δηλαδή η ορθή και σταθερή ροή δεδομένων μέσα στο σύστημα, και η διαλειτουργικότητα (Interoperability) μεταξύ ετερογενών συσκευών και υπηρεσιών. Παράλληλα, η αρχιτεκτονική διευκολύνει τη δοκιμή συμμόρφωσης με πρότυπα (conformance testing) και, εν μέρει, τη δοκιμή συμβατότητας (compatibility testing) στις διεπαφές, υποστηρίζοντας συνολικά τη δοκιμή συστήματος και ολοκλήρωσης (system/integration testing). Η τεχνική στηρίζεται σε δοκιμή βασισμένη σε μοντέλα (Model-Based Testing, MBT):

η HITA παράγει ψηφιακά δίδυμα (digital twins) των φυσικών συσκευών με μοντελοκεντρικές τεχνικές και μηχανική μάθηση και τα αξιοποιεί ως εκτελέσιμα μοντέλα για την αυτόματη παραγωγή και εκτέλεση σεναρίων δοκιμής σε επίπεδο συστήματος, χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία όλων των συσκευών. Ο βαθμός αυτοματοποίησης είναι μερικός καθώς η αρχιτεκτονική αυτοματοποιεί την παραγωγή μοντέλων και την εκτέλεση των δοκιμών, δεν συνιστά όμως ολοκληρωμένη, διατερματική (end-to-end) αλυσίδα συνεχούς ολοκλήρωσης, καθώς η ρύθμιση του περιβάλλοντος και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων προϋποθέτουν ανθρώπινη εμπλοκή.

Η αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων που παράγονται με μηχανική μάθηση αποτελεί συγκεκριμένο όφελος της προσέγγισης, αφού επιτρέπει την εκτέλεση δοκιμών σε επίπεδο συστήματος χωρίς διαθεσιμότητα του πλήρους συνόλου φυσικών ιατρικών συσκευών, μειώνοντας έτσι το κόστος και τους πρακτικούς περιορισμούς του στησίματος ενός πλήρους εργαστηριακού περιβάλλοντος. Η HITA συνδέει επιπλέον ρητά τη δομή του συστήματος με τη μέθοδο δοκιμής: ορίζοντας τα συστατικά, τις διεπαφές και τις ροές δεδομένων, παρέχει τα μοντέλα από τα οποία προκύπτουν αυτόματα τα σενάρια ελέγχου της αξιοπιστίας και της διαλειτουργικότητας, γεφυρώνοντας το κενό μεταξύ της δοκιμής μεμονωμένων συστατικών και της δοκιμής της συνολικής συμπεριφοράς. Η επαναχρησιμοποιησιμότητα της αρχιτεκτονικής αποτελεί πρόσθετο πλεονέκτημα, αφού η ίδια δομή προσαρμόζεται σε διαφορετικές τοπολογίες διασυνδεδεμένων συσκευών, στοιχείο που υποστηρίζει την αναπαραγωγιμότητα των πειραμάτων δοκιμής.

Η ίδια η προσέγγιση των ψηφιακών διδύμων εισάγει επιβάρυνση: για κάθε επιπλέον τύπο συσκευής απαιτούνται εκπαίδευση και επικύρωση ξεχωριστού μοντέλου μηχανικής μάθησης, με αποτέλεσμα το κόστος προετοιμασίας και η πολυπλοκότητα να αυξάνονται όσο μεγαλώνει ο αριθμός των ετερογενών διασυνδεδεμένων συσκευών, ενώ τυχόν αδυναμία ενός μοντέλου να αναπαραστήσει πιστά τη συσκευή υπονομεύει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της δοκιμής. Η ασφάλεια (Security) δεν καλύπτεται καθώς η HITA επικεντρώνεται στην ορθότητα της ανταλλαγής δεδομένων και δεν εξετάζει την προστασία τους, για παράδειγμα τη κρυπτογράφηση και έλεγχο πρόσβασης, αφήνοντας εκτός πεδίου μια κρίσιμη διάσταση των ιατρικών συστημάτων. Η αξιολόγηση, τέλος, επικυρώνει κυρίως τον μηχανισμό παραγωγής ψηφιακών διδύμων, δηλαδή την πιστότητα των μοντέλων και την κλιμάκωσή τους έως 100 ταυτόχρονα δίδυμα, και όχι την ικανότητα των παραγόμενων δοκιμών να εντοπίζουν σφάλματα, ενώ το γεγονός ότι η επικύρωση περιορίζεται σε έναν οργανισμό υγείας συρρικνώνει τη γενίκευση των ευρημάτων.

Wairagade & Cuthrell (2025) – Δευτερογενής ανασκόπηση δοκιμών λογισμικού υποβοηθούμενων από τεχνητή νοημοσύνη σε εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας

Οι Wairagade και Cuthrell (2025) επιχειρούν μια δευτερογενή ανασκόπηση με αντικείμενο τις δοκιμές λογισμικού υποβοηθούμενες από τεχνητή νοημοσύνη (AI-powered software testing) σε εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας (eHealth Applications). Δεν πρόκειται για πρωτογενή έρευνα ούτε για εννοιολογική πρόταση καθώς η εργασία συνθέτει υπάρχουσα γνώση για το πώς η τεχνητή νοημοσύνη αντιμετωπίζει τους περιορισμούς της χειροκίνητης και της κανονοκεντρικής αυτοματοποιημένης δοκιμής σε ένα ολοένα πιο σύνθετο υγειονομικό λογισμικό, και για τον λόγο αυτό αξιοποιείται εδώ για σύνθεση γνώσης και όχι για σύγκριση με τις πρωτογενείς προσεγγίσεις και εννοιολογικές προτάσεις. Η δραστηριότητα χαρακτηρίζεται συνδυαστική (Testing + SQA) επειδή, πέρα από τις τεχνικές δοκιμής, η σύνθεση καλύπτει και πρακτικές που ανήκουν στη διασφάλιση ποιότητας: την ενσωμάτωση της δοκιμής σε ροές DevOps/CI, τα πλαίσια επικύρωσης σε πραγματικό χρόνο και την αυτοματοποιημένη ανίχνευση ελαττωμάτων ως στοιχείο της διεργασίας ποιότητας σε όλο τον κύκλο ζωής.

Η ανασκόπηση καλύπτει τέσσερις ιδιότητες ποιότητας, την αξιοπιστία (Reliability), την ασφάλεια (Security), την απόδοση (Performance) και τη χρηστικότητα (Usability), αφού οι συγγραφείς μελετούν πολλαπλά είδη δοκιμών αντί ενός μόνο. Ως προκλήσεις εντοπίζονται τα εμπόδια υιοθέτησης, ενώ ως μελλοντικές κατευθύνσεις σημειώνονται η επεξηγήσιμη τεχνητή νοημοσύνη (Explainable AI, XAI) στη δοκιμή, η ενσωμάτωση σε ροές DevOps/CI και η επικύρωση σε πραγματικό χρόνο.

Σαφές κίνητρο δίνει στην ανάλυση η οριοθέτηση του πεδίου σε λογισμικό υγείας με κρίσιμες για την ασφάλεια συνέπειες. Παραδείγματα αστοχίας όπως η εσφαλμένη διάγνωση, η λανθασμένη φαρμακευτική αγωγή και οι παραβιάσεις δεδομένων δείχνουν γιατί ένα σφάλμα που διαφεύγει στη φάση της δοκιμής μπορεί αργότερα να μεταφερθεί στην παραγωγική χρήση και να επηρεάσει κλινικές αποφάσεις. Διευρύνεται, επιπλέον, η κάλυψη πέρα από μία μεμονωμένη τεχνική. Η σύνθεση αγγίζει ταυτόχρονα τη λειτουργική δοκιμή, την απόδοση, την ασφάλεια και τη χρηστικότητα, προσφέροντας στον αναγνώστη μια συγκριτική εικόνα του πώς η τεχνητή νοημοσύνη υποστηρίζει την κάλυψη δοκιμών, την ανίχνευση ελαττωμάτων και την ευρωστία. Αξία έχει και ο προσανατολισμός προς ανοιχτά ερευνητικά κενά, με ρητή ανάδειξη της επεξηγήσιμης τεχνητής νοημοσύνης στη δοκιμή, της ενσωμάτωσης σε DevOps/CI και της επικύρωσης σε πραγματικό χρόνο ως μελλοντικών κατευθύνσεων για αξιοπιστία και ασφάλεια.

Ως δευτερογενής μελέτη χωρίς πρωτογενή εμπειρική αποτίμηση, η εργασία δεν παρουσιάζει σημεία αναφοράς (benchmarks) ούτε ποσοτικά αποτελέσματα. Οι ισχυρισμοί περί αποτελεσματικότητας της υποβοηθούμενης από τεχνητή νοημοσύνη δοκιμής δεν επαληθεύονται ανεξάρτητα. Τυχόν σύγκριση προσεγγίσεων δεν στηρίζεται σε κοινές μετρικές, αφού τα υποκείμενα περιβάλλοντα και δεδομένα αξιολόγησης διαφέρουν μεταξύ των πηγών που συγκεντρώνονται. Αφηγηματική και ελαφριά εμφανίζεται η μεθοδολογία, χωρίς πρωτόκολλο PRISMA, ρητές συμβολοσειρές αναζήτησης, κριτήρια ένταξης/αποκλεισμού ή αναφερόμενο πλήθος μελετών, στοιχείο που περιορίζει την αναπαραγωγιμότητα και την ελεγχσιμότητα των συμπερασμάτων. Περιορισμό συνιστά επίσης η γενικότητα του πεδίου, καθώς η αναφορά σε εφαρμογές υγείας δεν αγκυρώνεται σε συγκεκριμένα συστήματα ή κανονιστικά πλαίσια συμμόρφωσης. Η δημοσίευση σε χαμηλής απήχησης χώρο με μηδενικές ετεροαναφορές αποδυναμώνει περαιτέρω την τεκμηρίωση.

#### 4.4 Προσεγγίσεις Διασφάλισης Ποιότητας Λογισμικού (SQA)

Σε αντιδιαστολή με τη δοκιμή, οι προσεγγίσεις διασφάλισης ποιότητας εστιάζουν σε διαδικασίες, πρότυπα και μοντέλα ποιότητας. Οι μελέτες που ακολουθούν αντιμετωπίζουν την ποιότητα σε επίπεδο διεργασίας και συμμόρφωσης, παρά μέσω εκτέλεσης δοκιμών. Η ενότητα περιλαμβάνει προσεγγίσεις που σχετίζονται με τη διασφάλιση ποιότητας ή με συνδυαστική αξιολόγηση ποιότητας: τις εννοιολογικές προτάσεις των Zaki et al. (2022) και Weber (2019), καθώς και τις πρωτογενείς ή συνδυαστικές μελέτες των Ronchieri & Canaparo (2023), Vilela et al. (2019), Baltaxe et al. (2023) και Caballero et al. (2021). Όλες συμμετέχουν στη συγκριτική αξιολόγηση της Ενότητας 4.5.

##### Vilela et al. (2019) – Πειραματική μέτρηση επιδόσεων λύσης fog-IoT για εφαρμογές e-Health

Οι Vilela et al. (2019) αξιολογούν πειραματικά τις επιδόσεις μιας υποβοηθούμενης από ομίχλη (fog-assisted) αρχιτεκτονικής IoT για εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας, μετρώντας μεγέθη όπως ο χρόνος απόκρισης και η καθυστέρηση. Η δραστηριότητα δεν συνιστά δοκιμή λογισμικού με τη στενή έννοια, αφού δεν σχεδιάζονται ούτε εκτελούνται περιπτώσεις δοκιμής με αναμενόμενα αποτελέσματα αλλά πρόκειται για μέτρηση και αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος, δραστηριότητα που ανήκει στη διασφάλιση ποιότητας. Για τον λόγο αυτό η μελέτη εξετάζεται μαζί με τις υπόλοιπες προσεγγίσεις διασφάλισης ποιότητας, με αντίστοιχη κατάταξη στον Πίνακα 4. Το αντικείμενο αφορά συστήματα IoT υγείας (Healthcare IoT Systems) και κύρια ιδιότητα ποιότητας αποτελεί η απόδοση (Performance). Καθώς η

αξιολόγηση στηρίζεται σε ποσοτικές μετρήσεις μέσα σε ελεγχόμενο περιβάλλον, πρόκειται για πρωτογενή εμπειρική μελέτη με μερικό βαθμό αυτοματοποίησης.

Το βασικό όφελος έγκειται στην ποσοτική, πειραματική τεκμηρίωση των επιδόσεων μιας fog-IoT αρχιτεκτονικής, με ανάδειξη των πλεονεκτημάτων που έχει η επεξεργασία κοντά στο άκρο για εφαρμογές υγείας χαμηλής καθυστέρησης. Η αξιολόγηση καλύπτει έτσι μια ιδιότητα κρίσιμη για διασυνδεδεμένα ιατρικά συστήματα πραγματικού χρόνου. Επιπλέον, οι μετρήσεις διεξάγονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, γεγονός που επιτρέπει συγκρισιμότητα έναντι εναλλακτικών αρχιτεκτονικών.

Η αξιολόγηση περιορίζεται στην απόδοση, χωρίς να καλύπτει την ασφάλεια ή τη διαλειτουργικότητα, ιδιότητες κρίσιμες για τα συστήματα IoT υγείας. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται, εξάλλου, από τη συγκεκριμένη πειραματική διάταξη, και η εξάρτηση αυτή περιορίζει τη γενικευσιμότητα σε διαφορετικά φορτία και τοπολογίες. Η αυτοματοποίηση αφορά, τέλος, κυρίως τη συλλογή μετρήσεων και όχι την πλήρη παραγωγή και εκτέλεση σεναρίων δοκιμής.

Weber et al. (2019) – Ανάλυση επικινδυνότητας STPA σε προφίλ συμμόρφωσης διαλειτουργικότητας για eHealth συστήματα

Οι Weber et al. (2019) εξετάζουν τη διαλειτουργικότητα (interoperability) μεταξύ συστημάτων υγείας βασισμένων στο νέφος (Cloud-based Healthcare Systems), με έμφαση στη συμμόρφωση (compliance) ως προς πρότυπα ανταλλαγής κλινικών δεδομένων. Ως τεχνική εφαρμόζεται η ανάλυση επικινδυνότητας STPA (System-Theoretic Process Analysis) πάνω σε προφίλ συμμόρφωσης διαλειτουργικότητας: οι αναλυτές εξετάζουν το ίδιο το προφίλ, δηλαδή την προδιαγραφή της ανταλλαγής δεδομένων, και εντοπίζουν ελλείψεις ή εσφαλμένους περιορισμούς που ο τυπικός έλεγχος συμμόρφωσης και η πιστοποίηση αδυνατούν να αναδείξουν. Η προσέγγιση δεν προτείνει, επομένως, κάποια τεχνική δοκιμής διαλειτουργικότητας με εκτέλεση σεναρίων αλλά πρόκειται για αναλυτική μέθοδο επιπέδου προδιαγραφής, η οποία εντάσσεται στη διασφάλιση ποιότητας λογισμικού και συγγενεύει με τη μηχανική απαιτήσεων, ενώ με τη δοκιμή συνδέεται μόνο έμμεσα, στον βαθμό που τα ευρήματά της μπορούν να τροφοδοτήσουν την παραγωγή περιπτώσεων δοκιμής. Πρόκειται για εννοιολογική μελέτη, καθώς η κύρια συνεισφορά της είναι το θεωρητικό μοντέλο της διαλειτουργικότητας ως κοινωνικο-τεχνικής διαδικασίας καθώς η μελέτη περίπτωσης που τη συνοδεύει, σε σύστημα ανταλλαγής κλινικών δεδομένων με στοιχεία από ειδικούς, αποτιμάται στο κριτήριο της εμπειρικής τεκμηρίωσης (K6). Ο βαθμός αυτοματοποίησης είναι χειροκίνητος, αφού η ανάλυση STPA διεξάγεται από αναλυτές χωρίς αυτοματοποιημένη

εκτέλεση, εργαλείο ή pipeline. Οι ιδιότητες ποιότητας που πραγματεύεται, η διαλειτουργικότητα και η συμμόρφωση, είναι μη λειτουργικές.

Συστηματική εφαρμογή της STPA σε προφίλ συμμόρφωσης επιτρέπει τον εντοπισμό επικίνδυνων αλληλεπιδράσεων που παραμένουν αόρατες όταν η αξιολόγηση περιορίζεται σε τυπικό έλεγχο συμμόρφωσης με HL7/FHIR. Αναδεικνύεται έτσι η διάκριση ανάμεσα στην τυπική τήρηση προτύπου και στην πραγματική διαλειτουργικότητα κατά την ανταλλαγή κλινικών δεδομένων. Η εξέταση πραγματικών σεναρίων ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συστημάτων υγείας στο νέφος προσφέρει επιπλέον συγκεκριμένες κατευθύνσεις για τη σχεδίαση ελέγχων που καλύπτουν τη μορφοποίηση, τη μετάδοση και την ερμηνεία των δεδομένων. Η εστίαση στην επικινδυνότητα συνδέει, τέλος, τα κενά διαλειτουργικότητας απευθείας με κλινικούς κινδύνους, στοιχείο κρίσιμο για συστήματα όπου η εσφαλμένη ερμηνεία δεδομένων έχει συνέπειες στην ασφάλεια του ασθενούς.

Η χειροκίνητη φύση της ανάλυσης STPA απαιτεί εξειδικευμένη τεχνογνωσία και σημαντικό ανθρωποχρόνο, ενώ τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την κρίση του αναλυτή και δεν επαναλαμβάνονται εύκολα σε νέα προφίλ συμμόρφωσης. Η προσέγγιση δεν παρέχει αυτοματοποιημένο εργαλείο ή εκτελέσιμο πλαίσιο δοκιμής. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού σκοπός της είναι η ανάλυση και η αξιολόγηση του προφίλ συμμόρφωσης και όχι η δοκιμή διαλειτουργικότητας, χαρακτηριστικό που επιβεβαιώνει την ένταξή της στη διασφάλιση ποιότητας. Η μεταφορά των ευρημάτων σε συνεχή ή ενσωματωμένη ροή ελέγχου μένει, πάντως, στον αναγνώστη. Η επικύρωση μέσω επιλεγμένων σεναρίων ανταλλαγής δεδομένων περιορίζει, τέλος, τη γενίκευση, αφού καλύπτει συγκεκριμένες περιπτώσεις και δύσκολα επεκτείνεται σε διαφορετικά πρότυπα, εκδόσεις και τοπολογίες ολοκλήρωσης.

[Zaki et al. \(2022\)](#) – Αρχιτεκτονικό πλαίσιο μικροϋπηρεσιών με υποστήριξη cloud για συστήματα υγείας

Οι Zaki et al. (2022) προτείνουν ένα αρχιτεκτονικό πλαίσιο ανάπτυξης θεμελιωμένο σε μικροϋπηρεσίες (microservices) και υποδομές νέφους (cloud) για συστήματα υγείας υποστηριζόμενα από νέφος (Cloud-based Healthcare Systems), με ενσωματωμένη πρακτική συνεχούς ολοκλήρωσης και παράδοσης (Continuous Integration / Continuous Delivery, CI/CD). Η συνεισφορά τοποθετείται στον άξονα της Διασφάλισης Ποιότητας Λογισμικού (Software Quality Assurance, SQA) και όχι της καθαρής δοκιμής. Η βελτίωση της ποιότητας απορρέει καταρχάς από τη φύση της ίδιας της αρχιτεκτονικής μικροϋπηρεσιών, αφού η απομόνωση των υπηρεσιών, η αρθρωτότητα και η οριζόντια κλιμάκωση περιορίζουν εγγενώς ορισμένες κατηγορίες αστοχιών. Η άμεση όμως συσχέτιση με τη διασφάλιση ποιότητας

προκύπτει από τις πρακτικές που ενσωματώνονται στο προτεινόμενο πλαίσιο ανάπτυξης, και ειδικότερα από τον αγωγό CI/CD, ο οποίος προβλέπει βήματα δοκιμών σε κάθε κύκλο ενοποίησης και παράδοσης.

Η πρόταση πραγματεύεται δύο ιδιότητες ποιότητας. Η πρώτη είναι η επίδοση (Performance), μέσω οριζόντιας κλιμάκωσης, ανεξάρτητης ανάπτυξης και κατανομής φόρτου. Η δεύτερη είναι η αξιοπιστία (Reliability) όπου σε αυτήν συνεισφέρουν άμεσα η συνεχής ενοποίηση και η συνεχής παράδοση, στον βαθμό που οι σχετικοί αγωγοί περιλαμβάνουν βήματα δοκιμών, ενώ η απομόνωση υπηρεσιών και η αρθρωτότητα συμβάλλουν έμμεσα. Ως προς τον χαρακτήρα της, η μελέτη συνιστά εννοιολογική πρόταση καθώς δεν αποτελεί πρωτογενή εμπειρική έρευνα ούτε δευτερογενή ανασκόπηση, αλλά αρχιτεκτονική σχεδίαση, της οποίας τα οφέλη ποιότητας τεκμηριώνονται κατά κύριο λόγο σε επίπεδο σχεδίασης. Ο βαθμός αυτοματοποίησης κρίνεται ως μερικός ακριβώς λόγω των αγωγών CI/CD. Οι αγωγοί αυτοματοποιούν τα βήματα ενοποίησης, δοκιμής και παράδοσης, προτείνονται όμως ως δομικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής και όχι ως πλήρως αυτοματοποιημένος, διατερματικός (end-to-end) μηχανισμός δοκιμής με μετρημένη εκτέλεση.

Το αρχιτεκτονικό πλαίσιο είναι σαφές και καλά αιτιολογημένο καθώς προσαρμόζεται στους περιορισμούς του τομέα της υγείας και συνδυάζει αρθρωτές μικροϋπηρεσίες, υποδομές νέφους και CI/CD με τρόπο που αντικατοπτρίζει ρεαλιστικές ανάγκες. Η πρόταση διευθετεί πραγματικά ζητήματα συντηρησιμότητας και κλιμακωσιμότητας των συστημάτων υγείας, αφού η απομόνωση και η ανεξάρτητη ανάπτυξη υπηρεσιών επιτρέπουν στοχευμένες παρεμβάσεις χωρίς αναδιάταξη ολόκληρου του μονολιθικού συστήματος, ενώ η ενσωμάτωση CI/CD υπόσχεται ταχύτερη ανατροφοδότηση κατά την ανάπτυξη.

Ο βασικός περιορισμός έγκειται στον εννοιολογικό χαρακτήρα της πρότασης: οι ισχυρισμοί για επίδοση και κλιμακωσιμότητα μένουν σε επίπεδο σχεδίασης και δεν τεκμηριώνονται μέσω ελεγχόμενης, ποσοτικής αξιολόγησης, χωρίς αναπαραγώγιμο σύνολο δεδομένων αναφοράς (benchmark) ή μετρήσιμα αποτελέσματα που να επιτρέπουν συγκρισιμότητα. Το στοιχείο αυτό αγγίζει και τη συνάφεια της μελέτης με το αντικείμενο της ανασκόπησης: εφόσον η δοκιμή και η διασφάλιση ποιότητας εμφανίζονται ως σχεδιαστικές προβλέψεις του αγωγού CI/CD και όχι ως εμπειρικά αποτιμημένη πρακτική, η μελέτη εντάσσεται στο σώμα των μελετών ως εννοιολογική πρόταση και η συμβολή της στη διασφάλιση ποιότητας παραμένει έμμεση. Η διατύπωση ότι μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική υποστηρίζει αποδοτικότερες δοκιμές δεν συνιστά από μόνη της συγκεκριμένη συνεισφορά στον έλεγχο ιατρικών εφαρμογών. Επιπλέον, η αυξημένη πολυπλοκότητα των μικροϋπηρεσιών μετατοπίζει το βάρος στη δοκιμή

ολοκλήρωσης και στη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ υπηρεσιών, όπου ενδέχεται να εμφανιστούν σημεία συμφόρησης (bottlenecks) εάν η αρχιτεκτονική δεν υλοποιηθεί ορθά, πτυχή που η πρόταση δεν αποτιμά εμπειρικά.

#### Ronchieri & Canaparo (2023) – Σύνθεση μοντέλων ποιότητας λογισμικού για την ποιότητα λογισμικού υγείας

Η εργασία των Ronchieri & Canaparo (2023) εντάσσεται στη διασφάλιση ποιότητας λογισμικού (Software Quality Assurance, SQA) και όχι στην εκτέλεση δοκιμών, αφού πραγματεύεται την αποτίμηση κρισιμοτήτων του λογισμικού υγείας μέσα από καθιερωμένα μοντέλα ποιότητας και όχι μέσα από μετρήσιμα αποτελέσματα δοκιμής. Αντικείμενο αποτελούν οι εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας (eHealth Applications) ως ευρύτερη κατηγορία, και όχι ένα συγκεκριμένο σύστημα ηλεκτρονικού φακέλου υγείας. Η μελέτη είναι πρωτογενής, καθώς χρησιμοποιεί ανάλυση εγγράφων για την παραγωγή νέας γνώσης, δηλαδή μιας δομημένης αντιστοίχισης κρισιμοτήτων σε χαρακτηριστικά ποιότητας, χωρίς τη μεθοδολογία συστηματικής ανασκόπησης. Για τον λόγο αυτό συμμετέχει και στη συγκριτική αξιολόγηση της Ενότητας 4.5, με χαμηλό βαθμό αυτοματοποίησης, αφού η ανάλυση διενεργείται χειροκίνητα. Η τεχνική συνίσταται στην ανάλυση και σύνθεση μοντέλων ποιότητας λογισμικού (McCall, Boehm, ISO) και προτύπων γλωσσών προγραμματισμού, με τριγωνισμό τριών πηγών: της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, των μοντέλων ποιότητας με έμφαση στο μοντέλο McCall και των προτύπων κωδικοποίησης. Καθώς τα μοντέλα ποιότητας καλύπτουν εξ ορισμού πολλές ιδιότητες, η αντιστοίχιση δεν περιορίζεται στην αξιοπιστία (Reliability) αλλά εκτείνεται στη λειτουργική ορθότητα, τη χρηστικότητα, τη συντηρησιμότητα, την ευελιξία απέναντι σε συχνά μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και την προστασία του ασθενούς (safety), η οποία εντάσσεται εδώ στην ευρύτερη ιδιότητα της ασφάλειας. Οι συγγραφείς προβάλλουν πάντως την αξιοπιστία ως κεντρικό ζητούμενο, επειδή τη συνδέουν με τη μείωση των αστοχιών λογισμικού και, μέσω αυτής, με την ακρίβεια της κλινικής λήψης αποφάσεων, της διάγνωσης και της θεραπείας. Το παραγόμενο τεκμήριο είναι μια δομημένη αντιστοίχιση κρισιμοτήτων σε χαρακτηριστικά ποιότητας, η οποία δείχνει πού συγκεντρώνονται οι αδυναμίες του λογισμικού υγείας και ποια χαρακτηριστικά ποιότητας τις αντισταθμίζουν.

Τρία σημεία υπεροχής ξεχωρίζουν. Πρώτον, η αιτιολόγηση εδράζεται σε ένα σαφές πλαίσιο κρισιμότητας που αφορά την προστασία του ασθενούς (safety) και όχι την ασφάλεια έναντι επιθέσεων (security): συνδέοντας την αξιοπιστία του λογισμικού με την ορθότητα της κλινικής απόφασης, της διάγνωσης και της θεραπείας, οι συγγραφείς καθιστούν ρητή τη σημασία της ποιότητας ειδικά για το λογισμικό υγείας. Δεύτερον, η σύνθεση είναι συστηματική: τριγωνίζει

τρεις διακριτές πηγές κρισιμοτήτων, δηλαδή βιβλιογραφία, καθιερωμένα μοντέλα ποιότητας όπως το McCall και πρότυπα γλωσσών προγραμματισμού, αντί να στηρίζεται σε ένα μόνο πλαίσιο, και έτσι προσφέρει πληρέστερη χαρτογράφηση των αδυναμιών. Τρίτον, ο πρακτικός προσανατολισμός προς τη μείωση των αστοχιών λογισμικού, μαζί με την επισημάνση της απαιτούμενης ευελιξίας όταν οι απαιτήσεις που καθορίζονται από τις διαδικασίες υγείας μεταβάλλονται συχνά, δίνει στους αναγνώστες κατευθύνσεις για την υιοθέτηση μοντέλων ποιότητας στην πράξη.

Τρεις περιορισμοί οριοθετούν την εμβέλεια των ευρημάτων. Καταρχάς, απουσιάζει εμπειρική επικύρωση και πραγματική εκτέλεση δοκιμών, επειδή το αποτέλεσμα είναι εννοιολογική αντιστοίχιση μοντέλων ποιότητας, οι ισχυρισμοί για τη μείωση των αστοχιών τεκμηριώνονται επιχειρηματολογικά και δεν μετρώνται σε λειτουργικά συστήματα. Επιπλέον, το εύρος παραμένει γενικό, καθώς το λογισμικό υγείας αντιμετωπίζεται ως ευρεία κλάση χωρίς συγκεκριμένη περιπτωσιολογική μελέτη σε σύστημα ηλεκτρονικού φακέλου, τηλεϊατρικής ή υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, και αυτό περιορίζει την εξωτερική και λειτουργική εγκυρότητα. Τέλος, μολονότι η ανάλυση αξιοποιεί περισσότερα μοντέλα ποιότητας, το κλασικό μοντέλο McCall (1977) κατέχει κεντρική θέση, και η σύνδεση των προτάσεων με σύγχρονες πρακτικές συνεχούς διασφάλισης ποιότητας παραμένει περιορισμένη, κάτι που μειώνει εν μέρει τη μεταφερσιμότητά τους σε σύγχρονες ροές ανάπτυξης.

[Baltaxe et al. \(2023\)](#) – Αξιολόγηση ιατροτεχνολογικού λογισμικού για ενσωματωμένη φροντίδα σε νοσοκομειακό περιβάλλον

Οι Baltaxe et al. (2023) ξεκινούν από την πιλοτική εφαρμογή τεσσάρων ψηφιακών παρεμβάσεων υγείας σε τριτοβάθμιο νοσοκομείο, το Hospital Clinic de Barcelona. Πάνω σε αυτή τη βάση οι συγγραφείς διαμορφώνουν ένα πραγματιστικό πρωτόκολλο αξιολόγησης για ιατροτεχνολογικό λογισμικό (Medical Device Software, MDS), το οποίο υποστηρίζει τηλεϊατρικά συστήματα (Telemedicine Systems) ενσωματωμένης χρόνιας φροντίδας. Η δραστηριότητα ανήκει στη Διασφάλιση Ποιότητας Λογισμικού και όχι στη δοκιμή λειτουργικής συμπεριφοράς, αφού το βάρος πέφτει στην οργανωσιακή και κανονιστική διακυβέρνηση της υιοθέτησης παρά στον εντοπισμό σφαλμάτων εκτέλεσης. Στο θεωρητικό της σκέλος η μελέτη πραγματεύεται τρεις ιδιότητες ποιότητας, την κανονιστική συμμόρφωση (Compliance), την ασφάλεια (Security) και τη διαλειτουργικότητα (Interoperability), τις οποίες οι συγγραφείς συνδέουν με τη βιωσιμότητα της υιοθέτησης και με το ρυθμιστικό πλαίσιο της ΕΕ και των ΗΠΑ. Στο πρακτικό σκέλος, κατά την προεμπορική αξιολόγηση των τεσσάρων πιλοτικών παρεμβάσεων, αξιολογείται επιπλέον η χρηστικότητα (Usability) των εργαλείων.

Η συμβολή έχει δύο σκέλη. Το πρώτο είναι επισκοπικό: συνθέτει τη ρυθμιστική βιβλιογραφία περί λογισμικού ιατροτεχνολογικών προϊόντων και την εμπειρία εποπτείας μετά τη διάθεση στην αγορά. Το δεύτερο είναι πρωτογενές και πρακτικό: οι συγγραφείς διενεργούν οι ίδιοι την προεμπορική αξιολόγηση των τεσσάρων πιλοτικών παρεμβάσεων στο νοσοκομειακό περιβάλλον, η οποία περιλαμβάνει και αξιολόγηση χρηστικότητας με μετρήσιμα αποτελέσματα από εργαλεία αποτίμησης. Λόγω αυτού του εμπειρικού σκέλους η μελέτη αντιμετωπίζεται ως πρωτογενής και συμμετέχει στη συγκριτική αξιολόγηση της Ενότητας 4.5. Ο βαθμός αυτοματοποίησης είναι χειροκίνητος καθώς η προσέγγιση στηρίζεται σε συνδημιουργία και πρωτόκολλο βελτίωσης ποιότητας (cocreation / quality-improvement protocol) με δομημένη επισκόπηση και ελέγχους τεκμηρίωσης (Review + Audits), χωρίς αυτοματοποιημένη εκτέλεση δοκιμών.

Θεμελιωμένη σε πραγματική κλινική ανάπτυξη, η προσέγγιση αντλεί εγκυρότητα από την πιλοτική δοκιμή τεσσάρων ενεργών παρεμβάσεων ψηφιακής υγείας σε τριτοβάθμιο νοσοκομείο, κάτι που της δίνει πρακτική εφαρμοσιμότητα μέσα σε αυθεντικό περιβάλλον φροντίδας. Η μηχανική οπτική γεφυρώνεται έτσι με τη ρυθμιστική, καθώς η προ της διάθεσης αποτίμηση συνδυάζεται με δομημένη επισκόπηση του πλαισίου ΕΕ και ΗΠΑ για το λογισμικό ιατροτεχνολογικών προϊόντων και με την εποπτεία μετά τη διάθεση, ώστε η συμμόρφωση, η ασφάλεια και η διαλειτουργικότητα να αντιμετωπίζονται ενιαία. Παράγεται, τέλος, ένα επαναχρησιμοποιήσιμο πρωτόκολλο αξιολόγησης μαζί με συγκεκριμένες συστάσεις βασισμένες σε δείκτες επίδοσης (Key Performance Indicators, KPIs). Επισημαίνεται και ο ρόλος μιας ειδικής ομάδας διαχείρισης αλλαγής, που βελτιώνει τη συγκρισιμότητα μεταξύ παρεμβάσεων ενσωματωμένης φροντίδας.

Η μελέτη περιορίζεται ωστόσο σε ενιαίο φορέα και ενιαίο κέντρο, ένα μόνο τριτοβάθμιο νοσοκομείο, και έτσι η γενικευσιμότητα προς συστήματα μεγαλύτερης κλίμακας ή προς οργανισμούς χαμηλής οργανωσιακής ωριμότητας συρρικνώνεται. Η μεθοδολογία παραμένει ποιοτική και βιωματική, καθώς στηρίζεται σε συνδημιουργία, βελτίωση ποιότητας και καταγραφή διδαγμάτων, χωρίς ποσοτική απόδειξη αποτελεσματικότητας ή στατιστική τεκμηρίωση των εκβάσεων. Η σύνθεση του ρυθμιστικού πλαισίου δεν ακολουθεί επίσης συστηματικό και αναπαραγώγιμο πρωτόκολλο, αφήνοντας περιθώριο μεροληψίας εμπειρογνωμοσύνης. Η απουσία αυτοματοποιημένων εργαλείων δοκιμής περιορίζει, τέλος, την άμεση μεταφορά της προσέγγισης σε τεχνικά ελεγκτικά πλαίσια.

Caballero et al. (2021) – Σύστημα LifeDoc για διαθεσιμότητα και παρακολούθηση διαδικτυακών ιατρικών συνεδριών

Οι Caballero et al. (2021) παρουσιάζουν το σύστημα LifeDoc, μια διαδικτυακή πλατφόρμα ιατρικών συνεδριών (τηλε-συμβουλευτική), για την οποία διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα (availability) και τη συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας. Ο χαρακτήρας της εργασίας είναι συνδυαστικός, αφού ενώνει τη δοκιμή με τη συνεχή παρακολούθηση. Πρόκειται για πρωτογενή μελέτη ενός λειτουργικού συστήματος. Οι συγγραφείς ελέγχουν το σύστημα τόσο σε λειτουργικό όσο και σε μη λειτουργικό επίπεδο, με τη μη λειτουργική αξιολόγηση να καλύπτει περισσότερες ιδιότητες ποιότητας και όχι μόνο μία. Στο επίκεντρο βρίσκονται η αξιοπιστία (Reliability), μέσω της διαθεσιμότητας (availability), και η ασφάλεια (Security), που αξιολογείται και αυτή στο πλαίσιο του μη λειτουργικού ελέγχου. Ο βαθμός αυτοματοποίησης είναι μερικός, με συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργίας.

Μια κρίσιμη ιδιότητα των διαδικτυακών ιατρικών υπηρεσιών, η διαθεσιμότητα, αντιμετωπίζεται εδώ ευθέως, και η ιδιότητα αυτή συνδέεται άμεσα με την ασφάλεια των ασθενών και με τη συνέχεια της φροντίδας. Χάρη στη συνεχή παρακολούθηση, διακοπές λειτουργίας ανιχνεύονται έγκαιρα και σε πραγματικό χρόνο. Ισχυρό σημείο αποτελεί και η κάλυψη της ασφάλειας, αφού ο μη λειτουργικός έλεγχος εξετάζει την προστασία των δεδομένων παράλληλα με τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας, συνδυασμός με ιδιαίτερη βαρύτητα για δεδομένα υγείας. Η εστίαση σε ένα πραγματικό, λειτουργικό σύστημα τηλε-συμβουλευτικής προσθέτει πρακτική αξία, αφού προσφέρει ρεαλιστικό πλαίσιο αξιολόγησης. Η αποτίμηση αφορά ωστόσο ένα μόνο σύστημα, γεγονός που περιορίζει τη γενίκευση των ευρημάτων. Η συνεχής παρακολούθηση καλύπτει την κατάσταση λειτουργίας και λειτουργεί συμπληρωματικά προς τις δοκιμές που προηγήθηκαν, χωρίς να επεκτείνεται σε συνεχή επαναξιολόγηση των υπόλοιπων ιδιοτήτων κατά τον χρόνο εκτέλεσης. Ο βαθμός αυτοματοποίησης παραμένει, τέλος, μερικός, αφού η ερμηνεία των ειδοποιήσεων απαιτεί ανθρώπινη παρέμβαση.

## 4.5 Συγκριτική Ανάλυση Προσεγγίσεων

### 4.5.1 Κριτήρια Σύγκρισης

Για τη συστηματική σύγκριση ορίζονται επτά κριτήρια αξιολόγησης, τα οποία αποτιμώνται όλα σε ενιαία κλίμακα τριών επιπέδων (Χαμηλό, Μέτριο, Υψηλό) με θετική φορά: το Υψηλό αντιστοιχεί πάντα στην ευνοϊκότερη τιμή, ώστε η ανάγνωση του συγκριτικού πίνακα να είναι ομοιόμορφη. Η σύγκριση αφορά μόνο τις δέκα πρωτογενείς μελέτες και τις τέσσερις

εννοιολογικές προτάσεις, καθώς τα κριτήρια εστιάζουν σε τεχνικές και μεθόδους δοκιμής ή διασφάλισης ποιότητας και δεν έχουν εφαρμογή στις δευτερογενείς ανασκοπήσεις.

- Το εύρος ιδιοτήτων ποιότητας (K1) μετρά πόσες ιδιότητες καλύπτει μια προσέγγιση: Χαμηλό για μία ιδιότητα, Μέτριο για δύο έως τρεις και Υψηλό για τέσσερις και άνω.
- Ο βαθμός αυτοματοποίησης (K2) αποτιμάται ως Χαμηλός όταν η εκτέλεση των δοκιμών είναι χειροκίνητη, Μέτριος όταν αυτοματοποιημένα βήματα συνδυάζονται με ανθρώπινη εμπλοκή, και Υψηλός όταν η εκτέλεση των δοκιμών γίνεται αυτόματα από άκρο σε άκρο.
- Η ευκολία υιοθέτησης (K3) αφορά αποκλειστικά τις οργανωσιακές προϋποθέσεις, δηλαδή τις διαδικασίες και την τεχνογνωσία του προσωπικού που προϋποθέτει μια προσέγγιση. Αποτιμάται ως Υψηλή όταν αρκούν βασική τεχνογνωσία και ελάχιστες δομημένες διαδικασίες, Μέτρια όταν απαιτούνται καθιερωμένες πρακτικές και εξειδικευμένο προσωπικό, και Χαμηλή όταν προϋποτίθενται ώριμες διαδικασίες και διεπιστημονική τεχνογνωσία.
- Η αποδοτικότητα κόστους (K4) καλύπτει το υλικό κόστος υιοθέτησης, δηλαδή εργαλεία, υποδομή, χρόνος που χρειάστηκε για την εκτέλεση και κόστος εκπαίδευσης ή συντήρησης. Η τεχνογνωσία του προσωπικού δεν συνυπολογίζεται εδώ, ώστε το κριτήριο να μην επικαλύπτεται με το K3. Αποτιμάται ως Υψηλό για ανοικτού κώδικα εργαλεία ή απλές τεχνικές με χαμηλό επαναλαμβανόμενο κόστος, Μέτριο όταν υπάρχει κόστος εγκατάστασης, επαναλαμβανόμενος χρόνος εργασίας που χρειάστηκε (όπως στις χειροκίνητες αξιολογήσεις χρηστικότητας) ή ανάγκη αρχικής διαμόρφωσης αγωγών CI/CD — οι πλατφόρμες CI/CD καθαυτές διατίθενται πλέον χωρίς σημαντικό κόστος — και Χαμηλό όταν απαιτείται ακριβή εξειδικευμένη υποδομή, όπως υποδομές μηχανικής μάθησης με κόστος εκπαίδευσης, συντήρησης και εξοπλισμού.
- Η μεθοδολογική καινοτομία (K5) αποτιμάται ως Χαμηλή όταν εφαρμόζεται υπάρχουσα τεχνική ως έχει, Μέτρια όταν υπάρχουσα τεχνική προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες της υγείας ή προτείνεται αρχιτεκτονική/πλαίσιο χωρίς νέα μέθοδο δοκιμής, και Υψηλή όταν προτείνεται και εφαρμόζεται γνήσια νέα μέθοδος ή τεχνική.
- Η εμπειρική τεκμηρίωση (K6) διαβαθμίζει την ισχύ της αποτίμησης κάθε συνεισφοράς: Το επίπεδο είναι Χαμηλό όταν η μελέτη περιορίζεται σε θεωρητική πρόταση χωρίς εμπειρική αποτίμηση, Μέτριο όταν υπάρχει συστηματική αξιολόγηση μέσω ποσοτικών ή/και ποιοτικών μετρικών, πειραματικών δεδομένων, προσομοιώσεων ή συνόλων δεδομένων, χωρίς εφαρμογή σε πραγματικό επιχειρησιακό πλαίσιο, και Υψηλό όταν η

συνεισφορά αξιολογείται εμπειρικά σε ρεαλιστικό ή ελεγχόμενο περιβάλλον μέσω μελέτης περίπτωσης, πειράματος, εφαρμογής σε πραγματικά συστήματα ή συμμετοχής πραγματικών χρηστών. Κάθε επίπεδο τεκμηριώνει ισχυρότερα τη συνεισφορά από το προηγούμενο, οπότε το κριτήριο είναι συγκριτικό και όχι απλώς κατηγοριοποίησης.

- Η φιλικότητα προς το παραγωγικό περιβάλλον (K7) αποτιμάται ως Υψηλή όταν ο αντίκτυπος στην παραγωγική λειτουργία είναι ελάχιστος ή μηδενικός, όπως σε εφαρμογή σε δοκιμαστικά περιβάλλοντα ή αγωγούς CI/CD, Μέτρια όταν υπάρχει συνεχής αλλά ελεγχόμενος και ανεκτός αντίκτυπος, όπως στη συνεχή παρακολούθηση, και Χαμηλή όταν ο αντίκτυπος καθιστά την εφαρμογή σε παραγωγή ακατάλληλη.

#### 4.5.2 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα Σύγκρισης

Τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης αποτυπώνονται στον Πίνακα 5 και αναλύονται παρακάτω ανά κριτήριο, ακολουθούμενα από τις συσχετίσεις μεταξύ κριτηρίων και τα καθολικά συμπεράσματα.

Πίνακας 5: Συγκριτική αξιολόγηση των προσεγγίσεων βάσει των κριτηρίων K1–K7

| Μελέτη / Προσέγγιση         | K1<br>(Εύρος) | K2<br>(Αυτοματ.) | K3<br>(Ευκολία<br>Υιοθ.) | K4<br>(Αποδοτ.<br>Κόστους) | K5<br>(Καινοτομία) | K6<br>(Εμπ.<br>Τεκμηρ.) | K7<br>(Φιλικότητα<br>Παραγ.) |
|-----------------------------|---------------|------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|
| Mejia Tascon et al. (2024)  | Χαμηλό        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Μέτριο             | Μέτριο                  | Υψηλό                        |
| Zaki et al. (2022)          | Μέτριο        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Μέτριο             | Χαμηλό                  | Υψηλό                        |
| Hunt et al. (2014)          | Χαμηλό        | Υψηλό            | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Υψηλό              | Υψηλό                   | Υψηλό                        |
| Sartaj et al. (2023)        | Μέτριο        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Χαμηλό                     | Μέτριο             | Υψηλό                   | Υψηλό                        |
| Caballero et al. (2021)     | Μέτριο        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Χαμηλό             | Υψηλό                   | Μέτριο                       |
| Hrisafov et al. (2021)      | Μέτριο        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Χαμηλό             | Υψηλό                   | Υψηλό                        |
| Ronchieri & Canaparo (2023) | Υψηλό         | Χαμηλό           | Υψηλό                    | Μέτριο                     | Μέτριο             | Μέτριο                  | Υψηλό                        |
| Baltaxe et al. (2023)       | Υψηλό         | Χαμηλό           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Μέτριο             | Υψηλό                   | Υψηλό                        |
| Weber (2019)                | Μέτριο        | Χαμηλό           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Υψηλό              | Μέτριο                  | Υψηλό                        |
| Vilela et al. (2019)        | Χαμηλό        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Μέτριο             | Υψηλό                   | Μέτριο                       |
| Jha et al. (2022)           | Χαμηλό        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Μέτριο             | Υψηλό                   | Υψηλό                        |
| Müthing et al. (2017)       | Χαμηλό        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Μέτριο             | Υψηλό                   | Υψηλό                        |
| Knorr & Aspinall (2015)     | Χαμηλό        | Μέτριο           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Μέτριο             | Υψηλό                   | Υψηλό                        |
| Alwashmi et al. (2019)      | Μέτριο        | Χαμηλό           | Μέτριο                   | Μέτριο                     | Υψηλό              | Μέτριο                  | Υψηλό                        |

- Ως προς το εύρος ιδιοτήτων (K1), έξι από τις δεκατέσσερις προσεγγίσεις (42.9%) καλύπτουν δύο έως τρεις ιδιότητες, έξι (42.9%) μία μόνο και δύο (14.3%) τέσσερις ιδιότητες: η σύνθεση μοντέλων ποιότητας των Ronchieri & Canaparo (2023) και το πρωτόκολλο αξιολόγησης των Baltaxe et al. (2023). Καμία προσέγγιση δεν καλύπτει το σύνολο των κρίσιμων ιδιοτήτων για τα ιατρικά συστήματα, εύρημα που επιβεβαιώνουν και οι δευτερογενείς ανασκοπήσεις του σώματος.
- Στον βαθμό αυτοματοποίησης (K2), εννέα προσεγγίσεις (64.3%) είναι μερικώς αυτοματοποιημένες, τέσσερις (28.6%) χειροκίνητες και μία (7.1%) πλήρως αυτοματοποιημένη, η δοκιμή φυσικών διεπαφών των Hunt et al. (2014). Οι μερικώς αυτοματοποιημένες προσεγγίσεις επιτυγχάνουν ταχύτερη επανεκτέλεση των δοκιμών από τις χειροκίνητες, όμως η σχεδόν παντελής απουσία πλήρους αυτοματοποίησης παραμένει το εντονότερο κενό του πεδίου.
- Ως προς την ευκολία υιοθέτησης (K3), δεκατρείς προσεγγίσεις (92.9%) βρίσκονται στο μέτριο επίπεδο, καθώς προϋποθέτουν καθιερωμένες πρακτικές ή εξειδικευμένο προσωπικό, όπως γνώση ασφάλειας, μοντελοποίησης UML ή ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων αξιολόγησης. Στο υψηλό επίπεδο βρίσκεται μόνο η προσέγγιση των Ronchieri & Canaparo (2023), επειδή η ανάλυση εγγράφων και μοντέλων ποιότητας δεν προϋποθέτει ειδικές οργανωσιακές δομές ή τεχνικές υποδομές για να υιοθετηθεί.
- Στην αποδοτικότητα κόστους (K4), δεκατρείς προσεγγίσεις (92.9%) βρίσκονται στο μέτριο επίπεδο και μία (7.1%) στο χαμηλό. Το χαμηλό επίπεδο αφορά την υποδομή των Sartaj et al. (2023), όπου η παραγωγή ψηφιακών διδύμων με μηχανική μάθηση απαιτεί ακριβή υποδομή και κόστος εκπαίδευσης και συντήρησης. Η πλήρως αυτοματοποιημένη προσέγγιση των Hunt et al. (2014) παραμένει στο μέτριο επίπεδο, καθώς η αρχική κατασκευή και η συντήρηση της αυτοματοποίησης διεπαφών απαιτούν σημαντικό ανθρωποχρόνο, ενώ και ο επαναληπτικός σχεδιασμός των Alwashmi et al. (2019) αποτιμάται μέτριος, επειδή οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι αξιολόγησης έχουν ένταση πόρων παρά τα καθιερωμένα, χαμηλού κόστους εργαλεία που χρησιμοποιούν.
- Ως προς τη μεθοδολογική καινοτομία (K5), εννέα προσεγγίσεις (64.3%) προσαρμόζουν υπάρχουσα τεχνική ή προτείνουν αρχιτεκτονική χωρίς νέα μέθοδο δοκιμής, δύο (14.3%) εφαρμόζουν υπάρχουσα τεχνική ως έχει και τρεις (21.4%) εισάγουν γνήσια νέα μέθοδο: οι Hunt et al. (2014), οι Alwashmi et al. (2019) και οι Weber (2019), με τους τελευταίους να μοντελοποιούν τη διαλειτουργικότητα ως δυναμικά εξελισσόμενη κοινωνικο-τεχνική διαδικασία και να παράγουν νέα μοτίβα

ροών εργασίας. Οι αρχιτεκτονικές συνεισφορές των Sartaj et al. (2023) και Zaki et al. (2022) κατατάσσονται στο μέτριο επίπεδο, καθώς μια αρχιτεκτονική ή ένα πλαίσιο δεν συνιστά νέα μέθοδο δοκιμής.

- Στην εμπειρική τεκμηρίωση (K6), εννέα προσεγγίσεις (64.3%) αξιολογούνται στο υψηλό επίπεδο, δηλαδή σε ρεαλιστικό ή ελεγχόμενο περιβάλλον, μέσω μελέτης περίπτωσης, πειράματος, εφαρμογής σε πραγματικά συστήματα ή συμμετοχής πραγματικών χρηστών: σε αυτές ανήκουν το πείραμα των Hunt et al. (2014) σε πραγματικές εφαρμογές, οι αποτιμήσεις πραγματικών εφαρμογών των Müthing et al. (2017) και Knorr & Aspinall (2015) και η αξιολόγηση πραγματικού συστήματος των Vilela et al. (2019). Τέσσερις προσεγγίσεις (28.6%) βρίσκονται στο μέτριο επίπεδο, με συστηματική αξιολόγηση μέσω μετρικών ή δεδομένων χωρίς πραγματικό επιχειρησιακό πλαίσιο, όπως η ανάλυση εγγράφων των Ronchieri & Canaparo (2023), η μελέτη περίπτωσης περιορισμένου βάθους των Weber (2019), που στηρίζεται σε δεδομένα ειδικών, και ο σχεδιασμός των Alwashmi et al. (2019), και μία (7.1%), η πρόταση των Zaki et al. (2022), παραμένει σε θεωρητικό επίπεδο. Ωριμα επικυρωμένες χαρακτηρίζονται εδώ οι προσεγγίσεις του υψηλού επιπέδου.
- Στη φιλικότητα προς το παραγωγικό περιβάλλον (K7), δώδεκα προσεγγίσεις (85.7%) είναι μη παρεμβατικές — σε αυτές συγκαταλέγονται πλέον και οι Sartaj et al. (2023), αφού οι δοκιμές εκτελούνται σε ψηφιακούς διδύμους και όχι στην παραγωγή, και οι Baltaxe et al. (2023), των οποίων το πρωτόκολλο αξιολόγησης δεν επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος. Δύο προσεγγίσεις (14.3%) στηρίζονται σε συνεχή αλλά ελεγχόμενη παρακολούθηση, οι Caballero et al. (2021) και οι Vilela et al. (2019), όπου οι μετρήσεις διενεργούνται σε λειτουργούντα συστήματα. Καμία δεν κρίνεται ακατάλληλη για παραγωγική χρήση.

Από τη διασταύρωση των κριτηρίων προκύπτουν ενδείξεις παρά αυστηρές συσχετίσεις, καθώς το δείγμα των δεκατεσσάρων προσεγγίσεων είναι μικρό. Και οι τρεις νέες μέθοδοι (K5) συνοδεύονται από εμπειρική ή ποσοτική τεκμηρίωση (K6), ενώ η υψηλότερη αυτοματοποίηση δεν συνοδεύεται πάντα από χαμηλή αποδοτικότητα κόστους<sup>25</sup>: η πλήρως αυτοματοποιημένη προσέγγιση των Hunt et al. (2014) παραμένει στο μέτριο επίπεδο κόστους, και μόνο η υποδομή μηχανικής μάθησης των Sartaj et al. (2023) εμφανίζει σαφώς χαμηλή αποδοτικότητα.

---

<sup>25</sup> Βέβαια αυτό ισχύει για 1 μόνο περίπτωση οπότε ως συμπέρασμα δεν μπορεί εύκολα να γενικευθεί

Αντίστοιχα, οι χειροκίνητες αξιολογήσεις δεν είναι δωρεάν, αφού απαιτούν επαναλαμβανόμενο ανθρωποχρόνο.

Σε καθολικό επίπεδο, το πεδίο χαρακτηρίζεται από χαμηλή αυτοματοποίηση και περιορισμένη μεθοδολογική καινοτομία. Καμία προσέγγιση δεν υπερέχει σε όλα τα κριτήρια. Στο μεγαλύτερο υποσύνολο κριτηρίων υπερέχει η δοκιμή φυσικών διεπαφών των Hunt et al. (2014), με την ευνοϊκότερη τιμή σε τέσσερα από τα επτά, και ακολουθούν με τρία από τα επτά η σύνθεση μοντέλων ποιότητας των Ronchieri & Canaparo (2023) και το πρωτόκολλο αξιολόγησης των Baltaxe et al. (2023), ενώ στην επόμενη βαθμίδα, με δύο ευνοϊκότερες τιμές, βρίσκονται μεταξύ άλλων η δοκιμή βασισμένη σε μοντέλα των Jha et al. (2022) και οι προσεγγίσεις ασφάλειας των MÜthing et al. (2017) και Knorr & Aspinall (2015). Οι πιο ώριμα επικυρωμένες προσεγγίσεις ασφάλειας αφορούν συνήθως εφαρμογές mHealth (ποσοστό 44%), ενώ τα κρισιμότερα κενά εντοπίζονται στην πλήρη αυτοματοποίηση και στην ολοκληρωμένη κάλυψη ιδιοτήτων ποιότητας, ζητήματα που αναλύονται στο Κεφάλαιο 6.

Τα ευρήματα της σύγκρισης επιβεβαιώνονται από τις πέντε δευτερογενείς ανασκοπήσεις του σώματος: οι Obigbesan et al. (2024) και οι Wairagade & Cuthrell (2025) καταγράφουν την ίδια εξάρτηση από χειροκίνητη προσπάθεια και την αργή διείσδυση της αυτοματοποίησης, οι Maramba et al. (2019) και οι Jake-Schoffman et al. (2017) τεκμηριώνουν το ρηχό μεθοδολογικό βάθος της αξιολόγησης χρηστικότητας, και οι Iwaya et al. (2020) τα κενά ασφάλειας και ιδιωτικότητας.

## 5. Μελέτη Περίπτωσης: Δοκιμές και Διασφάλιση Ποιότητας σε Εφαρμογή Ιστού Ιατρικών Ραντεβού

### 5.1 Εισαγωγή στη Μελέτη Περίπτωσης

Το πρωτότυπο που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ειδικά για τις ανάγκες της διπλωματικής από το Τμήμα Πληροφορικής του Γενικού Νοσοκομείου Θεσσαλονίκης «Ιπποκράτειο», σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μελέτης. Παράλληλα, το Τμήμα Πληροφορικής υλοποίησε και εκτέλεσε το σύνολο των δοκιμών λογισμικού, παρέχοντας τα αρχεία και τα σενάρια δοκιμών, καθώς και τα αποτελέσματα εκτέλεσής τους. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η συγγραφέας αξιοποίησε το πρωτότυπο, τα διαθέσιμα αρχεία δοκιμών και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτά ως μελέτη περίπτωσης, με σκοπό την ανάλυση και αξιολόγηση της εφαρμογής των αρχών δοκιμής λογισμικού και διασφάλισης ποιότητας που παρουσιάστηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Το τρέχον κεφάλαιο εξετάζει τον σκοπό και τα όρια του πρωτοτύπου (Ενότητα 5.2), την αρχιτεκτονική του (Ενότητα 5.3), τους βασικούς ρόλους (Ενότητα 5.4) και τις λειτουργικές ροές (Ενότητα 5.5). Οι Ενότητες 5.6, 5.7 και 5.8 τεκμηριώνουν αναλυτικά την προσέγγιση δοκιμής και διασφάλισης ποιότητας. Στις ενότητες αυτές παρουσιάζονται τα διαθέσιμα αρχεία και σενάρια δοκιμών (test artifacts), τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του πηγαίου κώδικα της εφαρμογής και εντοπίζονται στον φάκελο /tests του αποθετηρίου (δοκιμές end-to-end με Playwright) και στο αρχείο /tests/load-test.js (σενάρια δοκιμών φορτίου με k6). Η Ενότητα 5.9 αποσαφηνίζει τους περιορισμούς της υλοποίησης, ώστε η τεχνική περιγραφή να παραμένει ακριβής και να μην αποδίδει στο σύστημα δυνατότητες που δεν υλοποιούνται από τον ενεργό κώδικα, ενώ η Ενότητα 5.10 συνοψίζει τα συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης. Ο πηγαίος κώδικας διατηρείται σε δημόσιο αποθετήριο GitHub και είναι διαθέσιμος στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://github.com/ant-kat7/medical-appointments-mvp>.

### 5.2 Σκοπός και Όρια του Πρωτοτύπου

Ο βασικός σκοπός του πρωτοτύπου είναι να υποστηρίξει την πρακτική επίδειξη αρχών δοκιμής λογισμικού και διασφάλισης ποιότητας σε ένα σενάριο σχετικό με την ηλεκτρονική διαχείριση ιατρικών ραντεβού. Συνεπώς, το σύστημα πρέπει να θεωρηθεί ως περιβάλλον ελεγχόμενης αναπαράστασης και όχι ως πλήρης επιχειρησιακή λύση υγειονομικού φορέα.

Η ενεργή και εκτελέσιμη υλοποίηση που τεκμηριώνεται από τον κώδικα αποτελείται από διεπαφή χρήστη σε React<sup>26</sup>, backend σε Express<sup>27</sup>, μηχανισμό αυθεντικοποίησης JWT<sup>28</sup>, χρήση της βιβλιοθήκης bcryptjs<sup>29</sup> για κατακερματισμό κωδικών και μία βάση SQLite<sup>30</sup> (που τοποθετείται στη μνήμη). Το σύστημα υποστηρίζει είσοδο χρηστών, προβολή ραντεβού, καταχώριση νέου ραντεβού, ακύρωση υφιστάμενου ραντεβού, ανάκτηση λίστας ιατρών και μία απλή συγκεντρωτική αναφορά για διαχειριστές. Για την αυτοματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιούνται το Playwright<sup>31</sup> και το k6<sup>32</sup>.

Αντίθετα, στο αποθετήριο Git της εφαρμογής υπάρχουν και αρχεία που προσδιορίζουν μια πιο σύνθετη αρχιτεκτονική με NestJS και Prisma, με οντότητες όπως waitlist, refresh tokens, audit logs και εκτενέστερο μοντέλο δεδομένων. Τα αρχεία αυτά αποτελούν μέρος μιας σχεδιαστικής πρότασης (to-be αρχιτεκτονική) που δεν έχει υλοποιηθεί σε ξεχωριστό κλαδί (branch) αλλά συνυπάρχει στο ίδιο αποθετήριο ως τεκμηρίωση της στοχευόμενης εξέλιξης. Ωστόσο, τα στοιχεία αυτά δεν αποτελούν τη βάση του τρέχοντος εκτελέσιμου πρωτοτύπου που χρησιμοποιείται στη μελέτη περίπτωσης. Για τον λόγο αυτό, δίνεται προτεραιότητα αποκλειστικά στα χαρακτηριστικά που προκύπτουν από τον πραγματικό ενεργό κώδικα.

### 5.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος

Η αρχιτεκτονική του πρωτοτύπου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, είναι τριών βασικών επιπέδων. Στο επίπεδο παρουσίασης βρίσκεται μία εφαρμογή React, η οποία οργανώνει τη διεπαφή μέσω δρομολόγησης σελίδων και αποθηκεύει το token αυθεντικοποίησης και τα στοιχεία του χρήστη στο localStorage. Στο επίπεδο λογικής βρίσκεται ένας Express server (δηλαδή μια Node.js backend εφαρμογή ανεπτυγμένη με βάση το πλαίσιο Express), ο οποίος εκθέτει REST τύπου endpoints για αυθεντικοποίηση, ανάκτηση ραντεβού, δημιουργία νέου ραντεβού, ακύρωση ραντεβού, ανάκτηση λίστας ιατρών και προβολή απλής σύνοψης αναφορών. Στο επίπεδο δεδομένων χρησιμοποιείται η SQLite in-memory βάση, η οποία αρχικοποιείται κατά την εκκίνηση της εφαρμογής με δοκιμαστικά δεδομένα.

---

<sup>26</sup> <https://react.dev/>

<sup>27</sup> <https://expressjs.com/>

<sup>28</sup> <https://jwt.io/>

<sup>29</sup> <https://www.npmjs.com/package/bcryptjs>

<sup>30</sup> <https://www.sqlite.org/>

<sup>31</sup> <https://playwright.dev/>

<sup>32</sup> <https://k6.io/>

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα για ακαδημαϊκή χρήση. Πρώτον, είναι επαρκώς απλή ώστε να αναλύεται χωρίς υπερβολική τεχνική πολυπλοκότητα. Δεύτερον, παραμένει επαρκώς ρεαλιστική ώστε να επιτρέπει έλεγχο κρίσιμων ποιοτικών ιδιοτήτων, όπως έλεγχος πρόσβασης, συνέπεια βασικών ροών χρήσης και χρόνος απόκρισης API.

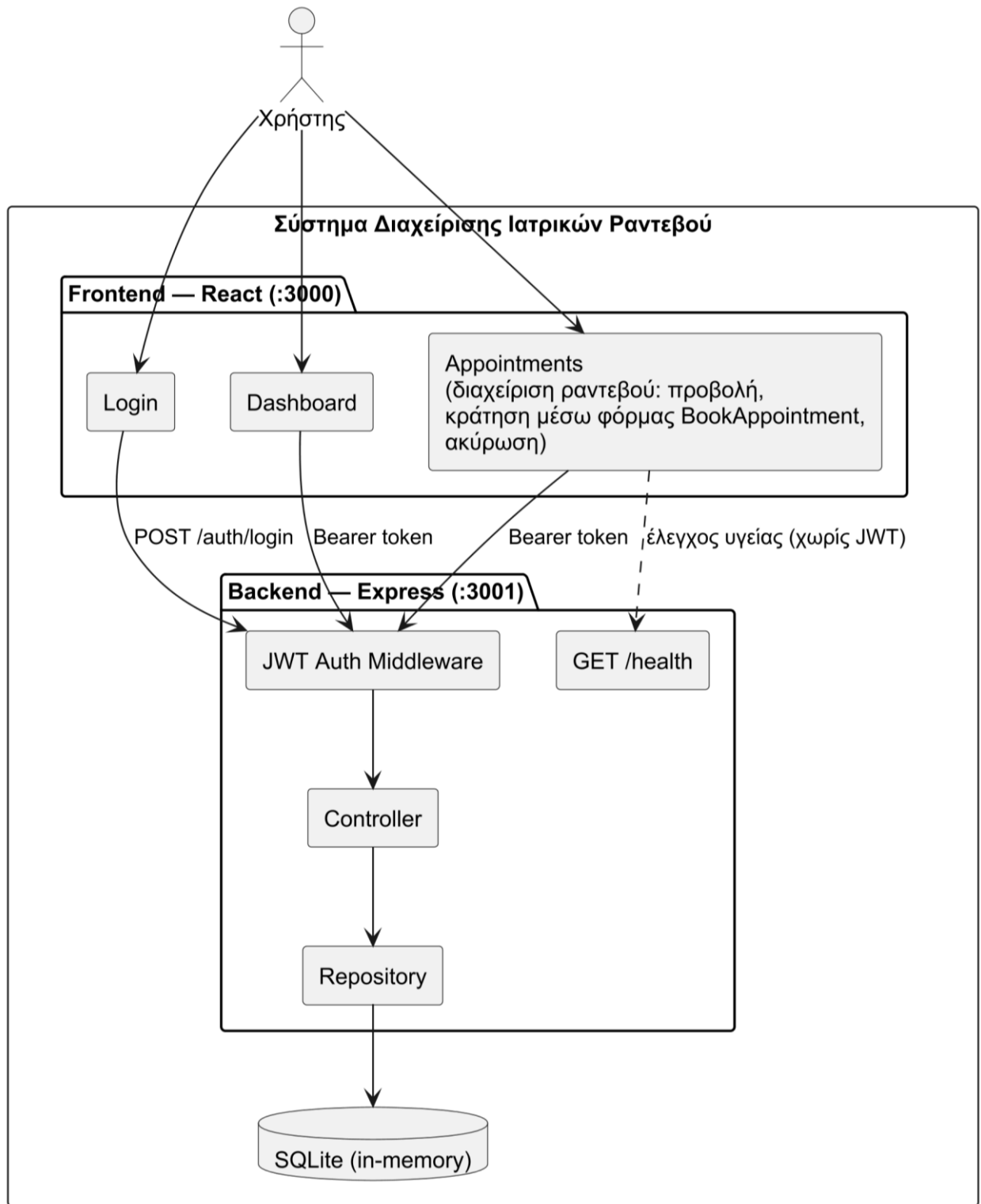
Στο backend ενεργοποιούνται βασικά middleware (μεσισμικά) ασφάλειας και επικοινωνίας, όπως helmet<sup>33</sup>, cors<sup>34</sup> και ανάλυση JSON μέσω του ενσωματωμένου express.json()<sup>35</sup>. Η αυθεντικοποίηση στηρίζεται σε JWT tokens: κατά τη σύνδεση (POST /auth/login), εφόσον ο χρήστης παρέχει έγκυρα διαπιστευτήρια (email και κωδικός), ο server παράγει ένα JWT token με ισχύ 24 ωρών που περιέχει το αναγνωριστικό, τη διεύθυνση email και τον ρόλο του χρήστη, ενώ η προστασία συγκεκριμένων endpoints γίνεται μέσω middleware που ανακτά και επαληθεύει το bearer (JWT) token από τα headers του αιτήματος. Σε επίπεδο δεδομένων, τα ερωτήματα SQL χρησιμοποιούν placeholders, κάτι που περιορίζει τον κίνδυνο απλών μορφών επιθέσεων τύπου SQL injection.

---

<sup>33</sup> <https://helmetjs.github.io/>

<sup>34</sup> <https://www.npmjs.com/package/cors>

<sup>35</sup> <https://expressjs.com/en/api.html>



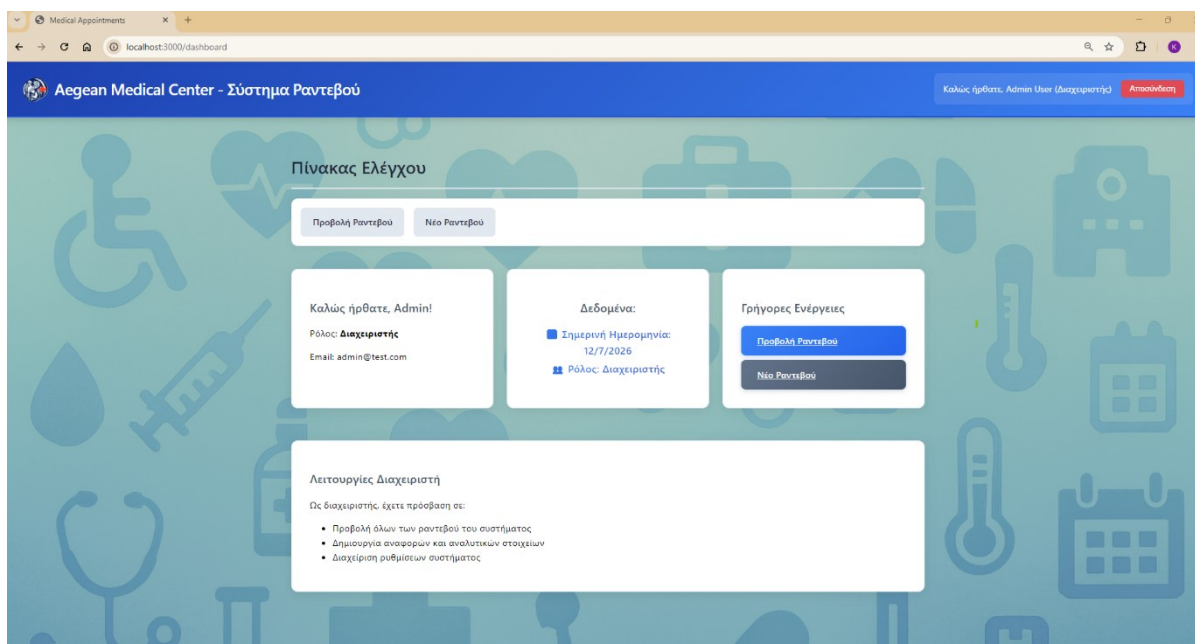
Σχήμα 3: Αρχιτεκτονική του συστήματος

## 5.4 Ρόλοι χρηστών και βασικές οντότητες

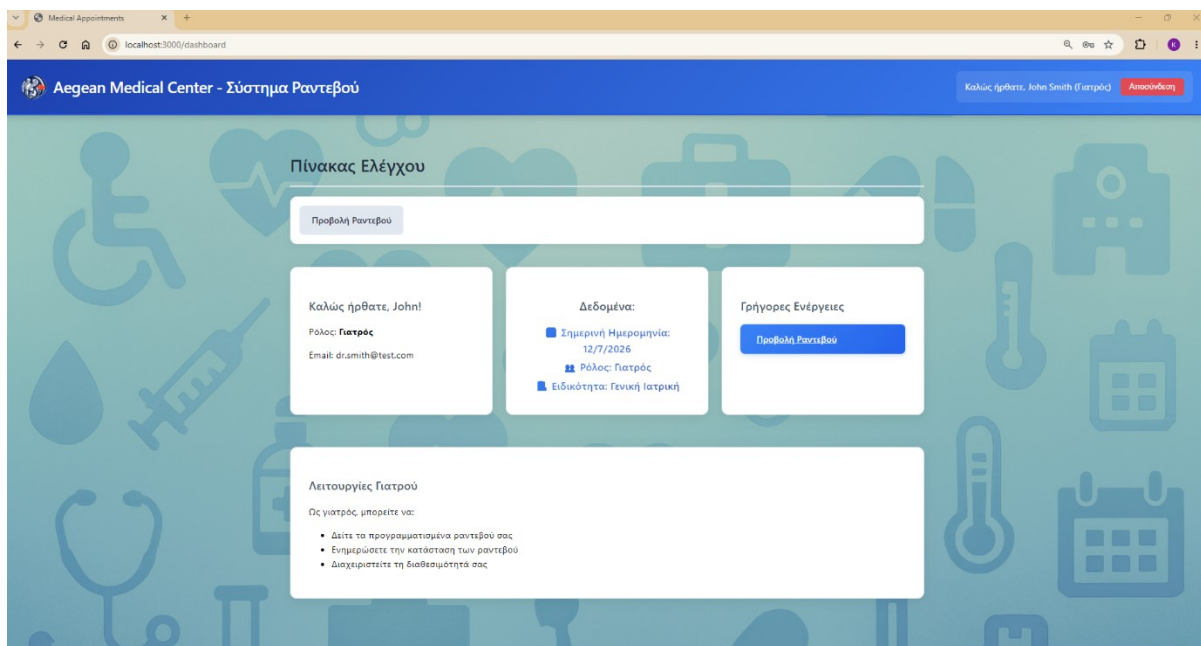
Η ενεργή υλοποίηση υποστηρίζει ρητά δύο αυθεντικοποιημένους ρόλους στη διεπαφή: τον διαχειριστή (ADMIN) και τον ιατρό (DOCTOR). Επιπλέον, σε λειτουργικό επίπεδο εμφανίζεται και η πληροφοριακή οντότητα του αιτούντος/ασθενούς, η οποία δεν αντιστοιχεί σε αυθεντικοποιημένο ρόλο αλλά αποτυπώνεται ως πεδίο στα δεδομένα του ραντεβού (patientName, patientEmail). Συνεπώς, ο ασθενής δεν αντιστοιχεί σε ένα πλήρως υλοποιημένο πιστοποιημένο λογαριασμό χρήστη στην τρέχουσα έκδοση, αλλά καταγράφεται ως σύνολο στοιχείων που συνοδεύουν την κράτηση ραντεβού, κυρίως μέσω των πεδίων patientName και patientEmail. Ο διαχειριστής (ADMIN) δημιουργεί και διαχειρίζεται ραντεβού και έχει πρόσβαση στις συγκεντρωτικές αναφορές, ενώ ο ιατρός (DOCTOR) προβάλλει τα ραντεβού που τον αφορούν και έχει την δυνατότητα ακύρωσης.

Οι βασικές οντότητες της ενεργής βάσης δεδομένων είναι οι εξής: χρήστες, ιατροί και ραντεβού. Ο πίνακας users περιλαμβάνει τα βασικά στοιχεία αυθεντικοποίησης και ρόλου, ενώ ο πίνακας doctors συσχετίζει έναν χρήστη — εφόσον ο ρόλος του είναι DOCTOR — με ιατρικές πληροφορίες (ουσιαστικά την ειδικότητά του). Ο πίνακας appointments αποθηκεύει τα στοιχεία του ραντεβού, όπως στοιχεία ασθενούς, χρονικό διάστημα, κατάσταση και λόγο επίσκεψης.

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται το περιβάλλον διαχείρισης του ρόλου ADMIN στην εφαρμογή και στην Εικόνα 5 το περιβάλλον διαχείρισης του ρόλου DOCTOR.



Εικόνα 4: Πίνακας ελέγχου ADMIN



Εικόνα 5: Πίνακας ελέγχου DOCTOR

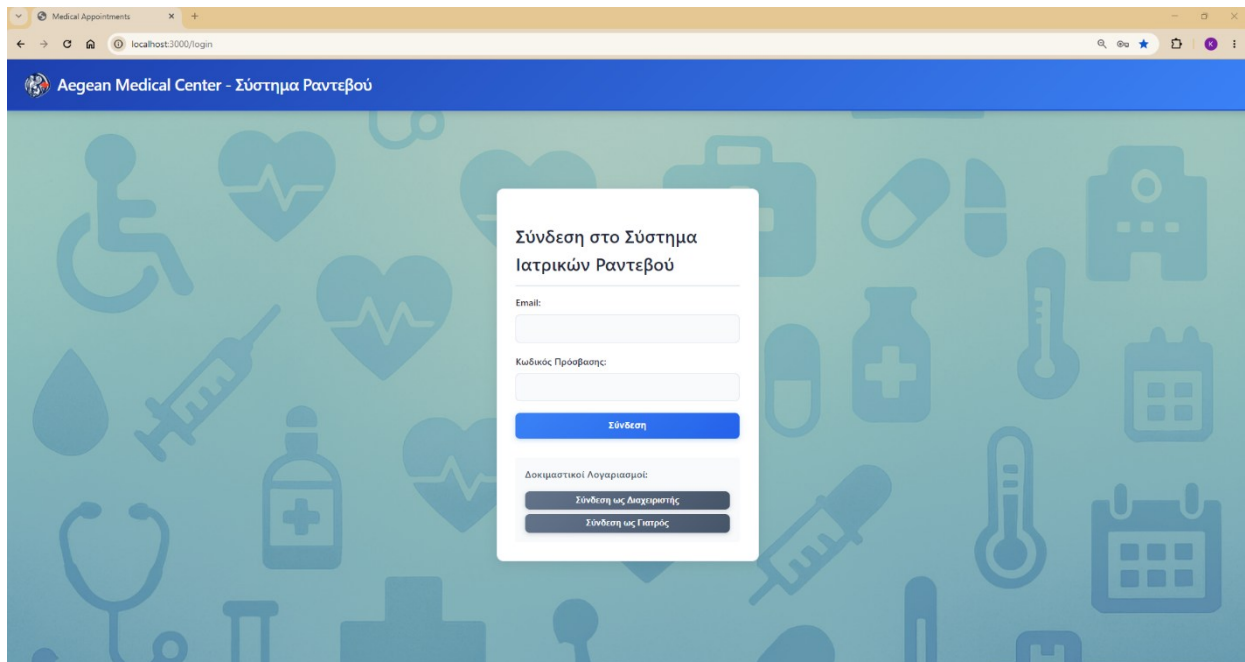
Η κατάσταση ενός ραντεβού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως απλό αλλά ουσιαστικό αντικείμενο ελέγχου ορθότητας. Ενδεικτικά, ένα νέο ραντεβού καταγράφεται στην αρχική κατάσταση BOOKED. Στη συνέχεια, η κατάσταση μπορεί να μεταβληθεί από τον διαχειριστή σε CANCELLED (ακύρωση ραντεβού), COMPLETED (ολοκλήρωση/υλοποίηση του ραντεβού) ή NO\_SHOW (μη εμφάνιση του ασθενούς) ενώ όπως ειπώθηκε, ο ιατρός μπορεί μόνο να ακυρώσει ένα ραντεβού (άρα να μεταβάλλει την κατάστασή του σε CANCELLED). Στην τρέχουσα υλοποίηση του πρωτοτύπου, υποστηρίζονται ενεργά μόνο οι μεταβάσεις BOOKED → CANCELLED, ενώ οι υπόλοιπες προβλέπονται στο μοντέλο δεδομένων (schema) για μελλοντική υλοποίηση. Επομένως, ακόμη και με περιορισμένο μοντέλο (μετάβασης καταστάσεων), το σύστημα επιτρέπει τη μελέτη βασικών μεταβάσεων κατάστασης και τον σχετικό έλεγχο συνέπειας. Οι καταστάσεις CANCELLED, COMPLETED και NO\_SHOW είναι τελικές, ενώ η BOOKED είναι μεταβατική.

## 5.5 Λειτουργικές ροές της μελέτης περίπτωσης

### 5.5.1 Ροή εισόδου στο σύστημα

Η ροή σύνδεσης (login) ξεκινά από τη φόρμα σύνδεσης, όπου ο χρήστης εισάγει email και κωδικό πρόσβασης. Στο πρωτότυπο δεν υφίσταται λειτουργία εγγραφής (registration) — οι

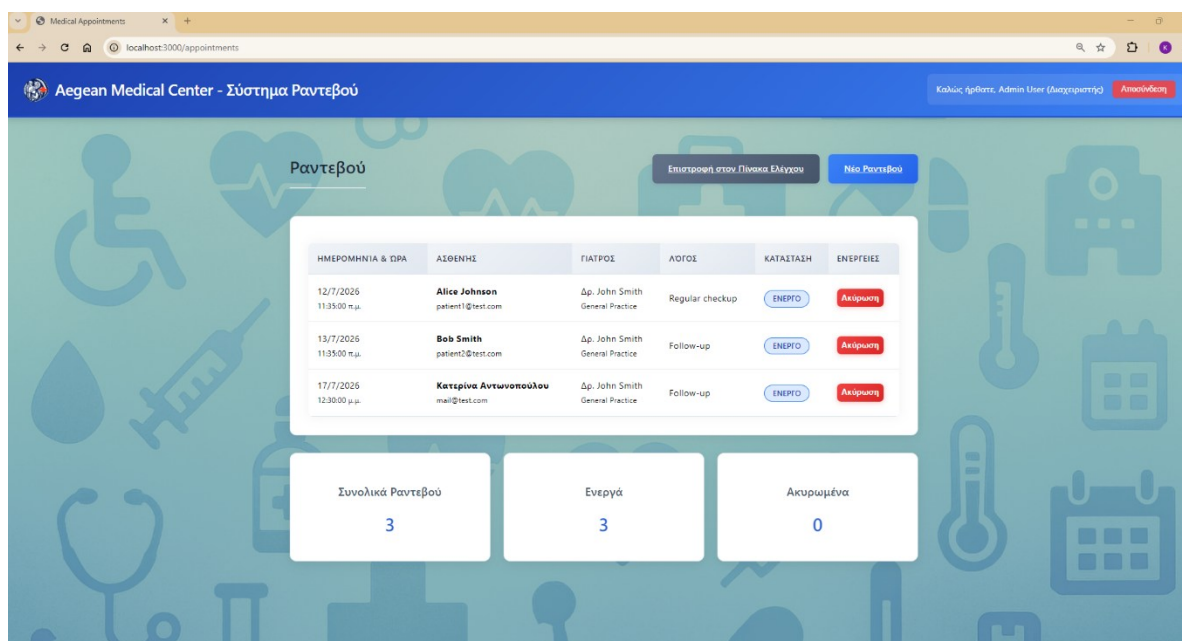
λογαριασμοί είναι προ-δημιουργημένοι (seeded) στη βάση δεδομένων. Για λόγους δοκιμής, η διεπαφή παρέχει κουμπιά γρήγορης σύνδεσης με τους δοκιμαστικούς λογαριασμούς. Μόλις πατηθεί ένα τέτοιο κουμπί, η διεπαφή αποστέλλει σχετικό αίτημα POST προς το endpoint /auth/login. Το backend ανακτά την εγγραφή του χρήστη από τη βάση και συγκρίνει τον εισερχόμενο κωδικό με το αποθηκευμένο password hash μέσω bcrypt. Σε περίπτωση επιτυχίας, επιστρέφεται JWT token. Παράλληλα, για λόγους ευκολίας στο frontend (αποφυγή αποκωδικοποίησης του token σε κάθε αίτημα), το endpoint επιστρέφει και τα βασικά στοιχεία του χρήστη (id, email, role) ως μέρος του JSON response. Το frontend αποθηκεύει το token και τα στοιχεία χρήστη στο localStorage του φυλλομετρητή, ως απλά (μη κρυπτογραφημένα) δεδομένα JSON και όχι ως cookies, και επιτρέπει τη μετάβαση στις προστατευμένες διαδρομές της εφαρμογής. Η επιλογή αυτή απλοποιεί την υλοποίηση, συνιστά όμως γνωστό περιορισμό ασφαλείας: σε περίπτωση επίθεσης XSS, κακόβουλος κώδικας JavaScript που εκτελείται στη σελίδα μπορεί να αναγνώσει το token από το localStorage, σε αντίθεση με cookies τύπου httpOnly, τα οποία δεν είναι προσβάσιμα από σενάρια της σελίδας. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται η αρχική σελίδα της εφαρμογής και οι διαθέσιμες επιλογές αυθεντικοποίησης χρηστών. Τα κουμπιά αυτά ελέγχονται από παράμετρο διαμόρφωσης και απενεργοποιούνται εξ ορισμού σε παραγωγικό περιβάλλον.



Εικόνα 6: Αρχική σελίδα εφαρμογής

### 5.5.2 Ροή προβολής ραντεβού

Μετά τη σύνδεση, ο χρήστης μπορεί να μεταβεί στη σελίδα προβολής ραντεβού (πατώντας το σχετικό κουμπί όπως φαίνεται στις Εικόνες 4 & 5 που προβάλλουν τις αρχικές σελίδες της εφαρμογής για έναν διαχειριστή και ιατρό, αντίστοιχα). Σε αυτήν τη ροή αναδεικνύεται η σημασία του ελέγχου ρόλων. Ο διαχειριστής έχει δυνατότητα προβολής όλων των ραντεβού, ενώ ο ιατρός βλέπει μόνο τα δικά του, καθώς το backend προσαρμόζει την υποκείμενη SQL επερώτηση (για την ανάκτηση των ραντεβού) με βάση το αναγνωριστικό του χρήστη και τον ρόλο του που εμπεριέχεται στο token. Η σελίδα εμφανίζει τις λεπτομέρειες των σχετικών ραντεβού, όπως ημερομηνία και ώρα, στοιχεία ασθενούς, στοιχεία ιατρού, λόγο επίσκεψης και κατάσταση καθώς και τις διαθέσιμες ενέργειες (διαχείρισης). Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται η σελίδα προβολής και διαχείρισης ραντεβού της εφαρμογής (όπως αυτή φαίνεται σε ένα χρήστη με ρόλο διαχειριστή).

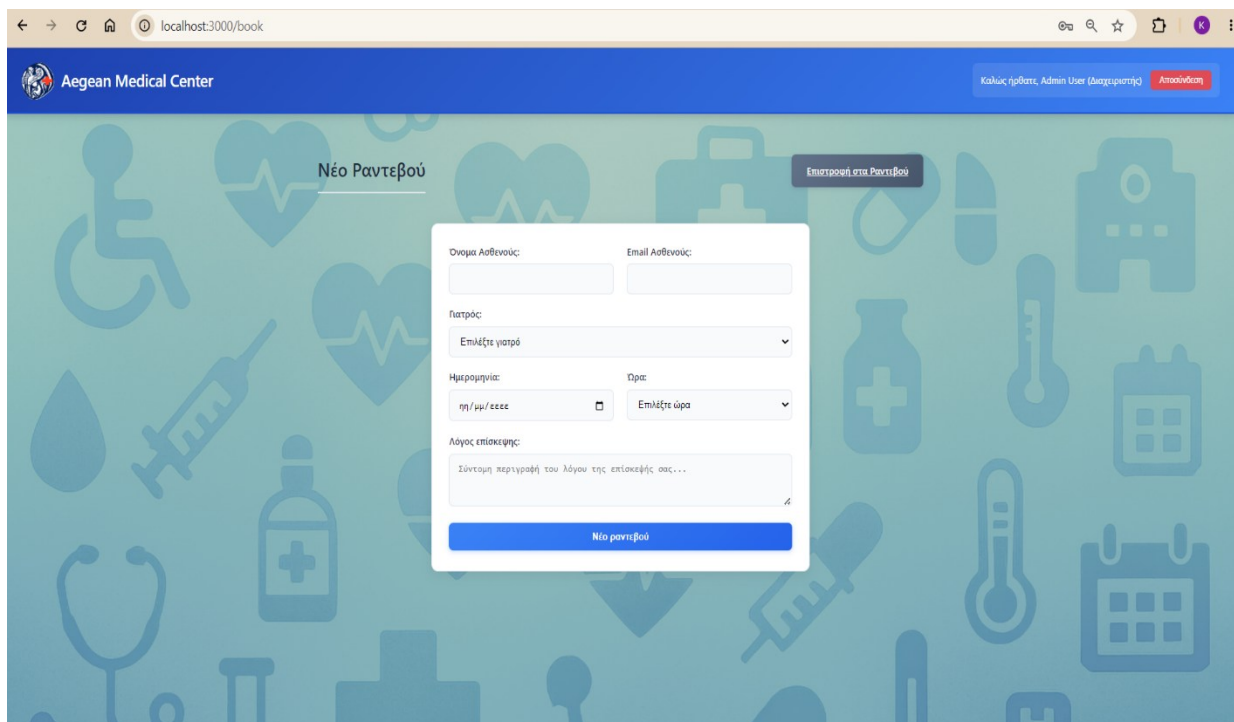


Εικόνα 7: Σελίδα προβολής και διαχείρισης ραντεβού

### 5.5.3 Ροή καταχώρισης νέου ραντεβού

Η ροή κράτησης νέου ραντεβού υλοποιείται μέσω ειδικής φόρμας (Εικόνα 8). Η διεπαφή ανακτά πρώτα τη λίστα των διαθέσιμων ιατρών από το endpoint /doctors. Στη συνέχεια ο διαχειριστής (ADMIN) επιλέγει ιατρό, συμπληρώνει όνομα και email ασθενούς, ορίζει ημερομηνία και ώρα και προαιρετικά δηλώνει λόγο επίσκεψης. Με την υποβολή της φόρμας αποστέλλεται αίτημα τύπου POST προς το endpoint /appointments. Ο backend server

επαληθεύει ότι υπάρχουν τα απαιτούμενα πεδία, υπολογίζει αυτόματα το τέλος του ραντεβού με χρονική θυρίδα σταθερής διάρκειας 30 λεπτών (η διάρκεια είναι προκαθορισμένη στον κώδικα και δεν μπορεί να τροποποιηθεί από τη διεπαφή στην τρέχουσα έκδοση) και εισάγει τη νέα εγγραφή στη βάση. Οι διαθέσιμες θυρίδες εμφανίζονται στη φόρμα κράτησης, αλλά η διάρκεια δεν αναγράφεται ρητά κατά την προβολή ραντεβού — αυτό αποτελεί σημείο βελτίωσης για μελλοντική έκδοση. Μετά την επιτυχή δημιουργία, θα ήταν σκόπιμο η εφαρμογή να ανακατευθύνει αυτόματα τον χρήστη στη λίστα ραντεβού, με το νέο ραντεβού να εμφανίζεται στην κορυφή. Στην τρέχουσα υλοποίηση, εμφανίζεται μήνυμα επιτυχίας αλλά δεν πραγματοποιείται αυτόματη ανακατεύθυνση.

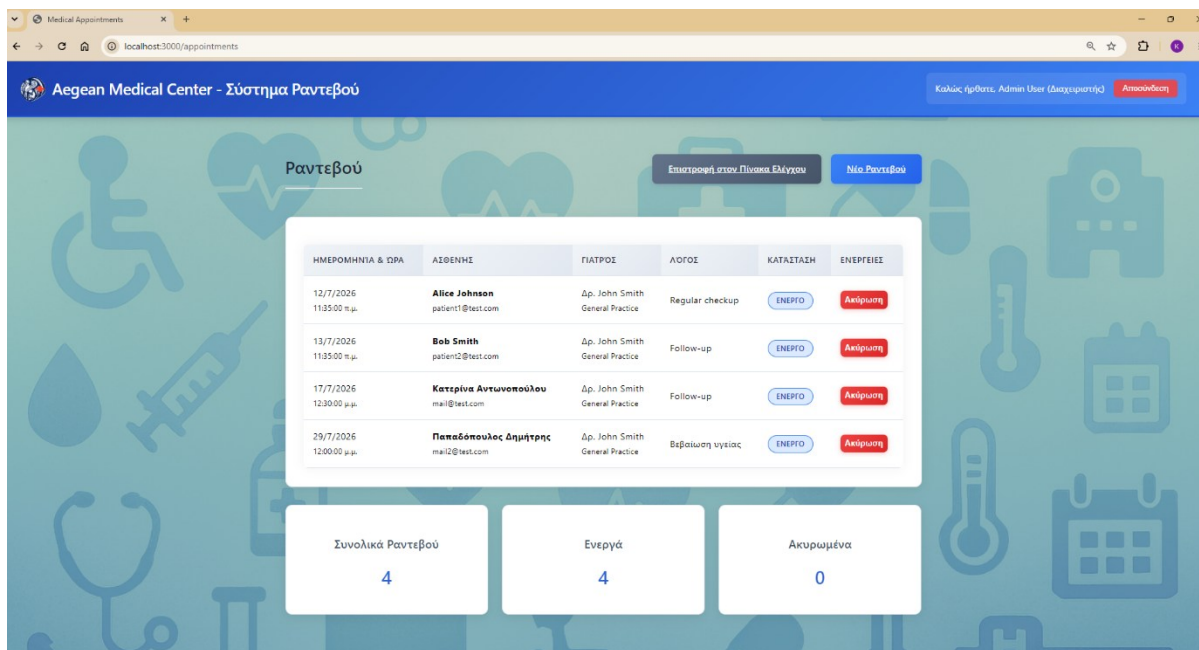
The image shows a web browser window with the URL 'localhost:3000/book'. The page header for 'Aegean Medical Center' includes a login button for 'Admin User (Διαχειριστής)'. The main content area has a background of medical icons and a central form titled 'Νέο Ραντεβού'. The form contains the following fields: 'Όνομα Ασθενούς:' (text input), 'Email Ασθενούς:' (text input), 'Γιατρός:' (dropdown menu with 'Επιλέξτε γιατρό' selected), 'Ημερομηνία:' (date picker), 'Ώρα:' (dropdown menu with 'Επιλέξτε ώρα' selected), and 'Λόγος επίσκεψης:' (text area with placeholder 'Σύντομη περιγραφή του λόγου της επίσκεψής σας...'). A blue button labeled 'Νέο ραντεβού' is at the bottom of the form. A link 'Επιστροφή στα Ραντεβού' is in the top right of the form area.

Εικόνα 8: Φόρμα δημιουργίας νέου ραντεβού

#### 5.5.4 Ροή ακύρωσης ραντεβού

Η ακύρωση ραντεβού αποτελεί χαρακτηριστική ροή ενημέρωσης κατάστασης. Από τον πίνακα ραντεβού, για εγγραφές που βρίσκονται στην κατάσταση BOOKED, ο διαχειριστής μπορεί να επιλέξει την ενέργεια ακύρωσης. Το frontend ζητά επιβεβαίωση μέσω διαλόγου και στη συνέχεια αποστέλλει αίτημα PATCH προς το endpoint /appointments/:id, όπου id είναι το αναγνωριστικό του ραντεβού και η νέα κατάσταση δίνεται στο σώμα του αιτήματος. Το

backend εκτελεί ενημέρωση της εγγραφής και μεταβάλλει την κατάσταση σε CANCELLED. Μετά την επιτυχή απόκριση, η διεπαφή ανανεώνει τη λίστα ραντεβού ώστε η νέα κατάσταση να είναι άμεσα ορατή. Η Εικόνα 9 παρουσιάζει τη λίστα των ραντεβού πριν από την ακύρωση, με διαθέσιμη την ενέργεια «Ακύρωση» για τα ενεργά ραντεβού, και η Εικόνα 10 τη λίστα μετά την ακύρωση του ραντεβού του Κατερίνας Αντωνοπούλου, της προ-τελευταίας γραμμής του πίνακα, με την κατάστασή του ενημερωμένη σε ΑΚΥΡΩΜΕΝΟ (CANCELLED) και τους μετρητές ενεργών και ακυρωμένων ραντεβού προσαρμοσμένους ανάλογα, από τη συνεδρία του διαχειριστή (ρόλος ADMIN). Για τα ενεργά ραντεβού πριν από την εκτέλεση, το frontend ζητά πάντοτε επιβεβαίωση μέσω εγγενούς διαλόγου του φυλλομετρητή με το μήνυμα «Είστε σίγουροι ότι θέλετε να ακυρώσετε αυτό το ραντεβού;».



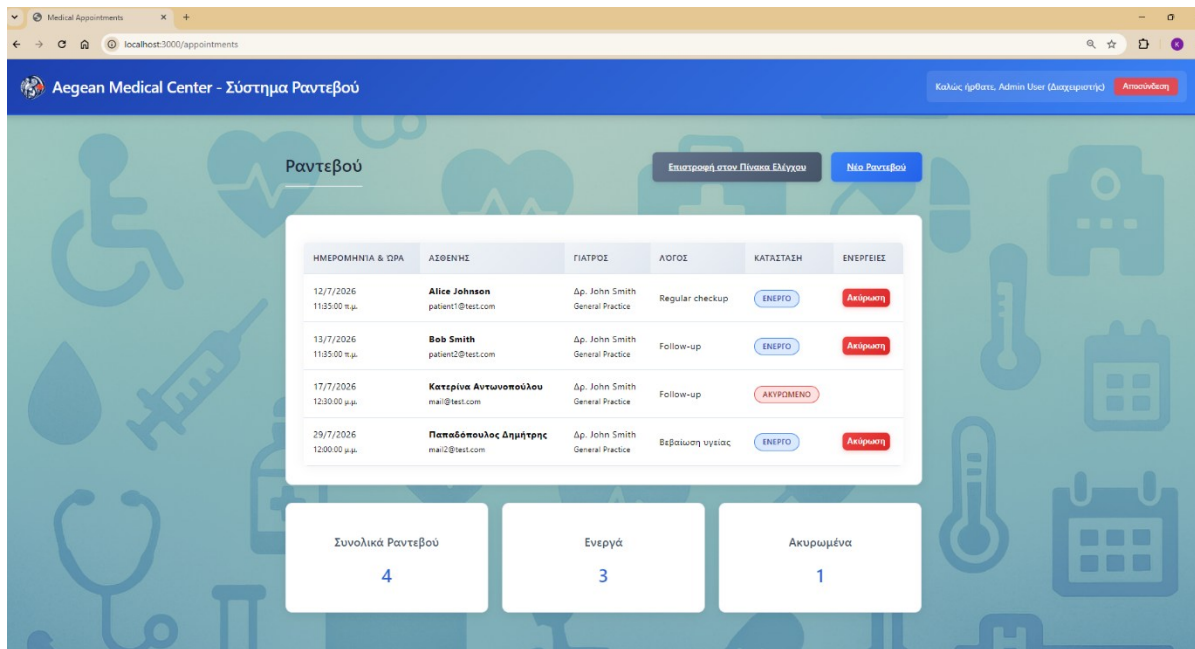
| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ & ΩΡΑ           | ΑΣΘΕΝΗΣ                                       | ΓΙΑΤΡΟΣ                            | ΛΟΓΟΣ           | ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ |
|----------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| 12/7/2026<br>11:35:00 π.μ. | <b>Alice Johnson</b><br>patient1@test.com     | Δρ. John Smith<br>General Practice | Regular checkup | ΕΝΕΡΓΟ    | Ακύρωση   |
| 13/7/2026<br>11:35:00 π.μ. | <b>Bob Smith</b><br>patient2@test.com         | Δρ. John Smith<br>General Practice | Follow-up       | ΕΝΕΡΓΟ    | Ακύρωση   |
| 17/7/2026<br>12:30:00 μ.μ. | <b>Κατερίνα Αντωνοπούλου</b><br>mai@test.com  | Δρ. John Smith<br>General Practice | Follow-up       | ΕΝΕΡΓΟ    | Ακύρωση   |
| 29/7/2026<br>12:00:00 μ.μ. | <b>Παπαδόπουλος Δημήτρης</b><br>mai2@test.com | Δρ. John Smith<br>General Practice | Βεβαίωση υγείας | ΕΝΕΡΓΟ    | Ακύρωση   |

Συνολικά Ραντεβού  
4

Ενεργά  
4

Ακυρωμένα  
0

Εικόνα 9: Λίστα ραντεβού πριν από την ακύρωση, με διαθέσιμη την ενέργεια «Ακύρωση» (ρόλος ADMIN)



Εικόνα 10: Λίστα ραντεβού μετά την ακύρωση του ραντεβού της Κατερίνας Αντωνοπούλου — κατάσταση ΑΚΥΡΩΜΕΝΟ (CANCELLED), ρόλος ADMIN

### 5.5.5 Ροή συνοπτικής αναφοράς

Η ροή συνοπτικής αναφοράς δεν αποτελεί αυτοτελή ροή, αλλά υπο-ροή της ροής προβολής ραντεβού (Ενότητα 5.5.2), καθώς η συγκεντρωτική πληροφορία είναι διαθέσιμη στον διαχειριστή μέσα από τη σελίδα προβολής των ραντεβού. Το endpoint /reports/summary (στο backend) είναι προσβάσιμο μόνο από διαχειριστή (μέσω του frontend) και παρέχει απλή συγκεντρωτική εικόνα του συνόλου των ραντεβού. Ο server (backend) υπολογίζει και αποστέλλει τα εξής: το πλήθος όλων των ραντεβού, το πλήθος ανά κατάσταση (BOOKED, CANCELLED), καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά ανά κατάσταση. Με αυτόν τον τρόπο, ο διαχειριστής λαμβάνει τόσο τα απόλυτα νούμερα όσο και τα σχετικά ποσοστά για κάθε κατάσταση, ώστε η συνοπτική εικόνα να είναι πλήρης. Στην τρέχουσα υλοποίηση δεν υποστηρίζεται μηχανισμός αυτόματης ακύρωσης ραντεβού που δεν υλοποιήθηκαν εντός του καθορισμένου χρονικού παραθύρου. Η προσθήκη ενός τέτοιου μηχανισμού (π.χ. μέσω ενός scheduled task που θα μεταβάλλει αυτόματα την κατάσταση σε EXPIRED ή CANCELLED μετά την παρέλευση της ημερομηνίας) αποτελεί μελλοντική βελτίωση που θα ενίσχυε τη ρεαλιστικότητα του συστήματος.

## 5.6 Προσέγγιση Δοκιμής και Διασφάλιση Ποιότητας

Στο αποθετήριο εντοπίζονται τόσο ενεργά τεχνουργήματα δοκιμών όσο και τεκμηρίωση του σχεδιασμού των δοκιμών. Συγκεκριμένα, υπάρχει δοκιμή end-to-end με Playwright για σύνδεση χρήστη και βασική πλοήγηση (δηλαδή μετάβαση μεταξύ σελίδων dashboard, λίστας ραντεβού και φόρμας κράτησης), load testing scripts με k6 για τα endpoints υγείας (/health), σύνδεσης (/auth/login) και ανάκτησης ραντεβού (/appointments), καθώς και ένα πλάνο δοκιμών (test plan) που ορίζει το αντικείμενο, τα είδη και τα σενάρια των δοκιμών. Το πλάνο δοκιμών αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου πλάνου διασφάλισης ποιότητας, το οποίο καλύπτει επιπλέον στοιχεία όπως απαιτήσεις ποιότητας, δράσεις επιθεώρησης (reviews, audits), ρόλους και ευθύνες, διαχείριση σφαλμάτων και κριτήρια εξόδου. Η στρατηγική διασφάλισης ποιότητας αποτελεί διαφορετική έννοια από το πλάνο διασφάλισης ποιότητας: περιγράφει το συνολικό όραμα, τα πρότυπα και τις πολιτικές ποιότητας ενός οργανισμού, τη φιλοσοφία δοκιμών και τη στρατηγική αυτοματοποίησης. Η τρέχουσα υλοποίηση καλύπτει το πλάνο δοκιμών και επιμέρους στοιχεία ενός πλάνου διασφάλισης ποιότητας και όχι μια πλήρη στρατηγική. Τα στοιχεία αυτά αναλύονται στις επόμενες ενότητες (5.7 & 5.8) του τρέχοντος κεφαλαίου.

Σε λειτουργικό επίπεδο, ο έλεγχος εστιάζει στις βασικές λειτουργίες του συστήματος: είσοδο στο σύστημα, ανάκτηση ραντεβού, κράτηση νέου ραντεβού, ακύρωση και ανάκτηση συνοπτικής αναφοράς. Σε επίπεδο ασφάλειας, η παρουσία JWT authentication, password hashing και endpoints με role-based προστασία επιτρέπει ουσιαστικό έλεγχο βασικών σεναρίων.

Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα:

- μέσω Playwright end-to-end δοκιμών, όπου εξετάζεται η ορθή απόρριψη πρόσβασης σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες στο επίπεδο της διεπαφής
- μέσω χειροκίνητων δοκιμών στο backend (π.χ. με εργαλεία όπως Postman ή cURL), εξετάζοντας:
  - την απόρριψη αιτήματος χωρίς JWT token
  - την απόρριψη αιτημάτων με λανθασμένο token
  - την απαγόρευση πρόσβασης μη διαχειριστή στο endpoint αναφορών

Αντίστοιχα, σε επίπεδο μη λειτουργικών απαιτήσεων, τα load testing scripts με k6 αξιολογούν τον χρόνο απόκρισης για τα βασικά endpoints του συστήματος, δηλαδή τον έλεγχο

διαθεσιμότητας, τη σύνδεση και την ανάκτηση ραντεβού, χωρίς να καλύπτουν τη δημιουργία ή την ακύρωση ραντεβού. Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται η εκτέλεση end-to-end δοκιμών με το Playwright framework.

```
→ tests git:(main) ✗ npx playwright test --reporter=list --project=chromium
Running 3 tests using 3 workers
✓ 1 [chromium] > e2e/basic.spec.js:4:7 > Medical Appointments App > should load login page (246ms)
✓ 2 [chromium] > e2e/basic.spec.js:21:7 > Medical Appointments App > should navigate to appointments (714ms)
✓ 3 [chromium] > e2e/basic.spec.js:10:7 > Medical Appointments App > should login as admin (961ms)
3 passed (1.4s)
```

Εικόνα 11: Εκτέλεση end-to-end δοκιμών με Playwright

## 5.7 Ενδεικτικά σενάρια δοκιμών

Τα σενάρια δοκιμών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: (α) αυτοματοποιημένα, τα οποία καλύπτονται από εκτελέσιμο κώδικα στον φάκελο /tests (Playwright E2E) και στο αρχείο /tests/load-test.js (k6 load testing), (β) υλοποιημένα χειροκίνητα, τα οποία εκτελέστηκαν μέσω κλήσεων προς το API (π.χ. με Postman) και συνοδεύονται από καταγεγραμμένο αποτέλεσμα εκτέλεσης, (γ) προτεινόμενα, τα οποία δεν έχουν εκτελεστεί και προορίζονται για μελλοντική υλοποίηση, όπως το race condition testing, το XSS injection και η ανοχή σε αστοχία της βάσης δεδομένων.

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τα αυτοματοποιημένα σενάρια της κατηγορίας (α) και ο Πίνακας 7 τα χειροκίνητα υλοποιημένα σενάρια της κατηγορίας (β), με το αποτέλεσμα κάθε εκτέλεσης καταγεγραμμένο. Τα προτεινόμενα σενάρια της κατηγορίας (γ) δεν αποτυπώνονται σε πίνακα, αλλά περιγράφονται στην Ενότητα 5.9 ως μελλοντικές επεκτάσεις.

Πίνακας 6: Υλοποιημένα σενάρια δοκιμών (όλα εκτελέστηκαν επιτυχώς)

| A/A | Σενάριο                      | Ενέργεια / Είσοδος                                                                                | Αναμενόμενο αποτέλεσμα                                                          | Εργαλείο        |
|-----|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1   | Επιτυχής σύνδεση διαχειριστή | POST /auth/login με έγκυρα στοιχεία admin                                                         | Επιστρέφεται JWT token                                                          | Playwright + k6 |
| 2   | Προστασία endpoint ραντεβού  | GET /appointments χωρίς Authorization header                                                      | Απόκριση 401                                                                    | k6              |
| 3   | Προβολή ραντεβού ιατρού      | Είσοδος ως doctor και GET /appointments                                                           | Εμφάνιση μόνο των ραντεβού που σχετίζονται με τον ιατρό                         | Playwright      |
| 4   | Έλεγχος health endpoint      | GET /health                                                                                       | Απόκριση 200 με timestamp                                                       | k6              |
| 5   | Δοκιμή φορτίου               | Εκτέλεση script k6 (load-test.js) που καλύπτει τρία endpoints: (α) GET /health (<200ms), (β) POST | Δοκιμή φορτίου (load test): σταδιακή αύξηση εικονικών χρηστών έως 50, διατήρηση | k6              |

| A/A | Σενάριο | Ενέργεια / Είσοδος                                                                                                        | Αναμενόμενο αποτέλεσμα                                                               | Εργαλείο |
|-----|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|     |         | /auth/login (<500ms), (γ) GET /appointments με JWT (<300ms). Δεν καλύπτει το frontend ούτε τη δημιουργία/ακύρωση ραντεβού | φορτίου για 1 λεπτό και αποκλιμάκωση. Οι αποκρίσεις παραμένουν εντός αποδεκτών ορίων |          |

Πίνακας 7: Χειροκίνητα υλοποιημένα σενάρια δοκιμών (εκτελεσμένα μέσω Postman, με καταγεγραμμένο αποτέλεσμα ανά σενάριο)

| A/A | Σενάριο                                | Ενέργεια / Είσοδος                                                           | Αναμενόμενο αποτέλεσμα                                                                                                                | Αποτέλεσμα εκτέλεσης                                                                                              |
|-----|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Αποτυχημένη σύνδεση                    | POST /auth/login με λανθασμένο κωδικό                                        | Απόκριση 401 και μήνυμα invalid credentials                                                                                           | Εκτελέστηκε: απόκριση 401 «Invalid credentials» — σύμφωνη με το αναμενόμενο                                       |
| 2   | Καταχώριση νέου ραντεβού               | POST /appointments με πλήρη απαιτούμενα πεδία                                | Δημιουργία εγγραφής και εμφάνιση μηνύματος επιτυχίας                                                                                  | Εκτελέστηκε: απόκριση 201, δημιουργία εγγραφής — σύμφωνη με το αναμενόμενο                                        |
| 3   | Έλεγχος ελλιπών πεδίων                 | POST /appointments χωρίς doctorId ή startTime                                | Απόκριση 400 με γενικό μήνυμα σφάλματος (π.χ. “Missing required fields”), χωρίς αποκάλυψη του πεδίου που λείπει, για λόγους ασφάλειας | Εκτελέστηκε: απόκριση 400 «Missing required fields» — σύμφωνη με το αναμενόμενο                                   |
| 4   | Ακύρωση ραντεβού                       | PATCH /appointments/:id με {status: 'CANCELLED'} για υπάρχον BOOKED ραντεβού | Η κατάσταση αλλάζει σε CANCELLED                                                                                                      | Εκτελέστηκε: απόκριση 200, κατάσταση CANCELLED (επιβεβαιώθηκε με επακόλουθη ανάκτηση) — σύμφωνη με το αναμενόμενο |
| 5   | Πρόσβαση σε αναφορά από μη διαχειριστή | GET /reports/summary ως doctor                                               | Απόκριση 403                                                                                                                          | Εκτελέστηκε: απόκριση 403 «Admin access required» — σύμφωνη με το αναμενόμενο                                     |

## 5.8 Στοιχεία ασφάλειας και μη λειτουργικής ποιότητας

Αν και πρόκειται για απλουστευμένο πρωτότυπο, το σύστημα περιλαμβάνει αρκετά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν τεκμηριωμένη συζήτηση γύρω από τη βασική ασφάλεια λογισμικού. Οι κωδικοί δεν αποθηκεύονται σε απλό κείμενο αλλά ως hashes μέσω bcrypt, το οποίο ενσωματώνει αυτόματα τυχαίο salt σε κάθε hash, ενώ η πρόσβαση σε κρίσιμα endpoints απαιτεί bearer token.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση όλες οι κλήσεις προς τη βάση χρησιμοποιούν παραμετροποιημένες δηλώσεις (prepared statements), αποτρέποντας επιθέσεις SQL injection. Η ορθή λειτουργία αυτού του μηχανισμού θα μπορούσε να επαληθευτεί μέσω dynamic application security testing (DAST), για παράδειγμα με την εκτέλεση σεναρίων που εισάγουν κακόβουλα payloads (π.χ. ' OR 1=1 --) στα πεδία εισόδου και τα API endpoints, ελέγχοντας ότι η εφαρμογή δεν εκτελεί τα εκχυμένα ερωτήματα (injected queries). Στην τρέχουσα υλοποίηση, η εφαρμογή parameterized queries έχει επιβεβαιωθεί μέσω code review, αλλά δεν έχει πραγματοποιηθεί συστηματικό DAST. Η προσθήκη τέτοιων αυτοματοποιημένων δοκιμών (π.χ. μέσω OWASP ZAP) αποτελεί σημαντική μελλοντική βελτίωση.

Η χρήση in-memory SQLite παραμένει βασικός περιορισμός, καθώς δεν διατηρεί δεδομένα μεταξύ επανεκκινήσεων καθώς σε παραγωγικό περιβάλλον θα αντικαθίστατο από μόνιμη βάση δεδομένων.

Σε επίπεδο απόδοσης, το διαθέσιμο (αυτοματοποιημένο) smoke load-test αξιολογεί κατ' ελάχιστον τη διαθεσιμότητα του συστήματος και την ανταπόκριση των βασικών API κλήσεων υπό ελαφρύ φόρτο. Παρότι δεν πρόκειται για πλήρη αξιολόγηση κλιμάκωσης, η ύπαρξη τέτοιου τεχνουργήματος είναι χρήσιμη διότι συνδέει το πρωτότυπο με πραγματικές πρακτικές ελέγχου μη λειτουργικών απαιτήσεων. Ως smoke load-test νοείται μια σύντομη δοκιμή φορτίου που επιβεβαιώνει τη βασική ευστάθεια του συστήματος υπό περιορισμένο φόρτο, με το αντίστοιχο σενάριο k6 να προσομοιώνει έως 50 ταυτόχρονους εικονικούς χρήστες. Τα κατώφλια απόδοσης του σεναρίου (όπως ο χρόνος απόκρισης κάτω από 200 ms) και το πλήθος των 50 ταυτόχρονων χρηστών δεν απορρέουν από απαιτήσεις πραγματικού υγειονομικού φορέα αλλά αποτελούν ενδεικτικές τιμές που ορίστηκαν ως εύλογες απαιτήσεις απόδοσης για ένα σύστημα διαχείρισης ραντεβού μικρής κλινικής.

Σε επίπεδο χρηστικότητα, η διεπαφή είναι σχετικά περιορισμένη αλλά σαφής. Η πλοήγηση πραγματοποιείται μέσω μενού πλοήγησης (navigation bar) που περιλαμβάνει συνδέσμους προς τις βασικές σελίδες: Dashboard, Λίστα Ραντεβού και Κράτηση Ραντεβού. Οι βασικές ενέργειες είναι άμεσα προσβάσιμες, οι φόρμες είναι σύντομες και η πλοήγηση μεταξύ σελίδων είναι συνεπής.

Στην τρέχουσα φάση δεν έχει πραγματοποιηθεί τυπική αξιολόγηση χρηστικότητα (π.χ. μέσω SUS questionnaire ή think-aloud protocol). Η εφαρμογή μιας τέτοιας αξιολόγησης, ακόμη και σε μικρό δείγμα χρηστών, θα αποτελούσε σημαντική μελλοντική βελτίωση που θα ενίσχυε την τεκμηρίωση της μελέτης περίπτωσης. Ο χειρισμός σφαλμάτων επιστρέφει διακριτά μηνύματα

κατάστασης (400, 401, 403, 404), αν και η ανακατεύθυνση του χρήστη μετά από σφάλμα δεν είναι πάντοτε η βέλτιστη. Η ηθική δοκιμή και ο έλεγχος συμμόρφωσης ή διαλειτουργικότητας δεν εφαρμόζονται στο τρέχον πρωτότυπο, καθώς ξεπερνούν το εύρος της επίδειξης.

## 5.9 Περιορισμοί της υλοποίησης

Για λόγους επιστημονικής ακρίβειας, είναι απαραίτητο να καταγραφούν ρητά οι περιορισμοί του πρωτοτύπου. Πρώτον, η βάση SQLite λειτουργεί στη μνήμη και συνεπώς τα δεδομένα χάνονται με την επανεκκίνηση του backend. Δεύτερον, ο ρόλος του ασθενούς δεν υποστηρίζεται στην τρέχουσα υλοποίηση. Σε μελλοντική επέκταση, ο ασθενής θα μπορούσε να έχει πρόσβαση σε λειτουργίες, όπως η προβολή των δικών του ραντεβού, η δημιουργία νέου αιτήματος ραντεβού (που θα εγκρίνεται από τον ιατρό ή τον διαχειριστή) και η ακύρωση ραντεβού εντός καθορισμένου χρονικού ορίου (εφόσον το ραντεβού είναι σε συγκεκριμένη κατάσταση). Τρίτον, η λογική δημιουργίας διαθέσιμων χρονικών θυρίδων (slots) βασίζεται σε απλουστευμένο υπολογισμό εντός του endpoint κράτησης ραντεβού (/appointments) και δεν αντιστοιχεί σε ανεξάρτητο engine διαθεσιμότητας με ξεχωριστό API endpoint.

Επιπλέον, παρά την ύπαρξη αρχείων που περιγράφουν εκτενέστερη αρχιτεκτονική με NestJS, Prisma, waitlist και audit log, τα στοιχεία αυτά δεν είναι η ενεργή βάση εκτέλεσης του πρωτοτύπου που εξετάζεται εδώ. Για αυτό τον λόγο, η μελέτη περίπτωσης δεν πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα ως πλήρες παραγωγικό οικοσύστημα υγείας, αλλά ως απλουστευμένη πλατφόρμα επίδειξης αρχών ελέγχου ποιότητας.

Από την οπτική των δοκιμών, ο υφιστάμενος αυτοματισμός είναι χρήσιμος αλλά περιορισμένος. Η βασική Playwright δοκιμή καλύπτει ορισμένες θεμελιώδεις μεταβάσεις διεπαφής, το k6 script προσφέρει μία αρχική ένδειξη απόδοσης, ενώ τα χειροκίνητα εκτελεσμένα σενάρια της κατηγορίας (β) — όπως η κράτηση ραντεβού με μη έγκυρα δεδομένα (π.χ. παρελθούσα ημερομηνία, κενά υποχρεωτικά πεδία) και η απόπειρα πρόσβασης ιατρού σε ραντεβού άλλου ιατρού (role misuse scenario) — συμπληρώνουν τον έλεγχο σε επίπεδο API. Ωστόσο, απαιτείται ευρύτερη επέκταση για πλήρη κάλυψη. Οι Πίνακες 6 και 7 αποτυπώνουν αντίστοιχα τα αυτοματοποιημένα σενάρια της κατηγορίας (α) και τα χειροκίνητα υλοποιημένα σενάρια της κατηγορίας (β), όπως οι κατηγορίες αυτές ορίστηκαν στην Ενότητα 5.7. Η κατηγορία (γ) περιλαμβάνει τα προτεινόμενα σενάρια που δεν έχουν εκτελεστεί: τη δοκιμή ταυτόχρονης κράτησης του ίδιου slot από δύο χρήστες (race condition testing), τη δοκιμή XSS injection μέσω της φόρμας κράτησης και τη δοκιμή ανοχής σφαλμάτων της βάσης δεδομένων

κατά τη διάρκεια κράτησης. Τα σενάρια αυτά αποτελούν τις σημαντικότερες μελλοντικές επεκτάσεις της τρέχουσας μελέτης περίπτωσης.

### 5.10 Συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης

Η μελέτη περίπτωσης δείχνει ότι ακόμη και ένα περιορισμένο αλλά συνεκτικό πρωτότυπο μπορεί να υποστηρίξει ουσιαστική ανάλυση Δοκιμής σε πλαίσιο ιατρικών εφαρμογών ιστού. Ωστόσο, η μελέτη εστιάστηκε κυρίως στη δοκιμή λογισμικού (testing) και λιγότερο στην εφαρμογή συγκεκριμένων πρακτικών διασφάλισης ποιότητας (SQA), όπως process audits, metrics collection ή εφαρμογή μοντέλων ποιότητας, οι οποίες αποτελούν σημαντικό πεδίο μελλοντικής εργασίας.

Ταυτόχρονα, το πρωτότυπο αναδεικνύει τις δυσκολίες μετάβασης από μία ελεγχόμενη ακαδημαϊκή επίδειξη σε μία πιο ώριμη, παραγωγική αρχιτεκτονική. Η διάκριση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι βοηθά να αξιολογηθεί ρεαλιστικά τι έχει ήδη επιτευχθεί και ποια σημεία απαιτούν περαιτέρω σχεδιασμό και ποιοτικό έλεγχο. Κατά συνέπεια, το σύστημα λειτουργεί όχι μόνο ως παράδειγμα εφαρμογής πρακτικών Δοκιμής Λογισμικού, αλλά και ως βάση συζήτησης για τη σταδιακή ωρίμανση ποιοτικών απαιτήσεων σε εφαρμογές ευαίσθητων δεδομένων (όπως είναι οι ιατρικές).

## 6. Ερευνητικά Κενά & Κατευθύνσεις

### 6.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση των δεκαεννέα μελετών που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4 έδειξε ότι το πεδίο της δοκιμής και της διασφάλισης ποιότητας για ιατρικές εφαρμογές ιστού βρίσκεται σε φάση ουσιαστικής ανάπτυξης, αλλά όχι ακόμη σε φάση πλήρους ωρίμανσης. Παρά τη διαθεσιμότητα αξιολογών προσεγγίσεων για επιμέρους προβλήματα, όπως η αυτοματοποίηση δοκιμών σε αρχιτεκτονικές μικρο-υπηρεσιών, η διαλειτουργικότητα μέσω HL7/FHIR, η αξιολόγηση χρηστικότητας ή η εφαρμογή μοντέλων ποιότητας σε EHR συστήματα, η βιβλιογραφία παραμένει έντονα κατακερματισμένη. Οι περισσότερες μελέτες αντιμετωπίζουν μία ή δύο διαστάσεις ποιότητας αποσπασματικά και όχι ως τμήματα ενός ενιαίου, κλινικά ευαίσθητου οικοσυστήματος. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο, διότι στις ιατρικές εφαρμογές ιστού η τεχνική αστοχία δεν συνεπάγεται μόνο μείωση της εμπειρίας χρήστη ή αύξηση του λειτουργικού κόστους, αλλά ενδέχεται να επηρεάσει τη συνέχεια της περίθαλψης, την ακεραιότητα των κλινικών δεδομένων και την ασφάλεια των ασθενών.

Το παρόν κεφάλαιο μετατοπίζει τη συζήτηση από τη χαρτογράφηση των υφιστάμενων προσεγγίσεων στον εντοπισμό των ερευνητικών κενών που αναδύονται από τη συγκριτική επισκόπηση και από την πρακτική μελέτη περίπτωσης του Κεφαλαίου 5. Η οργάνωση ακολουθεί θεματικές ενότητες που αντιστοιχούν σε κρίσιμες περιοχές όπου η υπάρχουσα γνώση παραμένει ελλιπής: αυτοματοποίηση δοκιμών, διαλειτουργικότητα και πρότυπα, κανονιστική συμμόρφωση και κλινική επικύρωση, αξιολόγηση χρηστικότητας, καθώς και ασφάλεια και προστασία δεδομένων. Σε κάθε ενότητα περιγράφονται τα κενά, αναλύεται η σημασία τους για τις ιατρικές διαδικτυακές εφαρμογές ιστού και προτείνονται συγκεκριμένες ερευνητικές κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα. Στόχος είναι να αναδειχθεί η κεντρική θέση της εργασίας: ότι η ποιότητα στον χώρο αυτό δεν εξασφαλίζεται μόνο με μεμονωμένες τεχνικές, αλλά απαιτεί έναν συνδυασμό δοκιμών, κανονιστικής συμμόρφωσης και κλινικά τεκμηριωμένης αξιολόγησης.

Ο Πίνακας 8 συνοψίζει τα ερευνητικά κενά και τις αντίστοιχες κατευθύνσεις αντιμετώπισης, τα οποία αναλύονται διεξοδικά στις Ενότητες 6.2 έως 6.6.

Πίνακας 8: Χαρτογράφηση ερευνητικών κενών και κατευθύνσεων αντιμετώπισης

| Κενό                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Κατευθύνσεις αντιμετώπισης                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Αποσπασματική αυτοματοποίηση δοκιμών (6.2): μία μόνο πλήρως αυτοματοποιημένη προσέγγιση στις 14 συγκρίσιμες πρωτογενείς μελέτες και εννοιολογικές προτάσεις, εξάρτηση από χειροκίνητη παρέμβαση στον σχεδιασμό και στην αξιολόγηση, υψηλές απαιτήσεις οργανωσιακής ωριμότητας και αρχικής επένδυσης | Πολυεπίπεδα πλαίσια αυτοματοποίησης βάσει επικινδυνότητας.<br>Επαναχρησιμοποιήσιμες βιβλιοθήκες σεναρίων, συνθετικά κλινικά δεδομένα και πρότυπες διοχετεύσεις.<br>Εξηγήσιμη τεχνητή νοημοσύνη με μηχανισμούς ανθρώπινης παρέμβασης (human-in-the-loop). Συγκριτικές εμπειρικές μελέτες σε ανοιχτά σημεία αναφοράς.                                                   |
| Διαλειτουργικότητα περιορισμένη στον συντακτικό έλεγχο (6.3): ελλιπής σημασιολογική και πραγματολογική επικύρωση, ακάλυπτη διαχείριση εκδόσεων FHIR, αποκλίσεις υλοποιήσεων κατασκευαστών, αδοκίμαστη συνδυασμένη χρήση HL7, FHIR και DICOM                                                         | Πολυεπίπεδα πλαίσια δοκιμών που συνδυάζουν έλεγχο συμμόρφωσης, σημασιολογική επικύρωση και αξιολόγηση σε επίπεδο ροής εργασίας.<br>Κοινά σημεία αναφοράς με ρεαλιστικά σύνολα δεδομένων, πολλαπλές εκδόσεις προτύπων, σενάρια ανταλλαγής μεταξύ ανεξάρτητων φορέων υγείας καθώς και κατάλληλες μετρικές. Συνεχής παρακολούθηση της διαλειτουργικότητας στην παραγωγή. |
| Περιορισμένη κάλυψη κανονιστικής συμμόρφωσης και κλινικής επικύρωσης (6.4): 5 από 19 μελέτες, αντιμετώπιση της συμμόρφωσης ως συμπληρωματικής διάστασης, ελάχιστη σύνδεση των τεχνικών δεικτών με την πραγματική κλινική χρήση                                                                      | Πλαίσια συνεχούς συμμόρφωσης με μηχανισμούς ιχνηλασιμότητας.<br>Πρότυπα μοντέλα χαρτογράφησης κανονιστικών απαιτήσεων σε τύπους δοκιμών και κριτήρια αποδοχής.<br>Μεικτές μεθοδολογίες με τεχνικούς και κλινικούς δείκτες.<br>Συνεχής παρακολούθηση μετά τη διάθεση.                                                                                                  |
| Ρηχό μεθοδολογικό βάθος στην αξιολόγηση χρησιμότητας (6.5): μικρά και μη αντιπροσωπευτικά δείγματα, εργαστηριακές συνθήκες αντί πραγματικού κλινικού πλαισίου, εφάπαξ αντί συνεχούς αποτίμησης                                                                                                      | Πρωτόκολλα αξιολόγησης που υπερβαίνουν τα τυποποιημένα ερωτηματολόγια (κόπωση, εμπιστοσύνη, ευκολία εκμάθησης, ανάκαμψη από σφάλματα).<br>Αξιολόγηση σε πραγματικά περιβάλλοντα με αντιπροσωπευτικά δείγματα χρηστών.                                                                                                                                                 |

| Κενό                                                                                                                                                                                                                                          | Κατευθύνσεις αντιμετώπισης                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                               | Προσβασιμότητα και συμπεριληπτικός σχεδιασμός.<br>Συνεχής αποτίμηση και παρακολούθηση χρηστικότητας σε όλο τον κύκλο ζωής.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ρηχή κάλυψη ασφάλειας και ιδιωτικότητας (6.6): εστίαση στην ασφάλεια μεταφοράς και στους ελέγχους διείσδυσης, ελάχιστος έλεγχος των μηχανισμών σε επίπεδο εφαρμογής (εξουσιοδότηση, επικύρωση εισόδων, συγκατάθεση, ελαχιστοποίηση δεδομένων) | DevSecOps με SAST, DAST, ανάλυση σύνθεσης λογισμικού και ελέγχους παλινδρόμησης ιδιωτικότητας.<br>Δοκιμές ασφάλειας API.<br>Εξειδικευμένα σύνολα δοκιμών για συγκατάθεση, ελαχιστοποίηση δεδομένων, κινδύνους επανα-ταυτοποίησης και ανθεκτικότητα σε σύνθετα σενάρια επιθέσεων.<br>Ποσοτικοποίηση κόστους μέσω μεθοδολογίας διαχείρισης ρίσκου.<br>Μελέτη αντισταθμίσεων με τις υπόλοιπες ιδιότητες. |

## 6.2 Κενά στην Αυτοματοποίηση Δοκιμών Ιατρικών Εφαρμογών

### 6.2.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών

Η αυτοματοποίηση παραμένει αποσπασματική, όπως δείχνει η ανάλυση του Κεφαλαίου 4. Από τις δεκατέσσερις πρωτογενείς μελέτες και εννοιολογικές προτάσεις που αξιολογούνται συγκριτικά στο Κεφάλαιο 4, μία μόλις περιγράφει πλήρως αυτοματοποιημένη προσέγγιση, εννέα στηρίζονται σε μερική αυτοματοποίηση και τέσσερις σε χειροκίνητο έλεγχο. Το πρώτο κενό θεμελιώνεται πάνω σε αυτή την κατανομή. Η αυτοματοποίηση δεν έχει αποκτήσει ενιαία και ώριμη μορφή, αλλά εμφανίζεται σε μεμονωμένα τμήματα του κύκλου δοκιμών. Από τη μελετημένη βιβλιογραφία, οι Zaki et al. (2022) προτείνουν διοχετεύσεις συνεχούς ολοκλήρωσης και παράδοσης (continuous integration / continuous delivery, CI/CD pipelines) για αρχιτεκτονικές μικροϋπηρεσιών (microservices) υγείας στο υπολογιστικό νέφος, ενώ οι Jha et al. (2022) εισηγούνται δοκιμές βάσει μοντέλου (model-based testing) με παραγωγή περιπτώσεων δοκιμής από διαγράμματα δραστηριοτήτων UML. Οι Sartaj et al. (2023) εστιάζουν στις δοκιμές σε επίπεδο συστήματος (system-level testing) για περιβάλλοντα Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) υγείας. Η συνεισφορά τους στην

αυτοματοποίηση έγκειται στην αυτοματοποιημένη παραγωγή ψηφιακών διδύμων (digital twins) ιατρικών συσκευών, με τεχνικές βάσει μοντέλου και μηχανικής μάθησης, ως υποδομή δοκιμών, και όχι στην ίδια την αρχιτεκτονική ως δομικό στοιχείο. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις μοιράζονται δύο γνωρίσματα: περιορισμένο βαθμό αυτοματοποίησης των αποφάσεων δοκιμής και εξακολουθητική εξάρτηση από χειροκίνητη παρέμβαση στα στάδια σχεδιασμού και αξιολόγησης.

Την παραπάνω διαπίστωση ενισχύει η θεματική κατανομή του Κεφαλαίου 4. Η ασφάλεια εμφανίζεται σε εννέα μελέτες, η χρηστικότητα σε οκτώ και η αξιοπιστία σε έξι, ενώ η κανονιστική συμμόρφωση αγγίζεται σε πέντε και η λειτουργική ορθότητα και η απόδοση σε τέσσερις η καθεμία. Η διαλειτουργικότητα και η εμπειρία χρήστη εμφανίζονται σε τρεις μελέτες η καθεμία, ενώ η ηθική διάσταση απουσιάζει εντελώς.

Το δεύτερο κενό αφορά τις προϋποθέσεις υιοθέτησης. Η αυτοματοποίηση της ασφάλειας, των δοκιμών ιδιωτικότητας (privacy testing), της αξιολόγησης ανθεκτικότητας και της μετάφρασης κανονιστικών απαιτήσεων σε εκτελέσιμες δοκιμές παραμένει περιορισμένη ή εξαρτημένη από χειροκίνητη υποστήριξη. Η μεθοδολογική καινοτομία των δεκατεσσάρων συγκρίσιμων προσεγγίσεων παραμένει περιορισμένη, καθώς μόνο τρεις εισάγουν γνήσια νέα μέθοδο, ενώ οι υπόλοιπες έντεκα είτε εφαρμόζουν είτε προσαρμόζουν υπάρχουσες τεχνικές ή προτείνουν αρχιτεκτονικά πλαίσια χωρίς νέα μέθοδο δοκιμής. Η διαπίστωση αυτή δεν ταυτίζεται με τον βαθμό αυτοματοποίησης, αφού μια καθιερωμένη τεχνική μπορεί κάλλιστα να προσφέρει υψηλή αυτοματοποίηση αλλά δείχνει όμως ότι το πεδίο επαναχρησιμοποιεί λύσεις σχεδιασμένες για ώριμα περιβάλλοντα, και γι' αυτό η υιοθέτησή τους προϋποθέτει συνήθως υψηλή οργανωσιακή ωριμότητα και σημαντική αρχική επένδυση. Η κατασκευή τυπικών μοντέλων για δοκιμές βάσει μοντέλου, η συντήρηση σύνθετων υποδομών συνεχούς ολοκλήρωσης, η ανάπτυξη ειδικών διατάξεων δοκιμών (test harnesses) για το ιατρικό IoT και η αξιοποίηση δοκιμών με τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence, AI-powered testing) απαιτούν συνδυασμό δεξιοτήτων. Η εξειδίκευση στο κανονιστικό πλαίσιο αποτελεί βασική προϋπόθεση και όχι πρόσθετο προσόν, καθώς δεν νοείται έλεγχος ιατρικού λογισμικού χωρίς γνώση των θεμελιωδών απαιτήσεων του ελέγχου και του λογισμικού υγείας. Η εξειδίκευση αυτή συνδέεται με την αυτοματοποίηση στο εξής σημείο: η κωδικοποίηση των κανονιστικών απαιτήσεων σε εκτελέσιμες δοκιμές απαιτεί ακριβώς τη μετάφραση αυτής της γνώσης σε λογική ελέγχου, βήμα που σήμερα παραμένει κατά κύριο λόγο χειροκίνητο.

Οι μικρότεροι οργανισμοί υγείας, οι νεοφυείς επιχειρήσεις (startups) ψηφιακής υγείας και οι πανεπιστημιακές ερευνητικές ομάδες δυσκολεύονται να υιοθετήσουν προηγμένες μορφές

αυτοματοποίησης, για συγκεκριμένους λόγους. Τους λείπει αφενός η συσσωρευμένη εμπειρία στη συντήρηση υποδομών CI/CD και στην κατασκευή τυπικών μοντέλων, αφετέρου το εξειδικευμένο προσωπικό που γνωρίζει ταυτόχρονα έλεγχο λογισμικού, κλινικό πλαίσιο και κανονιστικές απαιτήσεις. Η κάλυψη του κενού αυτού απαιτεί στοχευμένη εκπαίδευση και αρχική επένδυση, βάρος που οι φορείς αυτοί συχνά αδυνατούν να αναλάβουν. Η δευτερογενής επισκόπηση των Obigbesan et al. (2024) τεκμηριώνει ότι οι πρακτικές δοκιμής στην ηλεκτρονική υγεία (eHealth) παραμένουν ανομοιογενείς. Η ανομοιογένεια αυτή συνδέεται με την αυτοματοποίηση, καθώς η απουσία κοινών, αυτοματοποιημένων διοχετεύσεων και προτύπων αφήνει κάθε φορέα να διαμορφώνει ad hoc διαδικασίες. Τυποποιημένα πλαίσια αυτοματοποίησης θα μπορούσαν να περιορίσουν αυτή την ετερογένεια, χωρίς όμως να την εξαλείψουν, εφόσον μέρος της προέρχεται από διαφορές κανονιστικού και κλινικού πλαισίου. Η δευτερογενής ανασκόπηση των Wairagade και Cuthrell (2025) αναδεικνύει τη δυναμική της τεχνητής νοημοσύνης αλλά και τους περιορισμούς της ως προς την ερμηνευσιμότητα, την αξιοπιστία και την ανάγκη ανθρώπινης επίβλεψης. Τα στοιχεία αυτά επιβεβαιώνουν ότι ο βαθμός αυτοματοποίησης των αποφάσεων και ο βαθμός συμμετοχής του ανθρώπινου παράγοντα στις διαδικασίες δοκιμής και επιδιόρθωσης παραμένουν ανοιχτά ζητήματα. Με μία μόνο ελεγχόμενη πειραματική επικύρωση σε ολόκληρο το σώμα, η ανάλυση του Κεφαλαίου 4 επιβεβαιώνει ότι δεν αρκεί η ανάπτυξη τεχνικά εξελιγμένων εργαλείων αλλά απαιτούνται έρευνες για την υιοθετησιμότητα, το πραγματικό κόστος κύκλου ζωής και τη σχέση κόστους-οφέλους σε ρεαλιστικά κλινικά περιβάλλοντα.

### 6.2.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης

Πρώτη ερευνητική κατεύθυνση συνιστά η ανάπτυξη πολυεπίπεδων πλαισίων αυτοματοποίησης βάσει επικινδυνότητας (risk-based), όπου το επίπεδο του αυτοματισμού καθορίζεται από την κρισιμότητα της λειτουργίας και τη διαθέσιμη οργανωσιακή ωριμότητα. Τα πλαίσια αυτά οφείλουν να ορίζουν ρητά τόσο τον βαθμό αυτοματοποίησης των αποφάσεων όσο και τον βαθμό συμμετοχής του ανθρώπινου παράγοντα στα στάδια δοκιμής και επιδιόρθωσης, ώστε η κλιμάκωση να αντιστοιχεί στην κλινική κρισιμότητα και στους διαθέσιμους πόρους κάθε φορέα.

Δεύτερη κατεύθυνση αποτελεί η δημιουργία επαναχρησιμοποιήσιμων βιβλιοθηκών σεναρίων, συνθετικών κλινικών δεδομένων και πρότυπων διοχετεύσεων (reference pipelines) ειδικά για εφαρμογές ιστού υγείας. Οι βιβλιοθήκες σεναρίων χρειάζεται να υποστηρίζουν όχι μόνο την αποθήκευση και πλήρη διαχείριση των σεναρίων, αλλά και την αυτοματοποιημένη παραγωγή τους από παραμετροποιήσιμα πρότυπα, μειώνοντας έτσι το αρχικό κόστος υιοθέτησης. Τα

συνθετικά κλινικά δεδομένα αποκτούν μεγαλύτερη αξία όταν διατίθενται υπό τη μορφή ή υπό την αιγίδα κοινών σημείων αναφοράς (benchmarks), που εξασφαλίζουν συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών λύσεων.

Τρίτη κατεύθυνση αφορά τη χρήση και την αξιολόγηση τεχνικών εξηγήσιμης τεχνητής νοημοσύνης (explainable AI) στις δοκιμές. Προτεραιότητα έχει η ίδια η υιοθέτηση και χρήση των τεχνικών αυτών, ώστε να συσσωρευτεί η εμπειρία που επιτρέπει καλύτερη ερμηνευσιμότητα και αξιοπιστία, και κατόπιν η συστηματική αποτίμησή τους. Οι μηχανισμοί ανθρώπινης παρέμβασης (human-in-the-loop) αποτελούν απαραίτητο παράγοντα, μέσω των οποίων ο ειδικός ελέγχει και διορθώνει τις αυτόματα παραγόμενες δοκιμές, διατηρώντας την ανθρώπινη επίβλεψη στα κλινικά κρίσιμα σημεία.

Τέταρτη κατεύθυνση συνιστούν οι συγκριτικές εμπειρικές μελέτες που αντιπαραβάλλουν χειροκίνητες, μερικώς αυτοματοποιημένες και πλήρως αυτοματοποιημένες στρατηγικές σε κοινά σενάρια ιατρικών εφαρμογών ιστού. Με τη δημιουργία ανοιχτών σημείων αναφοράς (benchmarks) κάθε ερευνητής αποτιμά νέες λύσεις αυτοματοποίησης, τις βελτιώνει και τις προωθεί προς χρήση από την ερευνητική κοινότητα και την αγορά. Έτσι η επιστημονική συζήτηση μετακινείται από την τεχνολογική υπόσχεση στην τεκμηριωμένη απόδοση. Η μοναδική ελεγχόμενη πειραματική επικύρωση που εντόπισε η ανάλυση του Κεφαλαίου 4 καθιστά την κατεύθυνση αυτή ιδιαίτερα επείγουσα.

### 6.3 Κενά στη Διαλειτουργικότητα και Πρότυπα

Λίγες διαστάσεις ποιότητας είναι τόσο κρίσιμες και τόσο απαιτητικές για τις ιατρικές εφαρμογές ιστού όσο η διαλειτουργικότητα (interoperability). Η ερευνητική κάλυψη δεν ακολουθεί αυτή τη σημασία: από τις δεκαεννέα μελέτες του Κεφαλαίου 4, μόλις τρεις την αγγίζουν ουσιαστικά. Η διαλειτουργικότητα μένει έτσι στην περιφέρεια της ερευνητικής προσοχής, παρότι από αυτήν εξαρτάται η ανταλλαγή κλινικών δεδομένων μεταξύ των συστημάτων που υποστηρίζουν τη φροντίδα.

#### 6.3.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών

Τήρηση προτύπων όπως τα HL7 και FHIR απαιτείται, αλλά δεν αρκεί για ασφαλή και ουσιαστική ανταλλαγή κλινικών δεδομένων. Αυτό τεκμηριώνουν οι Weber (2019), Sartaj et al. (2023) και Zaki et al. (2022). Πρώτο κενό είναι η περιορισμένη αντιμετώπιση της σημασιολογικής (semantic) και πραγματολογικής (pragmatic) διάστασης. Οι περισσότερες εργασίες σταματούν στον έλεγχο της ορθής μορφοποίησης των μηνυμάτων, στη συνδεσιμότητα ή στη συμπεριφορά των κλήσεων διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών

(API calls). Πολύ λιγότερο εξετάζουν αν η πληροφορία ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο από διαφορετικούς οργανισμούς, αν διατηρείται η κλινική σημασία της σε ετερογενή περιβάλλοντα και αν οι ροές εργασίας παραμένουν έγκυρες σε πραγματικές, πολυοργανωσιακές διαδρομές φροντίδας.

Αυτή η εστίαση στην τεχνική μορφοποίηση εις βάρος της σημασιολογικής ερμηνείας δεν είναι απλή παρατήρηση επιμέρους μελετών. Συνάγεται από την ίδια τη σύνθεση του Κεφαλαίου 4, όπου κυριαρχεί η περιορισμένη μεθοδολογική καινοτομία: από τις δεκατέσσερις συγκρίσιμες προσεγγίσεις, έντεκα εφαρμόζουν ή προσαρμόζουν υφιστάμενες τεχνικές και μόνο τρεις εισάγουν γνήσια νέα μέθοδο. Το σώμα της έρευνας αναπαράγει καθιερωμένους ελέγχους συμμόρφωσης χωρίς να φτάνει στην επιβεβαίωση κοινής ερμηνείας της πληροφορίας ανάμεσα σε ανεξάρτητους φορείς. Εκεί μένει σε δεύτερο πλάνο η σημασιολογική και πραγματολογική επικύρωση.

Το ίδιο κενό το ενισχύει η περιορισμένη εξωτερική εγκυρότητα της διαθέσιμης βιβλιογραφίας. Πολλές εργασίες στηρίζονται σε περιορισμένα περιβάλλοντα δοκιμών (testbeds) ή σε ελεγχόμενες αρχιτεκτονικές, όπου οι εμπλεκόμενες υπηρεσίες σχεδιάζονται εξ αρχής για να συνεργάζονται και όπου οι παραδοχές για τη μορφή και τη σημασία των δεδομένων είναι κοινές από την αρχή. Πέρα από μία μόνο περίπτωση, η ανάλυση του Κεφαλαίου 4 δεν εντόπισε καμία ελεγχόμενη πειραματική επικύρωση, και αυτό καθιστά αδύνατη τη γενίκευση των αποτελεσμάτων σε ρεαλιστικά, ετερογενή οικοσυστήματα. Αξιόλογη βάση για δοκιμές σε επίπεδο συστήματος (system-level testing) προσφέρει η αρχιτεκτονική HITA των Sartaj et al. (2023), δεν καλύπτει όμως σενάρια μεγάλης κλίμακας με ανεξάρτητα σχεδιασμένους φορείς. Σε διαφορετικό σημείο εστιάζουν οι Zaki et al. (2022): στη διαλειτουργικότητα εντός περιβάλλοντος μικροϋπηρεσιών (microservices) και όχι στην ανταλλαγή δεδομένων με εξωτερικά συστήματα, όπως οι Ηλεκτρονικοί Φάκελοι Υγείας (EHR), τα Πληροφοριακά Συστήματα Εργαστηρίων (LIS), τα Συστήματα Αρχαιοθέτησης και Επικοινωνίας Εικόνων (PACS/RIS) ή άλλες πλατφόρμες τρίτων.

Σε επίπεδο προτύπων, τρία αλληλένδετα ζητήματα μένουν ακάλυπτα, και προκύπτουν από τη βιβλιογραφική σύγκριση παρά από τη στατιστική σύνθεση του Κεφαλαίου 4. Ελάχιστα εξετάζεται, καταρχάς, η διαχείριση εκδόσεων (versioning) των διεπαφών FHIR, παρότι η συνύπαρξη παλαιότερων και νεότερων εκδόσεων του προτύπου ανάμεσα σε συνεργαζόμενους φορείς γεννά συχνά ασυμβατότητες. Λείπουν, έπειτα, μελέτες για τις ασυμβατότητες ανάμεσα σε υλοποιήσεις του ίδιου προτύπου από διαφορετικούς κατασκευαστές (vendor-specific implementations), εκεί όπου η ίδια προδιαγραφή ερμηνεύεται και αποτυπώνεται με

αποκλίνοντα τρόπο. Σπανίως, τέλος, η έρευνα εξετάζει τη συνδυασμένη υποστήριξη πολλαπλών προτύπων μέσα στο ίδιο σύστημα. Στην πράξη μια εφαρμογή υποστηρίζει συνήθως ένα μόνο πρότυπο, οπότε το πρόβλημα μετατοπίζεται στα όρια μεταξύ των εφαρμογών και των οργανισμών που τις λειτουργούν. Όταν ένα περιστατικό περνά από καταχώριση, εργαστηριακό αποτέλεσμα και απεικονιστική εξέταση, η κλινική ροή απαιτεί την ταυτόχρονη και συντονισμένη χρήση των HL7, FHIR και DICOM, η οποία παραμένει αδοκίμαστη. Η δοκιμή διαλειτουργικότητας χρειάζεται επομένως να διενεργείται εμπεριστατωμένα σε επίπεδο οργανισμού, ή συνόλου συνεργαζόμενων φορέων, κατά μήκος όλων των συμπληρωματικών εφαρμογών που συμμετέχουν στην κλινική ροή, και όχι μεμονωμένα σε κάθε σύστημα. Η έρευνα δεν έχει ακόμη προτείνει ώριμο μοντέλο διαλειτουργικότητας που να αντικατοπτρίζει αυτή την πολυπλοκότητα του πραγματικού οικοσυστήματος υγείας με τους πολλούς, ανεξάρτητα διαχειριζόμενους φορείς του.

### 6.3.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης

Πρώτη κατεύθυνση αποτελεί η ανάπτυξη πολυεπίπεδων πλαισίων δοκιμών που συνδυάζουν τον έλεγχο συμμόρφωσης (conformance testing), τη σημασιολογική επικύρωση (semantic validation) και την αξιολόγηση σε επίπεδο ροής εργασίας (workflow-level evaluation). Τέτοια αξιολόγηση οφείλει να καλύπτει και τα επιμέρους μέρη μιας ροής και τη ροή στο σύνολό της, αντιστοιχώντας στη δοκιμή ενοποίησης για τα μέρη και στη δοκιμή συστήματος για το όλο σύστημα. Έτσι η διαλειτουργικότητα αποτιμάται και τεχνικά και λειτουργικά.

Δεύτερη κατεύθυνση είναι η δημιουργία κοινών σημείων αναφοράς (benchmarks) με συνθετικά αλλά ρεαλιστικά σύνολα δεδομένων (datasets), πολλαπλές εκδόσεις προτύπων και σενάρια ανταλλαγής μεταξύ ανεξάρτητων φορέων υγείας. Αυτά αποκτούν αξία μόνο με κατάλληλες μετρικές αξιολόγησης, που επιτρέπουν τεκμηριωμένες αποτιμήσεις και αντικειμενικές συγκρίσεις, για παράδειγμα μεταξύ εναλλακτικών τεχνικών δοκιμής. Χωρίς κοινό μετρικό υπόβαθρο, τα ευρήματα μένουν μη συγκρίσιμα.

Τρίτη κατεύθυνση συνιστά η ενσωμάτωση συνεχούς παρακολούθησης της διαλειτουργικότητας σε περιβάλλοντα παραγωγής. Πέρα από το ποσοστό επιτυχημένων μεταδόσεων, οι σχετικές μετρικές πρέπει να αποτυπώνουν τη σημασιολογική ορθότητα, τη χρονική συνέπεια και τον κλινικό αντίκτυπο τυχόν ασυμβατοτήτων. Η μετάβαση από την απλή συμμόρφωση ως προς το πρότυπο στη διασφάλιση ουσιαστικής διαλειτουργικότητας προϋποθέτει ακριβώς αυτή τη διαρκή, λειτουργική παρακολούθηση, η οποία αναδεικνύει αποκλίσεις ερμηνείας που μένουν αόρατες στους στατικούς ελέγχους συμμόρφωσης.

## 6.4 Κενά στην Κανονιστική Συμμόρφωση και την Κλινική Επικύρωση

Η κανονιστική συμμόρφωση (regulatory compliance) και η κλινική επικύρωση (clinical validation) συγκροτούν δύο διαδοχικά επίπεδα της ίδιας αλυσίδας τεκμηρίωσης, και γι' αυτό εξετάζονται εδώ μαζί. Η πρώτη πιστοποιεί ότι μια ιατρική εφαρμογή αναπτύχθηκε και ελέγχθηκε σύμφωνα με τα ισχύοντα κανονιστικά και ρυθμιστικά πρότυπα. Τα πρότυπα αυτά διαφέρουν από τα τεχνικά πρότυπα διαλειτουργικότητας της Ενότητας 6.3: τα HL7, FHIR και DICOM προδιαγράφουν τη μορφή και τον τρόπο ανταλλαγής των δεδομένων, ενώ τα κανονιστικά πρότυπα, όπως το IEC 62304 και ο κανονισμός για τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα (Medical Device Regulation, MDR), ορίζουν τις διαδικασίες ανάπτυξης, ελέγχου, διαχείρισης κινδύνου και τεκμηρίωσης του λογισμικού. Η δεύτερη τεκμηριώνει ότι η εφαρμογή λειτουργεί με ασφάλεια στο πραγματικό κλινικό περιβάλλον. Μέσα στα ρυθμιστικά πλαίσια ιατροτεχνολογικού λογισμικού η κλινική επικύρωση δεν στέκεται ως αυτοτελής διαδικασία αλλά αποτελεί συστατικό μέρος της συμμόρφωσης, αφού το IEC 62304 και ο MDR απαιτούν κλινικά τεκμήρια ως προϋπόθεση πιστοποίησης. Σε αυτή τη θεσμική σχέση, και όχι σε αυθαίρετη συσχέτιση, στηρίζεται η ενιαία αντιμετώπιση των δύο διαστάσεων στην ανάλυση που ακολουθεί.

### 6.4.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών

Η συμμόρφωση συγκεντρώνει χαμηλή ερευνητική ένταση, όπως τεκμηριώνει η ποσοτική επισκόπηση του Κεφαλαίου 4: από τις 19 μελέτες του δείγματος, πέντε μόνο αγγίζουν την κανονιστική διάσταση, και οι περισσότερες την προσεγγίζουν έμμεσα, ως δυνατότητα των προτεινόμενων αρχιτεκτονικών και όχι ως κύριο αντικείμενο μελέτης. Η περιορισμένη αυτή κάλυψη δεν τεκμηριώνει αναποτελεσματική ερευνητική προσπάθεια: οι λίγες διαθέσιμες εργασίες, όπως δείχνει η ποιοτική εξέταση που ακολουθεί, παράγουν αξιοποιήσιμα αποτελέσματα, δεν επαρκούν όμως σε έκταση για να καλύψουν το πεδίο. Πρόκειται, επομένως, για ανεπαρκή αποτελεσματικότητα που οφείλεται σε περιορισμένη ενασχόληση, και όχι για αναποτελεσματικότητα των υπάρχουσών προσεγγίσεων. Η διάκριση έχει σημασία: η μικρή κάλυψη σημαίνει ότι τα κατάλληλα ερευνητικά αποτελέσματα δεν έχουν ακόμη παραχθεί σε επαρκή έκταση, και όχι ότι το πεδίο διερευνήθηκε διεξοδικά χωρίς εύρημα.

Πέρα από την έκταση, προβληματικός παραμένει και ο τρόπος πραγμάτευσης. Στη διεθνή βιβλιογραφία οι Ronchieri & Canaparo (2023) συνδέουν το πρότυπο ISO/IEC 25010 με πρακτικές ποιότητας σε συστήματα Ηλεκτρονικού Φακέλου Υγείας (Electronic Health Record, EHR). Οι Baltaxe et al. (2023) προτείνουν διαδικασίες αξιολόγησης με στοιχεία από τα

πρότυπα ISO 14971, ISO 13485 και IEC 62304. Οι Hrisafon et al. (2021) προσαρμόζουν τις διερευνητικές δοκιμές (exploratory testing) σε ρυθμιζόμενα περιβάλλοντα. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις, ωστόσο, αντιμετωπίζουν τη συμμόρφωση ως συμπληρωματική διάσταση και όχι ως ενσωματωμένο σχεδιαστικό άξονα που διαμορφώνει τη δομή των δοκιμών, την τεκμηρίωση, την ιχνηλασιμότητα και τη λήψη αποφάσεων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής. Λίγες μόνο εργασίες αποτυπώνουν πώς μεταφράζονται συγκεκριμένες κανονιστικές απαιτήσεις σε εκτελέσιμες δοκιμές, σε δείκτες αποδοχής (acceptance metrics) ή σε πακέτα τεκμηρίωσης έτοιμα για έλεγχο (audit-ready evidence packages<sup>36</sup>). Η παρατήρηση αυτή προέρχεται από την ποιοτική εξέταση της βιβλιογραφίας και συμπληρώνει το ποσοτικό εύρημα του Κεφαλαίου 4. Στο επίπεδο της κλινικής επικύρωσης εντοπίζεται κενό μεγαλύτερης έκτασης. Η πλειονότητα των μελετών αξιολογεί τα προτεινόμενα μεθοδολογικά πλαίσια δοκιμής και αξιολόγησης με τεχνικούς δείκτες, όπως ο χρόνος απόκρισης, ο αριθμός σφαλμάτων, η κάλυψη σεναρίων ή η διαθεσιμότητα, χωρίς να συνδέει τα αποτελέσματα με την πραγματική κλινική χρήση. Το εύρημα συμφωνεί με τη διαπίστωση του Κεφαλαίου 4 ότι η μεθοδολογική καινοτομία των δεκατεσσάρων συγκρίσιμων προσεγγίσεων παραμένει περιορισμένη, καθώς μόνο τρεις εισάγουν γνήσια νέα μέθοδο, ενώ οι υπόλοιπες έντεκα είτε εφαρμόζουν είτε προσαρμόζουν υπάρχουσες τεχνικές ή προτείνουν αρχιτεκτονικά πλαίσια χωρίς νέα μέθοδο δοκιμής. Ελεγχόμενη πειραματική επικύρωση τεκμηριώνεται σε μία μόνο περίπτωση. Σπάνια περιλαμβάνονται πιλοτικές εφαρμογές με κλινικό προσωπικό, αξιολόγηση της επίδρασης στη ροή εργασίας, μέτρηση λαθών χρήσης σε πραγματικές συνθήκες ή μακροχρόνια παρακολούθηση (longitudinal monitoring) μετά τη διάθεση του συστήματος.

Η μελέτη περίπτωσης του Κεφαλαίου 5 φωτίζει τα όρια αυτά. Το ερευνητικό κενό δεν το συνιστά η ίδια η μελέτη, αλλά η έλλειψη ανάλογων μελετών κλινικής επικύρωσης στη βιβλιογραφία. Το πρωτότυπο ελάχιστης βιωσιμότητας (Minimum Viable Product, MVP) δείχνει πώς βασικές τεχνικές ελέγχου εφαρμόζονται σε μια εφαρμογή ιστού για ραντεβού. Δεν περιλαμβάνει όμως τυπική κλινική πιλοτική δοκιμή, δομημένη αξιολόγηση κινδύνου ή πλήρη ιχνηλασιμότητα μεταξύ απαιτήσεων, δοκιμών και κλινικών σεναρίων. Η απουσία αυτή αντανακλά τη φάση ανάπτυξης και το διαθέσιμο εύρος πόρων του πρωτοτύπου, καθώς και το γεγονός ότι η λειτουργικότητα της εφαρμογής — η διαχείριση ραντεβού — δεν άπτεται άμεσα

---

<sup>36</sup> Οργανωμένες συλλογές τεκμηρίων - απαιτήσεων, σχεδίων και αποτελεσμάτων δοκιμών, αναλύσεων κινδύνου και πινάκων ιχνηλασιμότητας, δομημένες έτσι ώστε ένας εξωτερικός ελεγκτής ή ρυθμιστική αρχή να μπορεί να επαληθεύσει τη συμμόρφωση χωρίς πρόσθετη προετοιμασία από τον κατασκευαστή.

κλινικής απόφασης που να απαιτεί επικύρωση. Ως προς αυτό, η μελέτη περίπτωσης δεν αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα κλινικού συστήματος αλλά απεικονίζει όμως με συγκεκριμένο τρόπο το χάσμα μεταξύ τεχνικής επαλήθευσης και κλινικής εμπιστοσύνης που η βιβλιογραφία αφήνει ανοιχτό.

#### 6.4.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης

Πρώτη κατεύθυνση αποτελεί η ανάπτυξη ενοποιημένων πλαισίων συνεχούς συμμόρφωσης (continuous compliance). Εκεί ο σχεδιασμός των δοκιμών, τα τεχνικά τεκμήρια (artifacts) τεκμηρίωσης, η ανάλυση κινδύνου και τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων συνδέονται μέσω μηχανισμών ιχνηλασιμότητας. Πέντε μόνο από τις 19 μελέτες του Κεφαλαίου 4 αγγίζουν τη συμμόρφωση, οπότε η κατεύθυνση αυτή στοχεύει πρωτίστως στην κάλυψη μιας υποεκπροσωπούμενης περιοχής και όχι στη βελτίωση μιας ήδη ώριμης πρακτικής.

Δεύτερη κατεύθυνση συνιστά η κατασκευή πρότυπων μοντέλων χαρτογράφησης. Αυτά αντιστοιχίζουν τις απαιτήσεις των IEC 62304, ISO 14971, του Γενικού Κανονισμού για την Προστασία Δεδομένων (General Data Protection Regulation, GDPR) και συναφών πλαισίων σε συγκεκριμένους τύπους δοκιμών και κριτήρια αποδοχής. Τέτοια μοντέλα θα μετέτρεπαν αφηρημένες κανονιστικές υποχρεώσεις σε εκτελέσιμα τεχνικά τεκμήρια, αμβλύνοντας το κενό μετάφρασης που εντοπίστηκε στην ποιοτική εξέταση της βιβλιογραφίας.

Τρίτη κατεύθυνση αφορά την υιοθέτηση μεικτών μεθοδολογιών αξιολόγησης που συνδυάζουν τεχνικούς και κλινικούς δείκτες, όπως η ασφάλεια χρήσης, η επίδραση στη λήψη αποφάσεων και η αποδοχή από τους επαγγελματίες υγείας. Η ανάγκη αυτή προκύπτει άμεσα από το εύρημα του Κεφαλαίου 4 για τη χαμηλή μεθοδολογική καινοτομία και τη μία και μοναδική περίπτωση ελεγχόμενης πειραματικής επικύρωσης, που αφήνουν την κλινική διάσταση ουσιαστικά αδοκίμαστη.

Τέταρτη κατεύθυνση θέτει η μετατόπιση από τους εφάπαξ προ-παραγωγικούς ελέγχους προς μελέτες συνεχούς παρακολούθησης μετά τη διάθεση (post-deployment), ώστε η συμμόρφωση και η κλινική αξιοπιστία να αντιμετωπίζονται ως ιδιότητες που διατηρούνται διαχρονικά. Η παρακολούθηση αυτή προϋποθέτει μηχανισμούς συνεχούς ορατότητας της συμπεριφοράς του συστήματος στο πεδίο, οι οποίοι τροφοδοτούν εκ νέου τόσο τις δοκιμές όσο και την κλινική αξιολόγηση.

## 6.5 Κενά στην Αξιολόγηση Χρηστικότητας

### 6.5.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών

Λίγες ιδιότητες ποιότητας μελετώνται τόσο συχνά όσο η χρηστικότητα (usability). Οκτώ από τις δεκαεννέα μελέτες του Κεφαλαίου 4 την εξετάζουν, περισσότερες από την αξιοπιστία (έξι), ενώ μόνο η ασφάλεια εμφανίζεται συχνότερα, σε εννέα. Η συχνότητα αυτή αντικατοπτρίζει την κρισιμότητά της. Μια δυσνόητη ή κουραστική διεπαφή, σε μια ιατρική εφαρμογή ιστού, μεταφράζεται άμεσα σε σφάλματα χρήσης κατά την καταχώριση δεδομένων ασθενούς ή κατά τη λήψη κλινικών αποφάσεων. Η χρηστικότητα λειτουργεί, δηλαδή, ως μηχανισμός μείωσης του κλινικού κινδύνου και όχι ως απλή ευκολία.

Η συχνότητα μελέτης, όμως, δεν συνοδεύεται από ανάλογο μεθοδολογικό βάθος. Στη συγκριτική αξιολόγηση του Κεφαλαίου 4, μόνο τρεις από τις δεκατέσσερις προσεγγίσεις εισάγουν γνήσια νέα μέθοδο, ενώ πέραν μίας καμία δεν παρέχει ελεγχόμενη πειραματική επικύρωση των αποτελεσμάτων της. Στο πεδίο της χρηστικότητας η εικόνα αυτή επιβεβαιώνεται και ποιοτικά. Η δευτερογενής ανασκόπηση των Maramba κ.ά. (2019) χαρτογραφεί ένα ευρύ φάσμα μεθόδων ελέγχου χρηστικότητας (usability testing) σε εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας (eHealth). Η πρόταση νέας μεθόδου δεν αποτελεί σκοπό μιας ανασκόπησης, η σύνθεσή της όμως δείχνει ότι η βιβλιογραφία που καλύπτει στηρίζεται σε καθιερωμένες, κατά κανόνα χειροκίνητες πρακτικές, όπως τα ερωτηματολόγια και η φωναχτή σκέψη, χωρίς να προτείνει νέες μεθόδους ελέγχου χρηστικότητας, παρατήρηση που αναδεικνύει το ίδιο κενό. Παράλληλα, οι Alwashmi κ.ά. (2019) τεκμηριώνουν την αξία των επαναληπτικών κύκλων στην αξιολόγηση της χρηστικότητας εφαρμογών κινητής υγείας, ενώ οι Jake-Schoffman κ.ά. (2017) περιγράφουν δομημένο πλαίσιο αποτίμησης που καλύπτει τη χρηστικότητα μαζί με το περιεχόμενο και την αποτελεσματικότητα (efficacy) των εφαρμογών. Πρόκειται για συνεισφορές τύπου δευτερογενούς ανασκόπησης ή εννοιολογικής πρότασης, κατηγορίες που στο συνολικό δείγμα καλύπτουν πέντε και τέσσερις μελέτες αντίστοιχα, έναντι δέκα πρωτογενών. Με άλλα λόγια, ακόμη και η συχνά μελετημένη χρηστικότητα στηρίζεται σε εργασίες που ανακυκλώνουν ή αναλύουν γνωστές πρακτικές, αντί να δοκιμάζουν και να επικυρώνουν πειραματικά νέες προσεγγίσεις αποτίμησης (χρηστικότητας).

Πέρα από όσα δείχνει η ποσοτική ανάλυση, η εξωτερική βιβλιογραφία αποκαλύπτει επαναλαμβανόμενες αδυναμίες στον σχεδιασμό των αξιολογήσεων. Συχνά χρησιμοποιούνται μικρά και μη αντιπροσωπευτικά δείγματα τελικών χρηστών. Σπάνια συμμετέχουν επαγγελματίες υγείας στην αξιολόγηση της χρηστικότητας, ενώ απουσιάζουν ασθενείς με

διαφορετικά επίπεδα ψηφιακού γραμματισμού. Παρατηρείται, επιπλέον, προσήλωση σε σύντομες συνεδρίες εργαστηριακού τύπου αντί για παρατήρηση σε πραγματικά περιβάλλοντα χρήσης, με τη χρησιμότητα να προσεγγίζεται ως ιδιότητα που αποτιμάται σε μία μεμονωμένη φάση. Η διατήρηση και η βελτίωσή της, ωστόσο, μπορεί κάλλιστα να θεωρηθεί οριζόντιο ζήτημα (cross-cutting concern) που διατρέχει όλες τις φάσεις ανάπτυξης, και άρα οφείλει να λαμβάνεται υπόψη σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής της εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένων της επικύρωσης και της αξιολόγησής της.

Οξύνουν το κενό οι ειδικές συνθήκες λειτουργίας των ιατρικών διαδικτυακών εφαρμογών: χρονική πίεση, αυξημένο γνωστικό φορτίο, διακοπές στη ροή εργασίας, ανάγκη πρόσβασης από διαφορετικές συσκευές. Το ίδιο σύστημα ενσωματώνεται σε διαφορετικές κλινικές ροές, οπότε ένα ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών μετρημένο σε εργαστήριο δεν προδικάζει τη συμπεριφορά του χρήστη όταν μια διακοπή τον αναγκάζει να επαναλάβει μια ακολουθία ενεργειών υπό πίεση. Έτσι, η αποτίμηση οφείλει να γίνεται μέσα στο πραγματικό πλαίσιο εργασίας του επαγγελματία υγείας.

### 6.5.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης

Πρώτη κατεύθυνση αφορά τον σχεδιασμό πρωτοκόλλων αξιολόγησης χρησιμότητας (usability evaluation) που υπερβαίνουν τα τυποποιημένα ερωτηματολόγια. Πέρα από τη βαθμολογία της κλίμακας ευχρηστίας συστήματος (System Usability Scale, SUS) και τη μέθοδο της φωναχτής σκέψης (think-aloud), τα πρωτόκολλα οφείλουν να ενσωματώνουν μετρήσεις κόπωσης, εμπιστοσύνης, ευκολίας εκμάθησης (learnability) και ικανότητας ανάκαμψης από σφάλματα (error recovery). Σκοπός είναι η αποτίμηση να αντανακλά τη χρήση υπό πραγματικές κλινικές συνθήκες, εκεί όπου ο χρόνος πιέζει και τα λάθη κοστίζουν, και όχι την ελεγχόμενη ηρεμία ενός εργαστηρίου. Χωρίς τέτοιες μετρήσεις, μια διεπαφή που βαθμολογείται υψηλά μπορεί να αποτυγχάνει συστηματικά μόλις εισαχθεί στην καθημερινή κλινική πρακτική. Η κόπωση του προσωπικού, η εμπιστοσύνη του στο σύστημα και η ικανότητά του να διορθώνει γρήγορα ένα λάθος καθορίζουν αν η εφαρμογή υποστηρίζει ή υπονομεύει την κλινική απόφαση, και ακριβώς αυτές οι διαστάσεις διαφεύγουν από τα συνήθη ερωτηματολόγια.

Δεύτερη κατεύθυνση μετατοπίζει την αξιολόγηση από το εργαστήριο προς πραγματικά περιβάλλοντα και αντιπροσωπευτικά δείγματα χρηστών. Απαιτούνται μελέτες με ενεργή συμμετοχή επαγγελματιών υγείας και ασθενών διαφορετικού ψηφιακού γραμματισμού, που μετρούν τη χρησιμότητα μέσα στις κλινικές ροές εργασίας και καταγράφουν σφάλματα

χρήσης υπό χρονική πίεση και διακοπές, αντί για σύντομες εργαστηριακές συνεδρίες αποκομμένες από το πλαίσιο εργασίας.

Τρίτη κατεύθυνση ενσωματώνει την προσβασιμότητα και τον συμπεριληπτικό σχεδιασμό (inclusive design) στην αξιολόγηση, με έμφαση σε ηλικιωμένους ασθενείς και σε χρήστες με γνωστικές ή αισθητηριακές δυσκολίες. Ελέγχεται, δηλαδή, αν η διεπαφή παραμένει χρησιμοποιήσιμη από πληθυσμούς που τυπικά υπο-εκπροσωπούνται στα δείγματα. Για αυτούς ακριβώς η αστοχία χρηστικότητας φέρνει τον υψηλότερο κλινικό κίνδυνο.

Μια τελευταία κατεύθυνση αντιμετωπίζει τη χρηστικότητα ως οριζόντια ιδιότητα που παρακολουθείται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής. Αντί για μια εφάπαξ φάση ελέγχου, η έρευνα οφείλει να ορίσει μηχανισμούς συνεχούς αποτίμησης από την πρώιμη σχεδίαση έως την παραγωγική λειτουργία, ώστε τα ευρήματα να τροφοδοτούν τη βελτίωση του συστήματος καθώς αυτό εξελίσσεται. Έτσι θεμελιώνεται αυστηρότερα η χρηστικότητα ως μηχανισμός μείωσης του κλινικού κινδύνου και ενίσχυσης της ασφαλούς αλληλεπίδρασης ανθρώπου και συστήματος, καλύπτοντας ταυτόχρονα την έλλειψη ελεγχόμενης πειραματικής επικύρωσης που ανέδειξε η ανάλυση του Κεφαλαίου 4.

## 6.6 Κενά στην Ασφάλεια και Προστασία της Ιδιωτικότητας

Στις ιατρικές εφαρμογές ιστού η προστασία δεν σταματά στη διαφύλαξη των δεδομένων. Φτάνει ως την προστασία των ίδιων των ασθενών. Μια αστοχία ασφάλειας μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην υγεία, στιγματισμό ή απώλεια εμπιστοσύνης προς το σύστημα φροντίδας, και ακριβώς αυτή η διεύρυνση του διακυβεύματος ορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο αναλύονται παρακάτω τα ερευνητικά κενά και διατυπώνονται οι κατευθύνσεις αντιμετώπισής τους.

### 6.6.1 Ανάλυση Ερευνητικών Κενών

Η ασφάλεια βρίσκεται ανάμεσα στις συχνότερα μελετημένες ποιοτικές ιδιότητες της βιβλιογραφίας που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4. Εμφανίζεται σε εννέα από τις δεκαεννέα εργασίες, συχνότερα από κάθε άλλη ιδιότητα, με τη χρηστικότητα (usability) να ακολουθεί με οκτώ εμφανίσεις και την αξιοπιστία (reliability) με έξι. Η συχνότητα όμως δεν σημαίνει επαρκή κάλυψη. Από την κατανομή των μελετών φαίνεται ότι η εστίαση μένει σε σχετικά στενά τεχνικά πεδία, όπως η ασφάλεια μεταφοράς (transport security) και οι έλεγχοι διείσδυσης (penetration testing). Η εξωτερική βιβλιογραφία δίνει την ίδια εικόνα: οι Muthing κ.ά. (2017) και οι Knorr και Aspinall (2015) αποτυπώνουν ευπάθειες εφαρμογών κινητής υγείας (mHealth) ως προς τη μεταφορά δεδομένων, τα πιστοποιητικά, την αυθεντικοποίηση

και τη δικτυακή επικοινωνία, ενώ οι Iwaya κ.ά. (2020) χαρτογραφούν απειλές ιδιωτικότητας σε συστήματα συλλογής δεδομένων υγείας. Η συμπεριφορά της ίδιας της εφαρμογής ελέγχεται πολύ σπανιότερα: η επικύρωση των εισόδων εξετάζεται μόνο περιστασιακά — οι Knorr και Aspinall (2015) εντοπίζουν ανεπαρκή επικύρωση εισόδων στις εφαρμογές που δοκίμασαν — και σχεδόν ποτέ συστηματικά. Έτσι, μια ολόκληρη οικογένεια κινδύνων μένει εκτός οπτικού πεδίου: οι κίνδυνοι που εδράζονται στη λογική της εφαρμογής και στη διαχείριση των δεδομένων της, όπως τα σφάλματα εξουσιοδότησης, η ελλιπής επικύρωση εισόδων, οι αδυναμίες στη διαχείριση της συγκατάθεσης και οι δυνατότητες επανα-ταυτοποίησης. Η κάλυψη μοιάζει ευρεία στα στατιστικά, παραμένει όμως ρηχή στην ουσία.

Ένα δεύτερο, βαθύτερο κενό τεκμηριώνεται από την ανάλυση του Κεφαλαίου 4. Μία μόνο από τις δεκατέσσερις συγκρίσιμες προσεγγίσεις παρουσιάζει πλήρως αυτοματοποιημένο πλαίσιο δοκιμών, εννέα παραμένουν μερικώς αυτοματοποιημένες και τέσσερις αμιγώς χειροκίνητες, ενώ καμία, πέραν μίας, δεν προχωρά σε ελεγχόμενη πειραματική επικύρωση. Προσθέτοντας σε αυτά την περιορισμένη μεθοδολογική καινοτομία, αφού μόνο τρεις από αυτές εισάγουν γνήσια νέα μέθοδο, σχηματίζεται η εικόνα ελέγχων ασφάλειας που τεκμηριώνονται κυρίως ως μεμονωμένες, μη επαναλήψιμες παρεμβάσεις και όχι ως ενοποιημένα, αυτοματοποιημένα σύνολα δοκιμών για πραγματικές εφαρμογές υγείας.

Η καταλληλότητα και η αποτελεσματικότητα των μηχανισμών ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικότητας που ενσωματώνονται σε μια εφαρμογή σπάνια εξετάζονται συστηματικά. Οι μελέτες ελέγχουν ελάχιστα αν ο έλεγχος πρόσβασης βάσει ρόλων (role-based access control), τα αρχεία καταγραφής ελέγχου (audit trails) και η διαχείριση της συγκατάθεσης επιτελούν πράγματι τον σκοπό τους. Η διαχείριση της συγκατάθεσης, άλλωστε, δεν επαρκεί από μόνη της για την προστασία της ιδιωτικότητας καθώς χρειάζονται και τεχνικοί μηχανισμοί, όπως η διαφορική ιδιωτικότητα (differential privacy), η ανωνυμοποίηση και η ψευδωνυμοποίηση, οι οποίοι σπανίως ενσωματώνονται ή δοκιμάζονται στις μελέτες του σώματος. Παρόμοια υστέρηση εμφανίζει και η ελαχιστοποίηση των δεδομένων (data minimization), η αρχή σύμφωνα με την οποία διατηρούνται τα ελάχιστα προσωπικά δεδομένα και αντλούνται προς επεξεργασία μόνο όσα είναι απαραίτητα για τους συγκεκριμένους σκοπούς της. Η αρχή αυτή δεν αποτελεί αυτοτελή μηχανισμό αλλά καθορίζει πώς διαμορφώνονται και παραμετροποιούνται οι μηχανισμοί ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικότητας — ποια δεδομένα συλλέγονται, για πόσο διατηρούνται και ποια εκτίθενται σε κάθε επεξεργασία — οπότε ο έλεγχός της απαιτεί δοκιμές στη διαμόρφωση των μηχανισμών και όχι μόνο στον κώδικα. Σενάρια εξεζητημένων επιθέσεων που εκμεταλλεύονται πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις

μεταξύ της διεπαφής χρήστη (front-end), των διεπαφών προγραμματισμού (API), του backend και της υποκείμενης υποδομής τεκμηριώνονται, τέλος, ελάχιστα.

Η φύση του διακυβεύματος επιτείνει την κρισιμότητα του κενού. Εδώ η ασφάλεια δεν συνδέεται μόνο με την εμπιστευτικότητα. Συνδέεται εξίσου με τη διαθεσιμότητα, την ακεραιότητα, τη λογοδοσία και τη συμμόρφωση προς τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR). Καθεμία από αυτές τις διαστάσεις μπορεί να αποτύχει ανεξάρτητα, με διαφορετικές συνέπειες για τον ασθενή. Ενδεικτική παραμένει η μελέτη περίπτωσης του Κεφαλαίου 5. Το πρωτότυπο ελάχιστης λειτουργικότητας (MVP) αξιοποιεί τον κατακερματισμό (hashing) κωδικών και τις παραμετροποιημένες ερωτήσεις (parameterized queries), όμως δεν υποστηρίζεται ακόμη από συστηματικό δυναμικό έλεγχο ασφάλειας (DAST), δοκιμές για επιθέσεις διασταυρούμενης δέσμης ενεργειών (XSS) και πλαστογράφησης αιτήματος μεταξύ ιστοτόπων (Cross-Site Request Forgery, CSRF), έλεγχο συνθηκών ανταγωνισμού (race conditions) ή τυπικές δοκιμές ιδιωτικότητας (formal privacy testing). Το κενό προκύπτει από την ανάλυση του Κεφαλαίου 4 και επιβεβαιώνεται εμπειρικά από την ίδια την υλοποίηση της μελέτης περίπτωσης και των δοκιμών της.

## 6.6.2 Ερευνητικές Κατευθύνσεις Αντιμετώπισης

Μια πρώτη κατεύθυνση αφορά την ενσωμάτωση πολυεπίπεδου ελέγχου ασφάλειας μέσα σε ολοκληρωμένες προσεγγίσεις DevSecOps προσαρμοσμένες στον χώρο της υγείας. Καθοδηγούμενος από τον κίνδυνο (risk-driven), ο έλεγχος αυτός συνδυάζει στατικό έλεγχο (SAST), δυναμικό έλεγχο (DAST), ανάλυση σύνθεσης λογισμικού (software composition analysis) και αυτοματοποιημένους ελέγχους παλινδρόμησης ιδιωτικότητας (privacy regression checks) εντός των αγωγών συνεχούς ολοκλήρωσης και παράδοσης. Η αρχή της προστασίας της ιδιωτικότητας εκ σχεδιασμού (privacy-by-design) ανήκει στη φάση της σχεδίασης και οι έλεγχοι παλινδρόμησης που εκτελούνται στους αγωγούς επαληθεύουν ότι οι σχεδιαστικές αυτές δεσμεύσεις εξακολουθούν να τηρούνται σε κάθε νέα έκδοση του λογισμικού.

Δεύτερη κατεύθυνση συνιστούν οι δοκιμές ασφάλειας των διεπαφών προγραμματισμού (API), οι οποίες καλύπτουν τον έλεγχο της αυθεντικοποίησης και της εξουσιοδότησης ανά τελικό σημείο, τον εντοπισμό σφαλμάτων εξουσιοδότησης σε επίπεδο αντικειμένου (broken object level authorization), την επικύρωση των εισόδων, τον έλεγχο υπερβολικής έκθεσης δεδομένων στις αποκρίσεις, την επιβολή ορίων ρυθμού κλήσεων (rate limiting) έναντι κατάχρησης και την επαλήθευση ότι τα σφάλματα δεν διαρρέουν ευαίσθητες πληροφορίες.

Τρίτη κατεύθυνση είναι η ανάπτυξη εξειδικευμένων συνόλων δοκιμών (test suites) για τη διαχείριση της συγκατάθεσης, την ελαχιστοποίηση των δεδομένων, τους κινδύνους επανα-

ταυτοποίησης (re-identification risks) και την ανθεκτικότητα απέναντι σε σύνθετα σενάρια επιθέσεων. Έτσι, απαιτήσεις ιδιωτικότητας που σήμερα μένουν θεωρητικές γίνονται επαναλήψιμοι, αυτοματοποιήσιμοι έλεγχοι.

Η τέταρτη κατεύθυνση στρέφεται στην επιχειρησιακή και οικονομική διάσταση της ασφάλειας. Πέρα από την τεχνική ετοιμότητα απόκρισης σε περιστατικά και την αποκατάσταση μετά από αστοχία, η έρευνα χρειάζεται να ποσοτικοποιεί το κόστος, καθώς ένας οργανισμός επενδύει σε μηχανισμούς ασφάλειας στον βαθμό που το αναμενόμενο κόστος επιδιόρθωσης και αντιμετώπισης των περιστατικών υπερβαίνει το κόστος της προληπτικής επένδυσης. Η ποσοτικοποίηση αυτή προϋποθέτει την εφαρμογή μεθοδολογίας διαχείρισης ρίσκου (risk management), η οποία αποτιμά την πιθανότητα και τον αντίκτυπο κάθε απειλής και κατευθύνει την επένδυση εκεί όπου ο αναμενόμενος κίνδυνος τη δικαιολογεί. Χωρίς τέτοια αποτίμηση, η απόφαση για επένδυση παραμένει διαισθητική. Η μοντελοποίηση αυτής της σχέσης συνδέεται εξάλλου με τη γενικότερη υπο-εκπροσώπηση της απόδοσης (τέσσερις μελέτες) και της συμμόρφωσης (τρεις μελέτες) που καταγράφηκε στο Κεφάλαιο 4, αφού και οι δύο αυτές διαστάσεις αφορούν ποσοτικές, μετρήσιμες ιδιότητες του συστήματος.

Πέμπτη κατεύθυνση συνιστά η συστηματική μελέτη των αντισταθμίσεων (trade-offs) ανάμεσα στην ασφάλεια και στις υπόλοιπες ποιοτικές ιδιότητες. Οι αυστηρότεροι μηχανισμοί επηρεάζουν τη χρησιμότητα, την απόδοση και την κλιμακωσιμότητα, οπότε η αξιολόγηση οφείλει να αντιμετωπίζει ρητά αυτή την αντιστάθμιση. Η ασφάλεια προσεγγίζεται έτσι ως ιδιότητα συστημικής ανθεκτικότητας και όχι ως απλός κατάλογος τεχνικών ελέγχων.

## 6.7 Συνολικές Ερευνητικές Προτάσεις

Τα κενά των Ενοτήτων 6.2 έως 6.6 συγκλίνουν. Από τις δεκατέσσερις πρωτογενείς μελέτες και προτάσεις που συγκρίθηκαν στο Κεφάλαιο 4, μία μόνο υιοθετεί πλήρως αυτοματοποιημένο έλεγχο, εννέα κινούνται στη μερική αυτοματοποίηση και τέσσερις στον χειροκίνητο έλεγχο. Η μεθοδολογική καινοτομία παραμένει επίσης χαμηλή, αφού οι περισσότερες από αυτές εφαρμόζουν υπάρχουσες τεχνικές αντί να προτείνουν νέες, και, πέραν μίας περίπτωσης, καμία δεν προχωρά σε ελεγχόμενη πειραματική επικύρωση. Από τα ίδια δεδομένα φαίνεται ότι ορισμένες ιδιότητες ποιότητας κυριαρχούν, καθώς η ασφάλεια εμφανίζεται σε εννέα μελέτες, η χρησιμότητα σε οκτώ και η αξιοπιστία σε έξι, ενώ άλλες υπο-εκπροσωπούνται: η κανονιστική συμμόρφωση αγγίζεται σε πέντε, η λειτουργική ορθότητα και η απόδοση σε τέσσερις η καθεμία, η διαλειτουργικότητα και η εμπειρία χρήστη (User Experience, UX) σε τρεις η καθεμία, και η ηθική διάσταση απουσιάζει εντελώς. Η εικόνα αυτή δείχνει ότι η μελλοντική έρευνα δεν χρειάζεται περισσότερες μεμονωμένες τεχνικές δοκιμής, αλλά

ολοκληρωμένα οικοσυστήματα αξιολόγησης που συνδέουν τον έλεγχο λογισμικού (software testing) με τη διασφάλιση ποιότητας λογισμικού (Software Quality Assurance, SQA). Η σύνδεση αυτή χρειάζεται επειδή τα ευρήματα που προηγήθηκαν δεν αντιμετωπίζονται στο επίπεδο της μεμονωμένης δοκιμής: η χαμηλή αυτοματοποίηση, η απουσία πειραματικής επικύρωσης και η υπο-εκπροσώπηση ιδιοτήτων, όπως η συμμόρφωση και η διαλειτουργικότητα, αφορούν ολόκληρη τη διαδικασία ανάπτυξης, επομένως απαιτούν δραστηριότητες διασφάλισης ποιότητας, όπως επιθεωρήσεις, ελέγχους διαδικασιών και συνεχή παρακολούθηση μετρικών, οι οποίες πλαισιώνουν τη δοκιμή και αξιοποιούν τα αποτελέσματά της σε όλο τον κύκλο ζωής. Οι προτάσεις που ακολουθούν στηρίζονται σε αυτή τη διάγνωση, η οποία συνοψίζει τον κατακερματισμό, τη χαμηλή καινοτομία και την περιορισμένη πειραματική τεκμηρίωση που κατέγραψαν οι προηγούμενες ενότητες.

Μια πρώτη πρόταση αφορά ενοποιημένα πλαίσια ποιότητας για τις ιατρικές εφαρμογές ιστού. Έλεγχος, διασφάλιση ποιότητας, κανονιστική συμμόρφωση, ασφάλεια, διαλειτουργικότητα και κλινική αξιολόγηση οφείλουν να αντιμετωπίζονται ως αλληλοεξαρτώμενες συνιστώσες, όχι ως ξεχωριστές δραστηριότητες. Πλήρη ιχνηλασιμότητα πρέπει να υποστηρίζουν τα πλαίσια αυτά, από την απαίτηση και την εκτίμηση κινδύνου έως τη δοκιμή, τον δείκτη μέτρησης (metric), το εύρημα του ελέγχου και την κλινική απόδειξη, ώστε η τεκμηρίωση προς τους οργανισμούς υγείας, τους προμηθευτές λογισμικού και τις ρυθμιστικές αρχές να γίνεται αξιόπιστα.

Η διασφάλιση ποιότητας ως αυτοτελής δραστηριότητα απαιτεί ξεχωριστή βαρύτητα. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 4 έδειξε ότι δέκα από τις δεκαεννέα μελέτες τοποθετούνται στον άξονα της διασφάλισης ποιότητας ή του συνδυασμού ελέγχου και διασφάλισης, οι δραστηριότητες όμως που διατρέχουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής σπάνια εξετάζονται εκεί σε βάθος. Μένουν έτσι ανεπαρκώς μελετημένες οι επιθεωρήσεις λογισμικού (software reviews), οι έλεγχοι διαδικασιών (process audits), η διαχείριση των μετρικών ποιότητας και η οριζόντια αντιμετώπιση<sup>37</sup> (cross-cutting concern) ιδιοτήτων, όπως η χρηστικότητα, σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης. Η αντίστοιχη ερευνητική κατεύθυνση αφορά τον ορισμό μοντέλων ωριμότητας διαδικασιών (process maturity models) και επαληθεύσιμων δεικτών ποιότητας που θα επιτρέπουν τη συστηματική παρακολούθηση της σχεδίασης, της τεκμηρίωσης και της

---

<sup>37</sup> Περιγράφεται μια απαίτηση ποιότητας που δεν περιορίζεται σε μία φάση ή σε ένα τμήμα του συστήματος, αλλά διατρέχει ολόκληρο τον κύκλο ζωής και πολλαπλά υποσυστήματα, όπως συμβαίνει με τη χρηστικότητα ή την ασφάλεια.

συντήρησης, ώστε η ποιότητα να μετριέται ως ιδιότητα της ίδιας της διαδικασίας ανάπτυξης και όχι μόνο ως αποτέλεσμα της τελικής δοκιμής. Το ζητούμενο είναι, δηλαδή, διπλό: μια ποιοτική διαδικασία ανάπτυξης, η οποία παράγει με ελεγχόμενο και επαναλήψιμο τρόπο ποιοτικά προϊόντα λογισμικού.

Δεύτερη πρόταση αφορά τις ανοικτές και αναπαραγωγίμες υποδομές έρευνας. Η βιβλιογραφία ωφελείται από κοινά σύνολα δοκιμών αναφοράς (benchmark suites) με συνθετικά αλλά ρεαλιστικά σύνολα δεδομένων (datasets), από πρότυπες αρχιτεκτονικές για συστήματα ηλεκτρονικού φακέλου υγείας (Electronic Health Record, EHR), τηλεϊατρικής και διαχείρισης ραντεβού, καθώς και από τυποποιημένα σενάρια διαλειτουργικότητας, ασφάλειας, χρηστικότητας και αντοχής σε σφάλματα (fault tolerance). Η αξία τέτοιων υποδομών δεν εξαντλείται στη συγκρισιμότητα μεταξύ ερευνητικών προσεγγίσεων, η οποία σήμερα απουσιάζει. Εξίσου κρίσιμος είναι ο καθορισμός κοινών μετρικών αξιολόγησης πάνω στις οποίες θα στηρίζεται η σύγκριση, ώστε ένας ερευνητής ή μηχανικός να μπορεί να αντιπαραβάλλει εναλλακτικές τεχνικές δοκιμής και να επιλέγει την καταλληλότερη για ένα δεδομένο σενάριο. Χωρίς συμφωνημένες μετρικές, οι μετρήσεις παραμένουν τοπικές και μη μεταφέρσιμες.

Η ανάγκη για κοινά σημεία αναφοράς ενισχύεται από τα όρια που εκδηλώνει ένα περιορισμένο σύστημα. Το πρωτότυπο ελάχιστα βιώσιμου προϊόντος (Minimum Viable Product, MVP) του Κεφαλαίου 5 επιβεβαίωσε τη χρησιμότητα της αυτοματοποίησης μέσω βασικών δοκιμών διεπαφής και απόδοσης. Ακριβώς επειδή καλύπτει στενό φάσμα λειτουργιών, όμως, δεν μπορεί να αναδείξει το εκάστοτε πρόβλημα στον κατάλληλο βαθμό: η απουσία δυναμικού ελέγχου ασφάλειας (Dynamic Application Security Testing, DAST), τυπικής αξιολόγησης χρηστικότητας και κλινικής επικύρωσης δεν οφείλεται μόνο στις επιλογές της υλοποίησης, αλλά και στο ότι ένα σύστημα τέτοιας έκτασης δεν θέτει σε δοκιμασία τους σχετικούς μηχανισμούς. Απαιτούνται, για τον λόγο αυτό, σύνολα αναφοράς που θα ενσωματώνουν πρότυπες αρχιτεκτονικές και κατάλληλα σενάρια, ικανά να εκθέσουν προβλήματα ασφάλειας, διαλειτουργικότητας και ανθεκτικότητας σε αντιπροσωπευτική κλίμακα, ώστε η αξιολόγηση μιας τεχνικής να μην εξαρτάται από τα όρια ενός μεμονωμένου πρωτοτύπου.

Τρίτη πρόταση αφορά τη μετατόπιση από τους τεχνικούς δείκτες προς μεικτά μοντέλα αξιολόγησης που συνδυάζουν την τεχνική, την ανθρώπινη και την κλινική διάσταση. Συνδέεται έτσι η χρηστικότητα με την ασφάλεια χρήσης, η διαλειτουργικότητα με τη συνέχεια της φροντίδας και η ασφάλεια των πληροφοριών με την οργανωσιακή λογοδοσία και την εμπιστοσύνη των χρηστών. Η αξιολόγηση σε πραγματικές συνθήκες παραμένει καθοριστική,

με κλινικό και διοικητικό προσωπικό αλλά και ασθενείς, και η διενέργεια μακροχρόνιων μετρήσεων μετά την εισαγωγή ενός συστήματος στην πράξη. Γεφυρώνεται έτσι το χάσμα ανάμεσα στην εργαστηριακή επιτυχία ενός πλαισίου δοκιμών και στη βιώσιμη χρήση του στην παροχή φροντίδας.

Η τέταρτη πρόταση στρέφεται στην οικονομική και οργανωσιακή διάσταση της υιοθέτησης. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 4 έδειξε ότι η διαθέσιμη έρευνα προϋποθέτει συνήθως υψηλή οργανωσιακή ωριμότητα και σημαντική αρχική επένδυση, χωρίς να απαντά στο πραγματικό επιχειρησιακό κόστος. Χρειάζονται, επομένως, οικονομικές αποτιμήσεις που θα συσχετίζουν το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης κάθε σχετικού μηχανισμού, είτε πρόκειται για μηχανισμό ασφάλειας είτε για υποδομή αυτοματοποίησης των δοκιμών, με το κόστος των περιστατικών και των αστοχιών που αυτός αποτρέπει. Ειδικά η αυτοματοποίηση συνεπάγεται δικό της κόστος για εργαλεία, υποδομή, εκπαίδευση και συντήρηση των σεναρίων δοκιμής, το οποίο πρέπει να συνυπολογίζεται στην αποτίμηση. Ένας οργανισμός επενδύει σε ασφάλεια ή σε αυτοματοποίηση μόνο όταν το κόστος αντιμετώπισης των αστοχιών υπερβαίνει το κόστος της επένδυσης. Η έρευνα οφείλει, λοιπόν, να απαντά όχι μόνο στο τι λειτουργεί, αλλά και σε ποιο πραγματικό κόστος κύκλου ζωής το επιτυγχάνει.

Η συγκρότηση των παραπάνω προτάσεων σε ώριμη ερευνητική ατζέντα προϋποθέτει αποσαφήνιση του τι νοείται ως λύση. Διακρίνονται δύο συμπληρωματικά επίπεδα. Στο πρώτο ανήκουν λύσεις για τη δοκιμή, την αξιολόγηση και τη διασφάλιση ποιότητας: πλαίσια, εργαλεία και μετρικές που ελέγχουν την ποιότητα μιας εφαρμογής, αλλά και διαδικασίες που τη διασφαλίζουν σε όλο τον κύκλο ζωής, όπως πλάνα ποιότητας, επιθεωρήσεις, έλεγχοι διαδικασιών (audits) και μοντέλα ωριμότητας με μετρήσιμους δείκτες. Στο δεύτερο εντάσσονται ρεαλιστικές εφαρμογές αναφοράς που προσομοιώνουν ή είναι λειτουργικά ισοδύναμες με πραγματικές ιατρικές εφαρμογές και πάνω στις οποίες οι πρώτες μπορούν να υλοποιηθούν, να συγκριθούν και να βελτιωθούν. Η ανυπαρξία του δεύτερου επιπέδου εξηγεί γιατί ένα περιορισμένο πρωτότυπο δεν επαρκεί ως πεδίο δοκιμής. Αναδεικνύεται έτσι η ανάγκη συγκρότησης κοινών εφαρμογών αναφοράς ως υποδομής για το πεδίο, πάνω στην οποία διαφορετικές ομάδες θα αναπτύσσουν, θα δοκιμάζουν και θα αντιπαραβάλλουν τις προσεγγίσεις τους με όρους που παραμένουν σταθεροί από τη μία μελέτη στην άλλη.

Η υλοποίηση μιας τέτοιας ατζέντας απαιτεί διεπιστημονικές συνεργασίες ανάμεσα σε μηχανικούς λογισμικού, επαγγελματίες υγείας και ειδικούς κανονιστικής συμμόρφωσης, ώστε τα μελλοντικά πρωτόκολλα αξιολόγησης να αντανakλούν τις πραγματικές ανάγκες της κλινικής πρακτικής. Ο τεχνικός έλεγχος δεν αποτελεί αυτοσκοπό. Συνιστά μέσο για τη

διασφάλιση αξιόπιστης και ουσιαστικά χρήσιμης ψηφιακής υγείας, όπου η ποιότητα του λογισμικού συνδέεται άμεσα με την ασφάλεια και τη φροντίδα του ασθενούς.

## 7. Συμπεράσματα

### 7.1 Συνεισφορά της Εργασίας

Η ερευνητική εικόνα του πεδίου του ελέγχου λογισμικού (software testing) και της διασφάλισης ποιότητας λογισμικού (Software Quality Assurance, SQA) για τις ιατρικές εφαρμογές ιστού παραμένει κατακερματισμένη: οι διαθέσιμες μελέτες διασπείρονται σε διαφορετικούς τύπους εφαρμογών, ιδιότητες ποιότητας και μεθόδους, χωρίς κοινό πλαίσιο σύγκρισης, γεγονός που δυσχεραίνει τη συγκριτική θεώρηση των επιμέρους προσεγγίσεων. Ο κατακερματισμός αυτός αποτέλεσε το βασικό κίνητρο της εργασίας. Η πρώτη συνεισφορά της είναι, επομένως, η κριτική οργάνωση και η συγκριτική σύνθεση δεκαεννέα επιλεγμένων επιστημονικών μελετών (δεκατέσσερις πρωτογενείς μελέτες και προτάσεις, πέντε δευτερογενείς ανασκοπήσεις), ώστε η διάσπαρτη αυτή γνώση να αποκτήσει ενιαία και συγκρίσιμη δομή.

Πέρα από την περιγραφική παρουσίαση, η ανάλυση κατηγοριοποίησε τις προσεγγίσεις βάσει συγκεκριμένων διαστάσεων, ώστε ετερογενείς μελέτες να καταστούν συγκρίσιμες. Οι μελέτες ταξινομήθηκαν ως προς το είδος της μελέτης (πρωτογενής μελέτη, πρόταση ή δευτερογενής ανασκόπηση), το είδος της δραστηριότητας (έλεγχος, διασφάλιση ποιότητας ή συνδυασμός τους), τον τύπο της ιατρικής εφαρμογής και τις εξεταζόμενες ιδιότητες ποιότητας, ενώ ο βαθμός και η τεχνική αυτοματοποίησης εξετάστηκαν στην περιγραφική ανάλυση μόνο για τις πρωτογενείς μελέτες. Η κατηγοριοποίηση αυτή αποτέλεσε τη βάση για ένα συγκριτικό πλαίσιο επτά κριτηρίων (K1–K7), τα οποία καλύπτουν το εύρος των ιδιοτήτων ποιότητας, τον βαθμό αυτοματοποίησης, την ευκολία υιοθέτησης, την αποδοτικότητα κόστους, τη μεθοδολογική καινοτομία, την εμπειρική τεκμηρίωση και τη φιλικότητα προς το παραγωγικό περιβάλλον. Το πλαίσιο εφαρμόστηκε στις δεκατέσσερις πρωτογενείς μελέτες και προτάσεις, ενώ οι πέντε δευτερογενείς ανασκοπήσεις αξιοποιήθηκαν για τη σύνθεση της γνώσης που προσφέρουν, δηλαδή για το τι συνθέτουν και ποιες ιδιότητες ποιότητας και τύπους εφαρμογών καλύπτουν, και όχι για συγκριτική βαθμολόγηση.

Το πλαίσιο δεν εξαντλείται στην αποτίμηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Διασταυρώνοντας τα επτά κριτήρια, η Ενότητα 4.5.2 ανέδειξε ενδείξεις για τη σχέση ανάμεσα στον βαθμό αυτοματοποίησης, στην αποδοτικότητα κόστους και στην ευκολία υιοθέτησης, αλλά και τα κύρια κενά του πεδίου: η σημασιολογική διαλειτουργικότητα, η μετάφραση των κανονιστικών υποχρεώσεων σε εκτελέσιμες δοκιμές και η κλινική επικύρωση καλύπτονται ελάχιστα από τις υπάρχουσες προσεγγίσεις. Η σύνθεση των πέντε δευτερογενών μελετών

προσέφερε πρόσθετη γνώση: αυτές τεκμηριώνουν την απουσία τυποποιημένου πλαισίου δοκιμών για τις εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας, την κυριαρχία χειροκίνητων μεθόδων αξιολόγησης της χρηστικότητας, όπως τα ερωτηματολόγια, και τη χρησιμότητα των καθιερωμένων μοντέλων ποιότητας για τη σύνδεση των κρισιμότητων του ιατρικού λογισμικού με συγκεκριμένες ιδιότητες. Έτσι ένας οργανισμός ή μια εταιρεία ανάπτυξης λογισμικού υγείας αποκτά κριτήριο για να επιλέξει τις προσεγγίσεις που ταιριάζουν στη δική του κρισιμότητα λειτουργιών, στους διαθέσιμους πόρους και στο επίπεδο τεχνογνωσίας του.

Η δεύτερη συνεισφορά είναι το πρακτικό σκέλος, δηλαδή η ανάπτυξη του ελάχιστα βιώσιμου προϊόντος (Minimum Viable Product, MVP) για τη διαχείριση ιατρικών ραντεβού, που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5. Με την υλοποίηση, η συζήτηση μετακινήθηκε από το θεωρητικό επίπεδο σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον εφαρμογής. Οι αυτοματοποιημένες δοκιμές διεπαφής με το πλαίσιο Playwright και οι δοκιμές φόρτου ανέδειξαν στην πράξη τα οφέλη της αυτοματοποίησης. Παράλληλα, οι καταγεγραμμένες ελλείψεις σε δυναμικό έλεγχο ασφάλειας (Dynamic Application Security Testing, DAST) και σε κλινική επικύρωση επιβεβαίωσαν τα ίδια κενά που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία, λειτουργώντας ως συνδετικός κρίκος θεωρίας και πράξης.

Η τρίτη συνεισφορά είναι η συστηματική αποτύπωση των ερευνητικών κενών και η διατύπωση συγκεκριμένων προτάσεων για τη μελλοντική έρευνα στο Κεφάλαιο 6. Αντί για γενικόλογες διαπιστώσεις, οι ανάγκες του κλάδου εξειδικεύτηκαν σε διακριτούς άξονες: την αυτοματοποίηση, τη διαλειτουργικότητα, την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα, τη χρηστικότητα, την κλινική επικύρωση και τη (κανονιστική) συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα. Για καθέναν προτείνονται αντίστοιχες ερευνητικές κατευθύνσεις αντιμετώπισης.

## 7.2 Εμπειρία

Η εκπόνηση της εργασίας συνέβαλε στην προσωπική εξέλιξη σε θεωρητικό και σε πρακτικό επίπεδο. Από τεχνικής πλευράς, η άμεση τριβή με σύγχρονα περιβάλλοντα ανάπτυξης και αυτοματοποίησης δοκιμών, όπως το πλαίσιο Playwright, προσέφερε απτή κατανόηση των προκλήσεων που συνοδεύουν τη σχεδίαση και τον έλεγχο της αρχιτεκτονικής ιατρικών εφαρμογών ιστού.

Η πιστή τήρηση των βημάτων μιας Συστηματικής Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης (Systematic Literature Review, SLR) ενίσχυσε τις ερευνητικές δεξιότητες που αφορούν τη μεθοδολογική αναζήτηση, το φιλτράρισμα και τη σύνθεση διεπιστημονικών δεδομένων μεγάλου όγκου.

Το ουσιαστικότερο κέρδος, ωστόσο, ήταν κάτι διαφορετικό: η συνειδητοποίηση της ευθύνης που αναλογεί σε έναν μηχανικό λογισμικού μέσα στον συγκεκριμένο κλάδο. Μέσα στο

περιβάλλον της ψηφιακής υγείας, ο έλεγχος λογισμικού και η διασφάλιση ποιότητας ξεπερνούν τα όρια μιας τυπικής τεχνικής επαλήθευσης για την αποφυγή δυσλειτουργιών. Συνδέονται με την ασφάλεια των ασθενών και την εγκυρότητα των κλινικών αποφάσεων, αλλά και με την προστασία των προσωπικών δεδομένων υγείας και την τήρηση του ιατρικού απορρήτου. Πρόκειται, δηλαδή, για μια διάσταση εμπιστευτικότητας διακριτή από τη σωματική ασφάλεια του ασθενούς, ακόμη και όταν τη συμπληρώνει.

### 7.3 Βασικά Συμπεράσματα

Από τη σύνθεση της βιβλιογραφικής έρευνας και της πρακτικής υλοποίησης προκύπτει ότι η διασφάλιση ποιότητας στις ιατρικές εφαρμογές ιστού αποτελεί πεδίο υψηλής τεχνολογικής και κοινωνικής σημασίας, με σημαντικές όμως ανάγκες ωρίμανσης. Ως προς τις βέλτιστες πρακτικές, δύο κατευθύνσεις ξεχωρίζουν για τη θωράκιση της σταθερότητας: η αυτοματοποίηση των δοκιμών διεπαφής από άκρο σε άκρο (end-to-end) και η ενσωμάτωση του ελέγχου στα αρχικά στάδια του κύκλου ανάπτυξης κατά τη λογική Shift-Left. Η ίδια η συγκριτική ανάλυση της Ενότητας 4.5.2 στηρίζει το συμπέρασμα αυτό μόνο εν μέρει. Οι μερικώς αυτοματοποιημένες προσεγγίσεις επιτυγχάνουν ταχύτερη επανεκτέλεση των δοκιμών έναντι των αμιγώς χειροκίνητων, ωστόσο μόνο μία από τις δεκατέσσερις πρωτογενείς μελέτες και προτάσεις, η προσέγγιση των Hunt et al. (2014), χαρακτηρίζεται πλήρως αυτοματοποιημένη. Επομένως, η πλήρης αυτοματοποίηση παραμένει εξαιρετικά περιορισμένη και όχι καθιερωμένη στο εξεταζόμενο σώμα μελετών. Η αρχή Shift-Left<sup>38</sup>, εξάλλου, τεκμηριώνεται κυρίως στη γενικότερη βιβλιογραφία της τεχνολογίας λογισμικού αλλά δεν εφαρμόζεται σε γενικό βαθμό στις επιλεγμένες μελέτες.

Το κρίσιμότερο κενό αφορά τον κατακερματισμό της υφιστάμενης γνώσης και την απουσία ενοποιημένου πλαισίου ποιότητας που να καλύπτει συνολικά τις κρίσιμες ιδιότητες. Αυτό επιβεβαιώνεται από την ανάλυση του Κεφαλαίου 4, καθώς και από τις πέντε δευτερογενείς μελέτες του σώματος, οι οποίες καταγράφουν την απουσία τυποποιημένου πλαισίου δοκιμών στις εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας και την κυριαρχία χειροκίνητων μεθόδων αξιολόγησης της χρηστικότητας. Η πλειονότητα των μελετών καλύπτει μία έως τρεις ιδιότητες ποιότητας και καμία δεν καλύπτει το σύνολο των κρίσιμων ιδιοτήτων, ενώ η σημασιολογική διαλειτουργικότητα, η συμμόρφωση και η μετάφραση των ρυθμιστικών υποχρεώσεων σε

---

<sup>38</sup> Περιγράφεται η μετατόπιση των δραστηριοτήτων ελέγχου σε πρωιμότερα στάδια του κύκλου ανάπτυξης λογισμικού, ώστε τα σφάλματα να εντοπίζονται όσο το δυνατόν νωρίτερα, με μικρότερο κόστος διόρθωσης, αντί να αναβάλλονται για τις τελικές φάσεις πριν από την παράδοση.

εκτελέσιμες δοκιμές παραμένουν υπο-εκπροσωπούμενες. Υφίσταται επιπλέον χάσμα ανάμεσα στην τεχνική επαλήθευση και στην πραγματική κλινική επικύρωση, όπως αποτυπώνεται στο γεγονός ότι καμία μελέτη πέραν μίας δεν στηρίζεται σε ελεγχόμενη πειραματική αξιολόγηση με επαγγελματίες υγείας και ασθενείς.

Για το άμεσο μέλλον, μια πρώτη κρίσιμη ερευνητική κατεύθυνση είναι η ανάπτυξη πλαισίων ποιότητας βάσει διαχείρισης κινδύνου (risk-based testing) με πλήρη ιχνηλασιμότητα, από την απαίτηση και την εκτίμηση κινδύνου έως τη δοκιμή, τη συνεχή παρακολούθηση και την κλινική απόδειξη.

Η δεύτερη κατεύθυνση είναι η δημιουργία ανοικτών αρχιτεκτονικών αναφοράς (reference architectures), κοινών συνθετικών ιατρικών δεδομένων και συνοδευτικών σημείων αναφοράς αξιολόγησης (benchmarks), μαζί με κατάλληλες βιβλιοθήκες αυτοματοποίησης και υποστήριξης της δοκιμής και της αξιολόγησης. Εφοδιασμένες με σαφείς μετρικές σύγκρισης, τέτοιες υποδομές θα επιτρέψουν τη συγκρίσιμη αποτίμηση νέων λύσεων και θα μειώσουν το αρχικό κόστος εισόδου για μικρότερους οργανισμούς υγείας.

## 7.4 Επίλογος

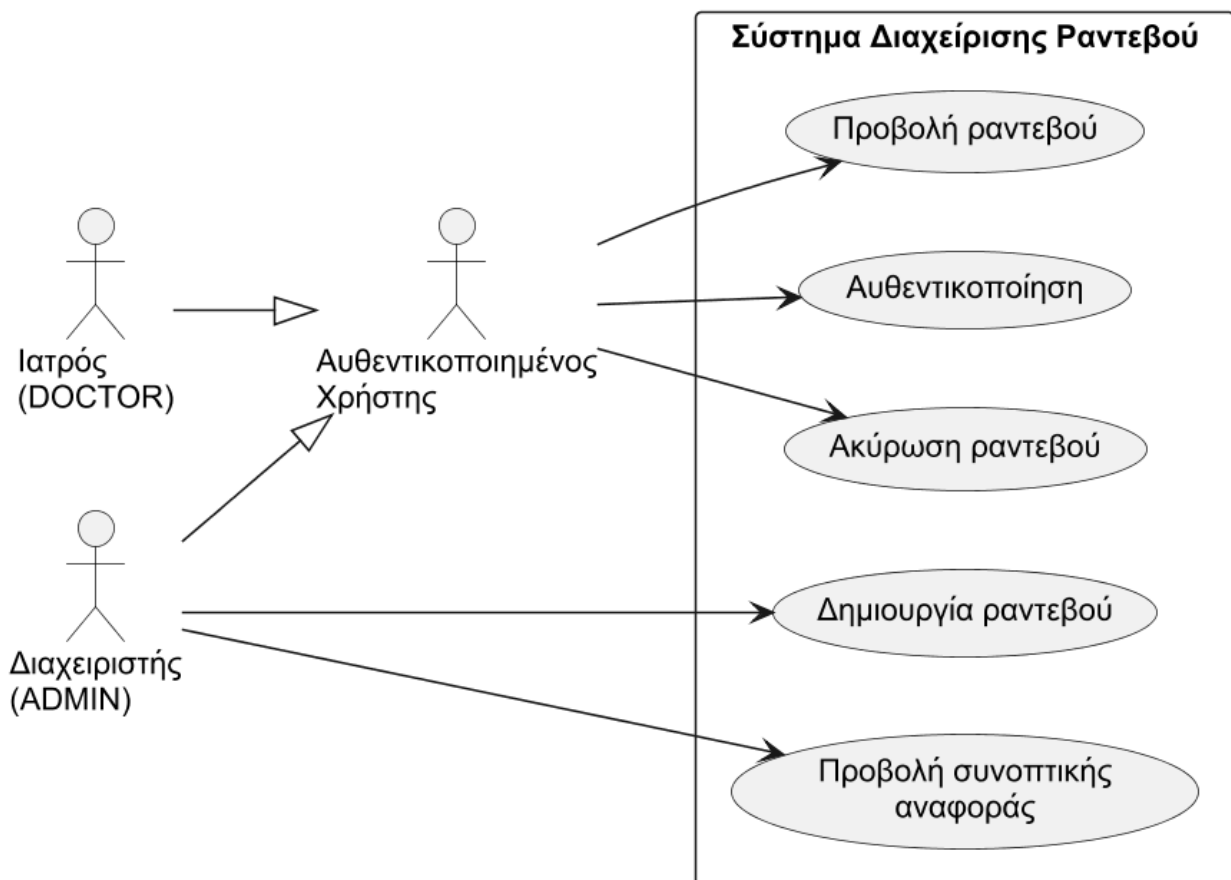
Η Δοκιμή Λογισμικού και η Διασφάλιση Ποιότητας στις ιατρικές εφαρμογές ιστού συνιστούν πεδίο υψηλής τεχνολογικής και κοινωνικής σημασίας, με ακόμη ανεκπλήρωτες απαιτήσεις ωρίμανσης. Η βιβλιογραφία προσφέρει πολύτιμες επιμέρους προσεγγίσεις, ωστόσο η πρόκληση βρίσκεται στην ενοποίησή τους σε πλαίσια που υπηρετούν ταυτόχρονα την τεχνική αξιοπιστία, την κανονιστική συμμόρφωση και την κλινική εμπιστοσύνη. Η κατηγοριοποίηση και το συγκριτικό πλαίσιο που αναπτύχθηκαν αποτυπώνουν την υπάρχουσα γνώση και, παράλληλα, ορίζουν αφετηρία για ωριμότερη και διεπιστημονική έρευνα στο πεδίο της ψηφιακής υγείας.

## Παράρτημα Α - Περιγραφή προτεινόμενων UML/OpenUML διαγραμμάτων

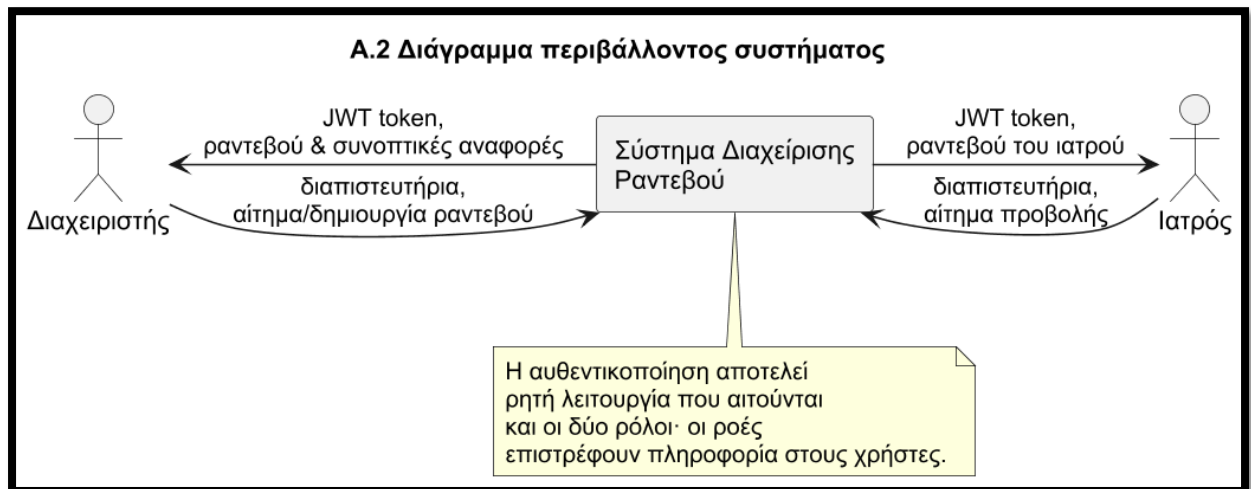
Για την πληρέστερη τεκμηρίωση της μελέτης περίπτωσης, δημιουργήθηκαν διαγράμματα UML τα οποία απεικονίζουν τη δομή και τη συμπεριφορά του συστήματος. Τα διαγράμματα αυτά σχεδιάστηκαν αρχικά ως πηγαίος κώδικας PlantUML και μετατράπηκαν σε εικόνες, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

### Α.1 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης

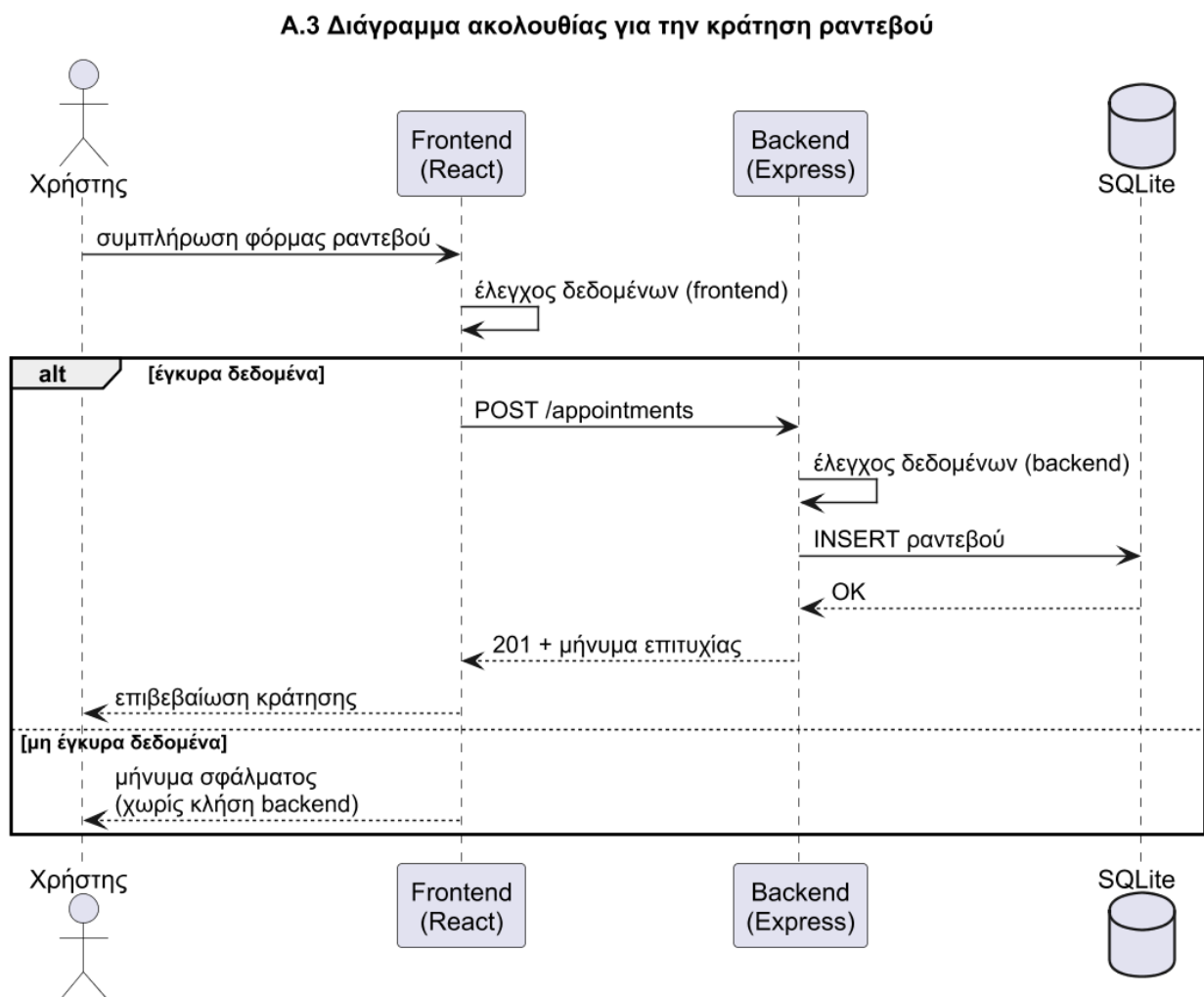
#### Α.1 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης



## A.2 Διάγραμμα περιβάλλοντος συστήματος



## A.3 Διάγραμμα ακολουθίας για την κράτηση ραντεβού



## Βιβλιογραφία

1. Alwashmi, M. F., Hawboldt, J., Davis, E., & Feters, M. D. (2019). The iterative convergent design for mobile health usability testing: Mixed methods approach. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(4), e11656. <https://doi.org/10.2196/11656>
2. Baltaxe, E., Hsieh, H. W., Roca, J., & Cano, I. (2023). The assessment of medical device software supporting health care services for chronic patients in a tertiary hospital: Overarching study. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e40976. <https://doi.org/10.2196/40976>
3. Caballero, J. C. S., Ching, C. B. D., Co, S. P. S., Noble, H. O., & Barcelo, A. B. (2021). LifeDoc: Availability and monitoring system of online medical consultation. In 2021 11th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE) (pp. 103–108). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSCE52189.2021.9530857>
4. Hrisafov, K., Ivanov, A. B., Chivarov, N., & Chivarov, S. (2021). Black box testing with exploratory approach of a software for remote monitoring of patients with COVID-19 and other infectious diseases. In 2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET) (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICECET52533.2021.9698734>
5. Hunt, C. J., et al. (2014). *Automatic testing of natural user interfaces*. In 2014 IEEE 7th International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICST.2014.25>
6. IEEE Standards Association. (2002). *IEEE Std 730-2002 — Software quality assurance plans*. <https://www.cs.utep.edu/isalamah/courses/5387/IEEE-Std-730-2002.pdf>
7. IEEE Standards Association. (n.d.). *IEEE 730 — Software quality assurance processes*. <https://standards.ieee.org/ieee/730/10854/>
8. International Organization for Standardization. (2024). *ISO/IEC 25002:2024 — Systems and software engineering — Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE): System and software quality models*. ISO.
9. Iwaya, L. H., Ahmad, A., & Babar, M. A. (2020). Security and privacy for mHealth and uHealth systems: A systematic mapping study. *IEEE Access*, 8, 150081–150112. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3015962>
10. Jake-Schoffman, D. E., Silfee, V. J., Waring, M. E., Boudreaux, E. D., Sadasivam, R. S., Mullen, S. P., et al. (2017). Methods for evaluating the content, usability, and efficacy of commercial mobile health apps. *JMIR mHealth and uHealth*, 5(12), e190. <https://doi.org/10.2196/mhealth.8758>
11. Jha, P., Sahu, M., Bisoy, S. K., & Sain, M. (2022). Application of model-based software testing in the health care domain. *Electronics*, 11(13), 2062. <https://doi.org/10.3390/electronics11132062>
12. Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. Keele University.
13. Knorr, K., & Aspinall, D. (2015). Security testing for Android mHealth apps. In 2015 IEEE 8th International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW) (pp. 1–8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSTW.2015.7107459>

14. Maramba, I., Chatterjee, A., & Newman, C. (2019). Methods of usability testing in the development of eHealth applications: A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 126, 95–104. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386505618313182>
15. McCall, J. A., Richards, P. K., & Walters, G. F. (1977). Factors in software quality (RAD-TR-77-369). Rome Air Development Center, US Air Force.
16. Mejia Tascon, F. J., Caratar Chaux, J. F., & Garcia Melo, J. I. (2024). Telehealth for movement assessment: Web services and model-view-controller. *IEEE Access*, 12, 145782–145794. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3461450>
17. Müthing, J., Jäschke, T., & Friedrich, C. M. (2017). Client-focused security assessment of mHealth apps and recommended practices to prevent or mitigate transport security issues. *JMIR mHealth and uHealth*, 5(10), e147. <https://doi.org/10.2196/mhealth.7791>
18. Myers, G. J., Sandler, C., & Badgett, T. (2011). *The art of software testing* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
19. Obigbesan, O., Graham, K., & Benzies, K. M. (2024). Software testing of eHealth interventions: Existing practices and the future of an iterative strategy. *JMIR Nursing*, 7, e56585. <https://doi.org/10.2196/56585>
20. Ronchieri, E., & Canaparo, M. (2023). Assessing the impact of software quality models in healthcare software systems. *Health Systems*, 12(1), 85–97. <https://doi.org/10.1080/20476965.2022.2162445>
21. Sartaj, H., Ali, S., Yue, T., & Gjølby, J. M. (2023). HITA: An architecture for system-level testing of healthcare IoT applications. In *Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-66326-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-031-66326-0_28)
22. Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (10th ed.). Pearson Education.
23. Vilela, P. H., Rodrigues, J. J. P. C., Solic, P., Saleem, K., & Furtado, V. (2019). Performance evaluation of a Fog-assisted IoT solution for e-Health applications. *Future Generation Computer Systems*, 97, 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.055>
24. Wairagade, S., & Cuthrell, M. (2025). A systematic review of AI-powered software testing in healthcare: Methodologies, challenges and future directions. *Journal of Engineering Research and Reports*, 27(4), 264–277. <https://doi.org/10.9734/jerr/2025/v27i41470>
25. Weber, J. H. (2019). Pragmatic interoperability for eHealth systems. In *Proceedings of the IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering for Healthcare (SEH)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SEH.2019.00013>
26. Zaki, J., Islam, S. M. R., Alghamdi, N. S., Abdullah-Al-Wadud, M., & Kwak, K.-S. (2022). Introducing cloud-assisted micro-service-based software development framework for healthcare systems. *IEEE Access*, 10, 33332–33348. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3161455>