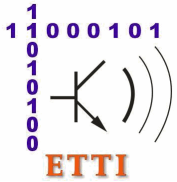


UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREȘTI

ȘCOALA DOCTORALĂ ETTI-B

Nr. Decizie 493 **din** 06.02.2020

TEZĂ DE DOCTORAT
- REZUMAT -

CERCETĂRI PRIVIND TEHNICILE DE VERIFICARE ȘI VALIDARE A SISTEMELOR INFORMATICE

RESEARCH ON VERIFICATION AND VALIDATION TECHNIQUES FOR INFORMATION SYSTEMS

Doctorand: **Ing. Sabina-Daniela AXINTE**

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	**Prof. dr. ing. Gheorghe BREZEANU**	de la	**Universitatea POLITEHNICA din București**
Conducător de doctorat	**Prof. dr. ing. Ioan BACIVAROV**	de la	**Universitatea POLITEHNICA din București**
Referent	**Prof. dr. ing. Mircea POPA**	de la	**Universitatea Politehnica Timișoara**
Referent	**Prof. dr. ing. Daniela-Elena POPESCU**	de la	**Universitatea din Oradea**
Referent	**Prof. dr. ing. Paul ȘCHIOPU**	de la	**Universitatea POLITEHNICA din București**

BUCUREȘTI 2020

Mulțumiri

Finalizarea prezentei lucrări și implicit a stagiului de doctorat nu ar fi fost realizabilă fără sprijinul și susținerea unor persoane pentru care doresc să adresez câteva cuvinte de condescendență.

În primul rând, doresc să îmi exprim gratitudinea pentru coordonatorul meu științific, domnul Prof. em. dr. ing. Ioan C. BACIVAROV, pentru insuflarea curiozității asupra domeniului calității încă din perioada stagiului de licență, continuând prin a conferi esența teoretică în cadrul programului de masterat, care au stat la baza formării mele ca Inginer în domeniul Asigurării Calității. Ulterior mi-a făcut onoarea de a mă îndruma și sprijini de-a lungul stagiului de doctorat, dar și de a conferi sfaturi constructive pentru elaborarea tezei.

În continuare vreau să îmi prezint recunoștința comisiei de îndrumare: doamna Prof. dr. ing. Angelica BACIVAROV pentru îndrumarea și încurajările de-a lungul elaborării tezelor de disertație și doctorat, domnul Prof. dr. ing. Adrian MANEA pentru sfaturile și sugestiile oferite în decursul stagiului de pregătire a tezelor de licență și doctorat și domnul Conf. dr. ing. Ioan-Cosmin MIHAI pentru informațiile și discuțiile purtate pe tema securității spațiului Web.

În plus, cu deosebită considerație, doresc să mulțumesc membrilor comisiei de doctorat, domnul Prof. dr. ing. Mircea POPA și doamna Prof. dr. ing. Daniela-Elena POPESCU, pentru recenzarea lucrării, sfaturile și sugestiile oferite. Mulțumesc de asemenea domnului Prof. em. dr. ing. Paul ȘCHIOPU pentru sprijinul acordat atât de-a lungul perioadei de specializare, cât și pentru încurajările în cadrul stagiului de doctorat.

În special aș dori să adresez mulțumiri domnului Prof. dr. ing. Gheorghe BREZEANU care mi-a acordat onoarea de a fi președintele comisiei de doctorat, dar și pentru exemplul de profesionalism academic oferit în perioada studiilor de licență.

De asemenea, găsesc de cuviință să mulțumesc distinșilor membri ai Departamentului Tehnologie Electronică și Fiabilitate (Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, Universitatea Politehnica din București), condus de domnul Conf. dr. ing. Marian VLĂDESCU.

Totodată, țin să le mulțumesc colegilor de echipă, și în special managerului meu, pentru încurajări, înțelegerea acordată și pentru exemplul de comunicare și funcționare a unei echipe multidisciplinare într-un mediu de dezvoltare alert, unde calitatea reușește să rămână prima prioritate.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc în mod deosebit familiei mele și prietenilor pentru sprijinul permanent acordat. Un loc special îl au mama și bunica mea care mi-au insuflat încredere pentru a-mi explora limitele aptitudinilor și mi-au sprijinit educația, aspecte pentru care le sunt recunoscătoare. Adițional, doresc să îmi transmit mulțumirea celui mai bun prieten pentru criticile constructive și pentru contribuția la corectarea prezentei lucrări.

Cuprins

Capitolul 1. Introducere

Ne regăsim într-o lume în continuă schimbare din punct de vedere al încrederii alocate produselor software ce stau la baza dispozitivelor din orice industrie, făcând impetuos necesară funcționarea corectă și în deplină siguranță.

Domeniul calității este unul vast și este adresat industriei, indiferent că vorbim de economie, inginerie sau știință. Termenul de „calitate" vizează în principal conformitatea produsului construit în raport cu cerințele pieței, ale clienților, dar și față de scopul pentru care a fost realizat, indiferent despre ce tip de produs este vorba. Există mai multe definiții și viziuni asupra calității, prima definiție a acesteia fiind formulată de Walter A. Shewhart la începutul secolului XX: „Sunt două aspecte comune ale calității: unul dintre ele se referă la calitate ca la o realitate obiectivă, independentă de existența omului. Celălalt aspect are legătură cu ceea ce gândim, credem sau simțim ca rezultat al realității obiective. Cu alte cuvinte, există o parte subiectivă a calității." [1]

În domeniul ingineriei software, calitatea face referire la două concepte interconectate, dar de sine stătătoare. În primă speță, aceasta se referă la *calitatea funcțională* a software-ului, care reflectă gradul de similitudine între produsul final și specificațiile, cerințele și scopul inițial. Acest atribut reprezintă măsura în care sistemul a fost realizat corect. Complementar, al doilea concept îl reprezintă *calitatea structurală* a software-ului și se referă la cerințele non-funcționale îndeplinite de către produs, care oferă suport livrării cerințelor funcționale precum robustețe și mentenabilitate. Acest aspect reflectă gradul în care software-ul funcționează corect.

Testarea software este o investigație condusă de scopul obținerii informațiilor referitoare la calitatea produselor sau a serviciilor supuse testării. Aceasta conferă un punct de vedere obiectiv și independent asupra produsului, acordând firmelor discernământ în luarea deciziilor ce comportă riscurile inerente implementării software.

Diversitatea mediului online a generat o creștere semnificativă a necesității de aplicații Web, bazate pe criterii tot mai stricte de fiabilitate, uzabilitate, interoperabilitate și securitate. Din cauza presiunii clienților, testarea aplicațiilor Web este deseori neglijată de către dezvoltatori, fiind considerată consumatoare de resurse, fapt ce implică o alterare a calității aplicațiilor. Datorită tehnologiilor diferite pe care sunt construite aplicațiile Web, precum și combinării tipurilor de componente (noi, moștenite, media, generate din librării externe etc.), caracterului eterogen al mediilor de producție (diferite platforme, servere Web și browsere), numărului potențial de utilizatori distribuiți global și accesării serviciului în mod concurent, testarea aplicațiilor Web este, în general, mult mai dificilă decât cea tradițională.

1.1. Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Domeniul aprofundat de prezenta lucrare este de mare actualitate și este supus permanent perfecționării ca urmare a dezvoltării accelerate, dar și a multitudinii de aspecte care metamorfozează dezvoltarea și utilizarea produselor software. În continuare sunt prezentate fragmente esențiale din cadrul nomenclaturii de specialitate pentru a stabili un

limbaj comun, dar și o colecție a celor mai semnificative defecte care au survenit de-a lungul timpului. Acestea sunt prezentate în ordinea impactului uman și financiar, în detrimentul evoluției temporale, pornind de la prima mențiune a termenului „*bug*" [30]. Adițional se prezintă parcursul evoluției domeniului, precum și direcțiile de dezvoltare actuale.

1.2. Scopul tezei de doctorat

Întrucât domeniul studiat prezintă aspecte și evoluții complexe, obiectivul principal al prezentei lucrări este de ***a propune soluții de analiză și optimizare a proceselor laborioase ce stau la baza asigurării calității sistemelor informatice***. Totodată, se vor sublinia modalități de îmbunătățire a produsului software final prin prisma eficientizării fiecărei etape din ciclul de dezvoltare.

Învățarea pe tot parcursul vieții este indispensabilă, în special în industria IT&C, dar, cu toate acestea, există puține universități și școli din domeniu care oferă cursuri despre acest subiect. În consecință, se ***va realiza o platformă de tip e-learning care are drept obiective formarea studenților în domeniul prezentat***, dar și ***exemplificarea practică a unei dezvoltări centrate pe asigurarea calității software***.

Pentru ca aceste obiective principale să poată fi îndeplinite și dezvoltate în baza unei cercetări amănunțite și coerente, drept obiective adiacente se propun următoarele:

- realizarea unei analize a alternativelor educaționale actuale, atât pe plan național, cât și din mediul online;
- efectuarea unei analize de tip QFD prin prisma Casei Calității cu scopul translatării cerințelor utilizatorilor în specificații tehnice pentru platforma e-learning propusă;
- studierea amănunțită a metodologiilor și proceselor de dezvoltare software, în concordanță cu diferite tipologii de produse;
- elaborarea unei diagrame de tranziție, precum și a unui arbore de defectare cu scopul de a exemplifica calculul fiabilității unui produs software;
- eficientizarea proceselor de testare și elaborarea unui ghid de bune practici privind proiectarea și redactarea documentației aferentă proceselor de verificare și validare;
- propunerea soluțiilor de maximizare a fiabilității produsului finit încă din etapa de planificare, atât din punctul de vedere al cerințelor funcționale, cât și non-funcționale;
- dezvoltarea platformei anterior menționate în concordanță cu necesitățile unui inginer responsabil cu asigurarea calității;
- exemplificarea practică a metodelor și tehnicilor de testare în cadrul tuturor nivelelor de verificare și validare;
- identificarea și validarea unor instrumente auxiliare ce au ca scop testarea diferitelor caracteristici ale produsului, dar și automatizarea unor activități laborioase.

1.3. Conținutul tezei de doctorat

În **Capitolul 1**, introductiv, am definit cei mai importanți termeni specifici industriei pentru stabilirea unui limbaj comun, am evidențiat un scurt istoric al tuturor evenimentelor care au stat la baza fundamentării calității industriei software și am prezentat cele mai importante defecte din punctul de vedere al impactului. De asemenea, am analizat stadiul curent al domeniului asigurării calității sistemelor informaționale și am specificat scopul prezentei lucrări.

Capitolul 2 parcurge etapele inițiale de dezvoltare a unui produs software: inițierea proiectului și identificarea modelului favorabil de dezvoltare. De asemenea, am realizat o analiză cvasi-exhaustivă a furnizorilor actuali de informație în domeniul testării software, atât din sfera academică, cât și din mediul online, evidențiind carențele particulare. Ulterior, am prezentat în manieră obiectivă alternativele abordărilor Agile, precum și cele tradiționale, concluzionând cu analiza comparativă a acestora. În plus, am înaintat o propunere de optimizare a procesului de dezvoltare prin prisma componenței constitutive a echipei.

În **Capitolul 3** se prezintă modalități de construire calitativă a unui produs cu ajutorul diagramei Gantt în baza analizei QFD (Quality Function Deployment), a normativelor și standardelor de securitate în domeniu, dar și a metodologiei necesare de structurare a activităților de testare. Adițional s-au elaborat sugestii de construire a unui plan de test bazat pe tehnica adaptată produsului ce se dorește a fi testat. În continuare s-au subliniat perspectivele de îmbunătățire a securității, uzabilității și fiabilității produsului finit în etapa de proiectare și s-a realizat analiza mediului arhitectural.

Capitolul 4 se adresează etapelor de implementare și verificare din ciclul de viață al unui produs software. În primă instanță se prezintă taxonomia defectelor și modalități de prevenție individualizate, apoi se evidențiază demersurile care au fost făcute pentru dezvoltarea aplicației e-learning, în conformitate cu studiul profilului unui inginer de asigurare a calității. Pentru testarea din punct de vedere funcțional a sistemului apriori menționat s-au făcut recomandări în ceea ce privește executarea scenariilor de test și s-a asigurat că produsul corespunde specificațiilor stabilite în etapele anterioare.

În cadrul **Capitolului 5** este abordată problematica validării la nivel non-funcțional a sistemelor informatice. S-au prezentat modalități de stabilire a nivelului de securitate a unui produs software, acestea fiind exemplificate pentru aplicația e-learning concepută. De asemenea, s-au propus modalități de eficientizare a testării uzabilității prin intermediul instrumentelor auxiliare.

Teza de doctorat se finalizează cu un capitol de **Concluzii** în care se sintetizează conceptele expuse în cadrul lucrării, rezultatele obținute și contribuțiile aduse. Tot în acest capitol au fost menționate lucrările publicate pe parcursul stagiului de doctorat și au fost sugerate câteva direcții de continuare a cercetărilor. În ultima parte a tezei au fost inserate **4 Anexe** cu date suplimentare, folosite în cadrul cercetărilor expuse în lucrare și care au permis atingerea obiectivelor propuse. Lucrarea conține secțiuni separate pentru *Lista tabelelor*, *Lista figurilor*, *Lista abrevierilor* și *Bibliografia* folosită ca suport în obținerea rezultatelor și structurarea aspectelor prezentate.

Capitolul 2. Tehnici de analiză aplicate managementului proiectelor software complexe

Acest capitol prezintă aspecte legate de inițierea unui proiect ce are ca scop elaborarea unui sistem informatic. În cadrul acestei etape se identifică problematica adresată, categoria de utilizatori vizată, fezabilitatea soluției propuse, precum și obiectivele principale.

2.1. Inițierea proiectului

Deoarece ne-am propus să analizăm oportunitățile educaționale la nivel academic național, în secțiunea 2.1.1 am studiat în primă instanță datele furnizate de Ministerul Educației și Cercetării pentru cele 99 de universități publice și private [41] și am constatat că numărul de persoane care optează pentru studii în domeniul tehnologiei informației și comunicațiilor scade de la un an la altul și de la un ciclu la altul. Am continuat cu o analiză in extenso (Anexa 1) asupra a 17 universități din 12 centre universitare selectate pe criterii de relevanță în domeniu. Am regăsit în primă instanță 15 discipline care abordează domeniul calității software-ului. De asemenea, un număr de 16 discipline prezintă parțial domeniul prin abordarea uneia din ramurile acestuia. În final am identificat 23 de programe de masterat și, în urma studierii fișelor de disciplină, am concluzionat că diversitatea și aplicabilitatea noțiunilor teoretice suferă deficiențe majore.

Așadar, am continuat în următoarele două subcapitole analiza alternativelor educaționale din mediul online. Au fost incluse ISTQB, organizația care oferă cea mai recunoscută certificare în domeniu, precum și câteva platforme online. Am concluzionat, cu ajutorul unei analize SWOT, că nu există o soluție flexibilă care să prezinte informațiile într-o manieră corectă și coerentă și care să satisfacă necesitățile persoanelor care își doresc să activeze în acest sector.

Pentru a determina rentabilitatea unei soluții adiacente, am realizat un studiu de piață în baza unui sondaj (prezentat în Anexa 2) distribuit prin intermediul platformelor de comunicare, pe grupuri de specialişti, atât local, cât și internațional. Am analizat ulterior rezultatele obținute și am concluzionat că există necesitatea unei platforme care să acopere carențele soluțiilor analizate anterior și am identificat obiectivele principale ale proiectului.

Am continuat cu traducerea acestora în specificații tehnice prin intermediul unei analize QFD (fig. 2.19) bazate pe suportul grafic oferit de *Casa Calității* [50]. În urma stabilirii impactului și interdependențelor, am deliberat că funcționalitățile ce trebuie planificate și implementate sunt: ierarhizarea clară și conținut veridic și concis, prezența testelor de verificare a cunoștințelor, prezentarea instrumentelor de automatizare și testare, o bună ghidare a utilizatorilor, precum și un conținut tehnic ridicat. Ne-am propus, de asemenea, ca acestea să fie oferite cu un timp de răspuns scăzut, cu o disponibilitate mare și suportate de o compatibilitate cu toate tipurile de dispozitive.

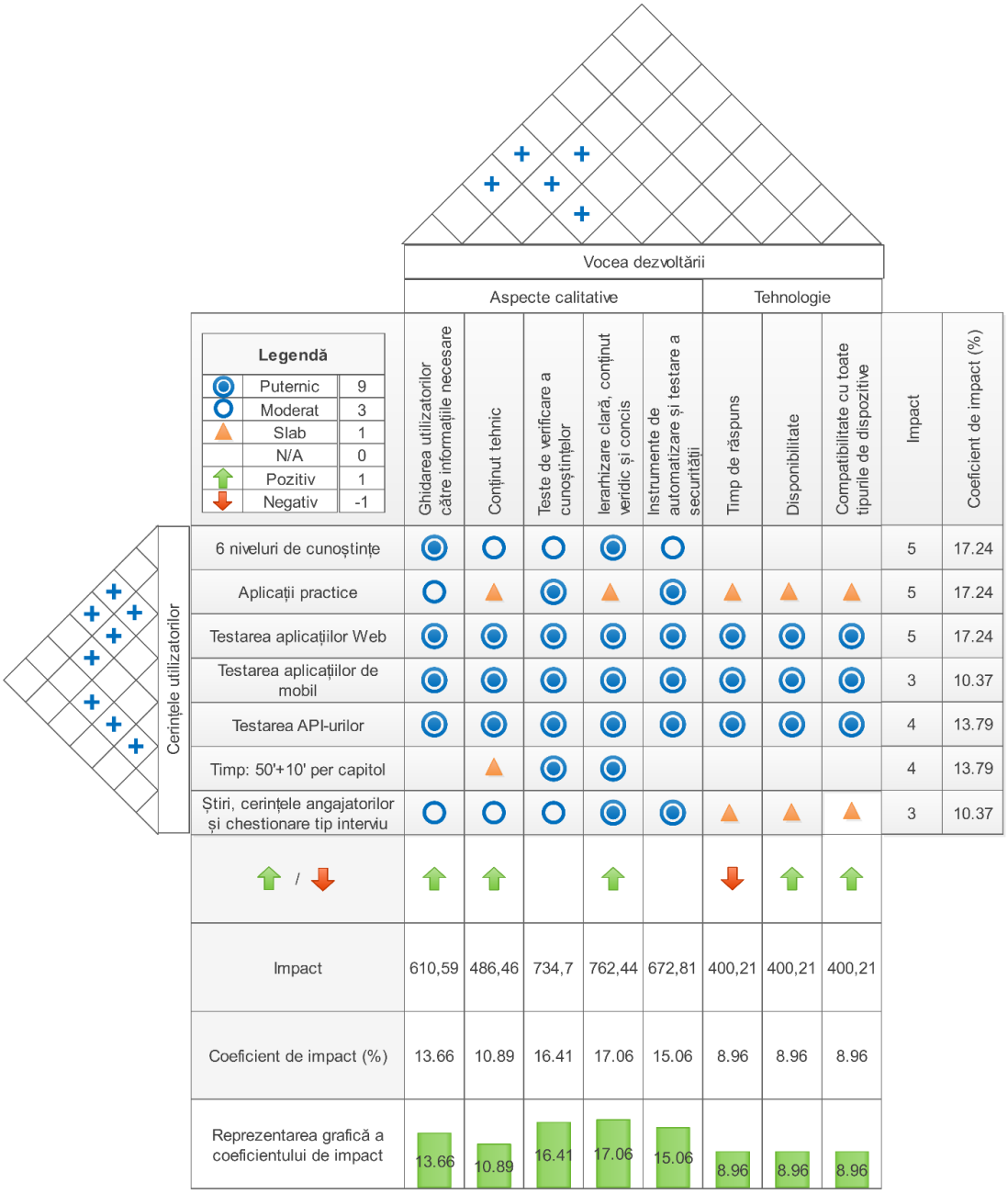


Fig. 2.19 *Casa Calității aplicată în baza cerințelor exprimate de utilizatori*

2.2. Metodologii de planificare a unui proiect software

Întrucât istoria a demonstrat că alegerea metodologiilor de dezvoltare a unui proiect software este cheia reușitei acestuia, prezenta secțiune își propune analiza și stabilirea metodologiei optime. Am detaliat abordarea de tip Agile [52], dar și cele tradiționale [53] utilizate drept suport în ciclul de dezvoltare software. Ulterior am realizat o analiză comparativă între cele două tipuri pentru a stabili care dintre soluții este rentabilă pentru un proiect de dimensiuni medii, în baza căreia am selectat modelul Iterativ - Incremental (IID). Cu scopul perfecționării acestuia am utilizat o analiză SWOT (fig. 2.27) pentru a identifica vulnerabilitățile potențiale.

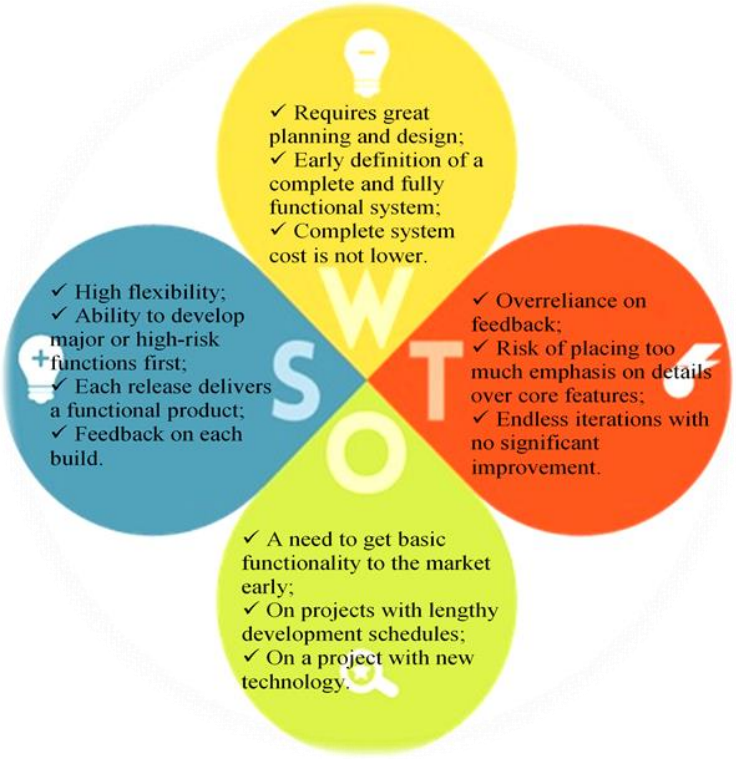


Fig. 2.27 *Analiza SWOT a modelului Iterativ - Incremental [55]*

Am continuat cu propunerea soluției de optimizare (fig. 2.28) în contextul unui produs software de dimensiuni medii, pentru o perioadă delimitată de timp. Îmbunătățirile referă la modalitățile de planificare [57], structura și colaborarea echipei de dezvoltare, precum și proceduri necesare pentru îmbunătățirea continuă a procesului de dezvoltare.

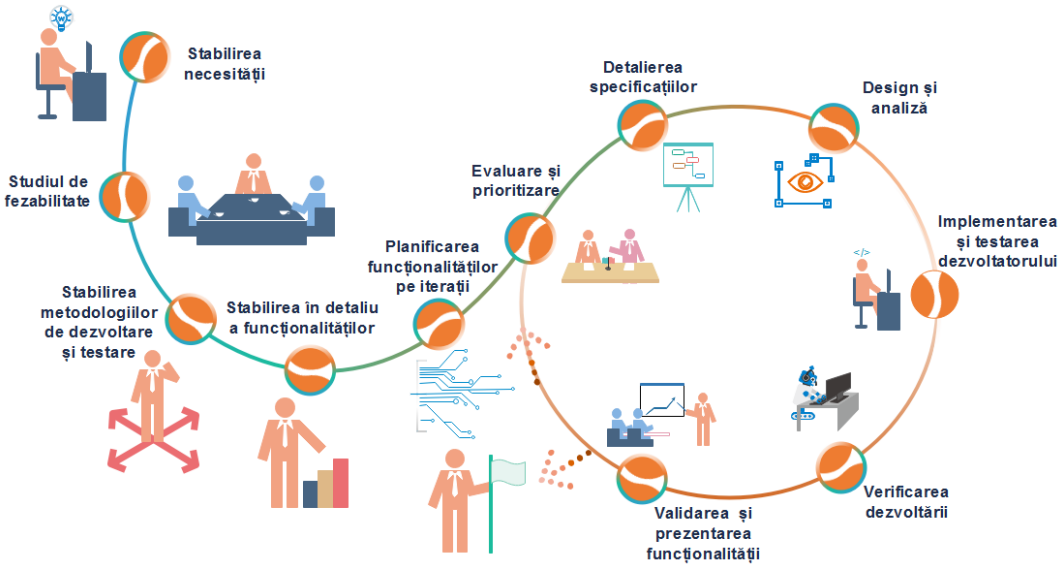


Fig. 2.28 *Modelul de dezvoltare software propus*

În finalul capitolului am furnizat un model de echipă sustenabilă în contextul unui mediu de dezvoltare complex și dinamic, care să asigure dezvoltarea produselor de o înaltă fiabilitate și într-un interval de timp restrâns [59].

Capitolul 3. Studii privind realizarea și implementarea unui produs software

Capitolul 3 își propune adresarea etapelor de planificare și proiectare din cadrul ciclului de dezvoltare a unui sistem informatic.

3.1. Planificarea dezvoltării corecte a produsului

Pentru aceasta am început cu construcția diagramei stărilor de tranziție (fig. 3.1) bazate pe concluzia analizei QFD de a segmenta și de a ierarhiza noțiunile în funcție de nivelul de cunoștințe implicat. Am considerat necesară prezența a 3 tipuri de utilizatori definiți prin roluri bine delimitate: administrator, instructor și student.

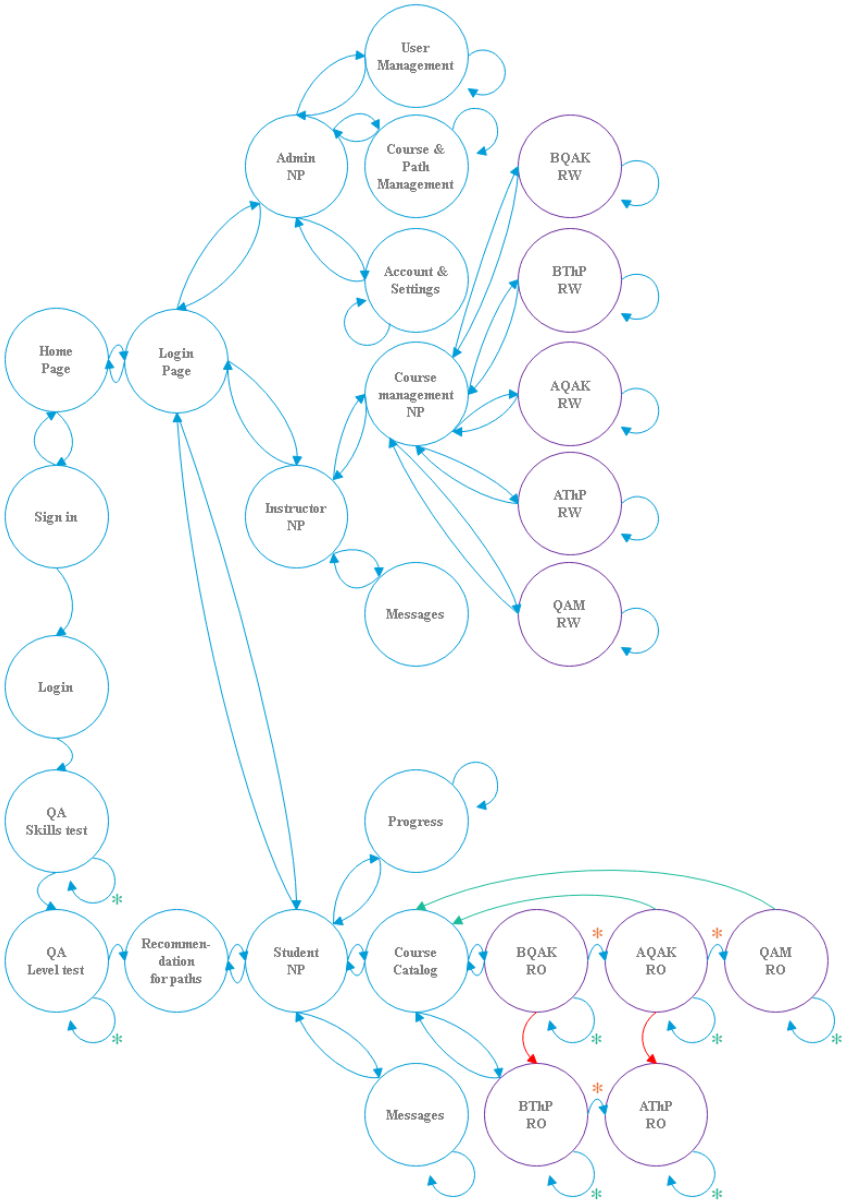


Fig. 3.1 *Diagrama stărilor de tranziție ale aplicației e-learning*

Am continuat cu realizarea unei diagrame Gantt pentru o exemplificare grafică a activităților implicate și alocarea temporală a acestora. Pentru aceasta am stabilit data de inițiere a proiectului și l-am segmentat în patru etape principale: 1. Planificare; 2. Design și implementare; 3. Verificare; 4. Validare. În secțiunea de implementare am alocat resurse diferențiat, în funcție de nivelul de cercetare necesar creării conținutului pentru fiecare modul în parte.

Ulterior am analizat normativele privind securitatea produselor de tip Web pentru a le considera în etapa de proiectare a sistemului informatic într-o manieră proactivă. Au fost incluse standardele ISO 27002 [62] (care adresează codul de practici pentru un bun management al securității informației și caracteristicile pe care trebuie să le dețină informațiile), respectiv ISO 27001 [64], care detaliază tehnicile de securitate aplicabile în cadrul ciclului PDCA (Plan-Do-Check-Act). În continuare, am parcurs directiva europeană GDPR [65] (fig. 3.4), ce facilitează clasificarea datelor cu caracter personal în funcție de senzitivitatea acestora și reglementează obținerea, manipularea și stocarea lor.

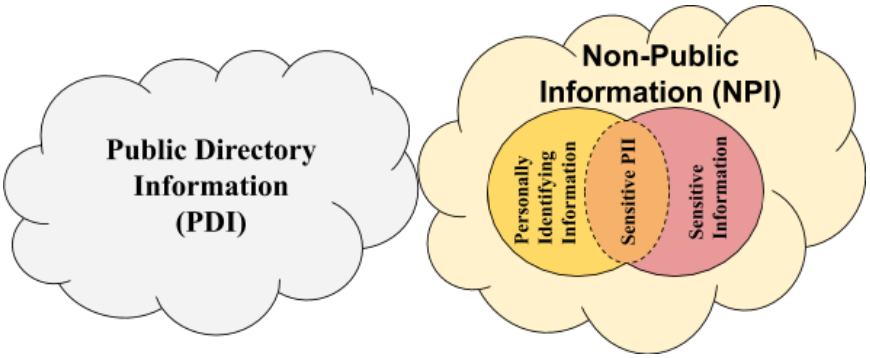


Fig. 3.4 *Clasificarea datelor conform GDPR [66]*

Adițional am considerat o serie de ghiduri de bune practici [69][70] ce conferă o fundație privind procesele necesare asigurării securității informațiilor deținute. În baza analizelor menționate, am detaliat aplicarea acestora în cadrul dezvoltării proiectului ales.

3.2. Stabilirea metodologiei și a documentației necesare structurării activităților de testare

În cadrul secțiunii 3.2 am abordat metodologia necesară structurării activităților de testare, precum și documentația aferentă bunei desfășurări a acestora. În urma studierii în detaliu a tehnicilor de testare [73][75], am subliniat faptul că tehnicile statice nu trebuie să le înlocuiască pe cele dinamice, întrucât sunt metode complementare și ar trebui folosite ca atare, deoarece tind să găsească în mod eficient tipuri diferite de defecte. Identificarea eventualelor erori în aceste stadii incipiente conduce la eforturi și costuri mult mai mici de revizuire și îmbunătățire a calității produselor. De asemenea, am prezentat nivelurile de testare în cadrul cărora este necesară intervenția asigurării calității [8]. Am conchis cu o analiză comparativă a tehnicilor de testare în concordanță cu nivelurile asociate și am propus optimizarea activităților (fig. 3.10) cu scopul de a obține un nivel de fiabilitate optim prin interpolarea celor două modalități de abordare a testării.

Fig. 3.10 *Optimizarea testării prin interpolarea celor două tehnici*

Pentru asigurarea documentației necesare activităților de verificare și validare am continuat cu detalierea conținutului necesar unui plan de testare [75][76], explicând noțiunile necesare. Adițional, am formulat o serie de normative practice pentru construirea unui astfel de plan care acoperă atât implicarea echipei în activitățile de dezvoltare, procesul de redactare a scenariilor și a cazurilor de test, prioritizarea acestora în funcție de analiza de impact, precum și revizia periodică cu scopul îmbunătățirilor și asigurării acoperirii tuturor funcționalităților vitale ulterior adăugate. De asemenea, am aplicat aceste normative prin elaborarea unui plan de testare pentru produsul propus, ce se regăsește în formulă sintetizată în Anexa 3.

3.3. Proiectarea sistemului

Proiectarea sistemului a fost abordată în continuare, punând accent pe prevenția defectelor [77]. Am început cu o prezentare a evoluției costurilor cauzate de remedierea defectelor în funcție de etapa în care acestea au fost introduse [78][82]. Am enunțat propuneri de îmbunătățire a caracteristicilor non-funcționale de securitate [89], respectiv uzabilitate prin intermediul unei implementări corecte. În primul caz au fost detaliate modalități de securizare a serverelor care oferă suportul tehnic pentru orice produs software, stringența acestora fiind direct proporțională cu domeniul de activitate și scopul proiectului. Am enunțat soluții de asigurare și protecție a accesului în cadrul aplicației în funcție de roluri și privilegii bine stabilite și am menționat maniere de prevenție împotriva escalării de privilegii cu obiectivul de a vizualiza informații ce nu fac parte din scopul utilizatorului autentificat. Pentru optimizarea uzabilității am abordat propuneri legate de construcția unitară a platformei, fluența navigării în baza acțiunilor din cadrul aplicației, managementul erorilor și modalitatea de afișare a mesajelor în acest sens, precum și de limbajul, formatarea și suportul grafic din cadrul conținutului efectiv [93].

Întrucât ne dorim ca fiabilitatea totală a sistemului să fie cât mai bună, am realizat o analiză FTA (Fault Tree Analysis) [95] cu scopul moderării acesteia în eventualitatea în care nu are valoarea scontată. Pentru această analiză am considerat ca eveniment principal incapacitatea de funcționare sau limitarea accesului la platforma e-learning. În continuare am segmentat potențialele cauze în două surse: a clientului și a sistemului informatic. Pentru fiecare dintre acestea am detaliat evenimentele de bază după proveniența acestora, software (fig. 3.13), respectiv hardware (fig. 3.14). Am stabilit probabilitățile de apariție a evenimentelor de bază în corelație cu raportul ratelor de defectare a componentelor hardware [94][98][99], cu rezultatele obținute în urma realizării unui prototip, precum și cu experiența lucrului cu sisteme informatice complexe.

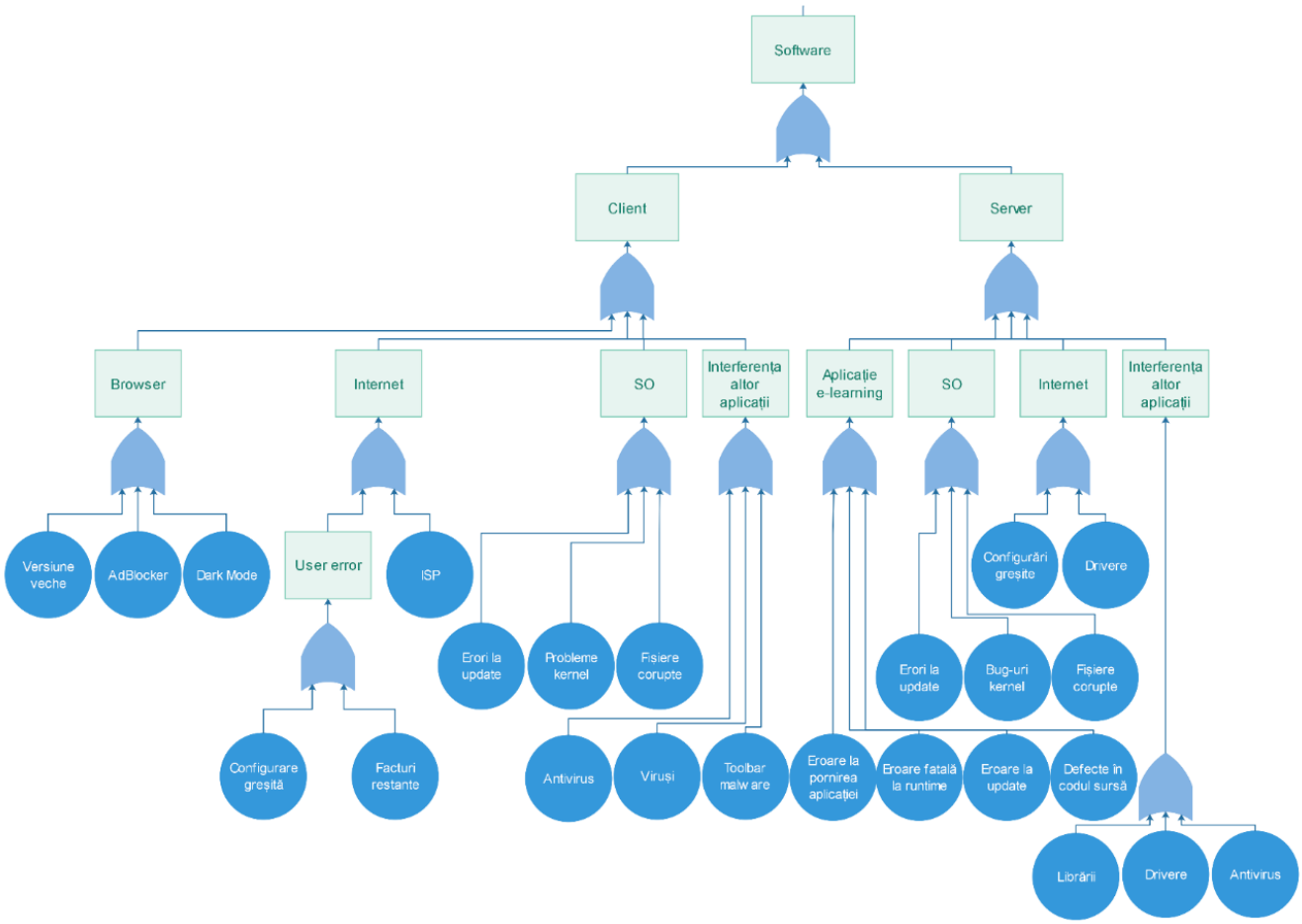


Fig. 3.13 *Sub-arborele de defectare Software*

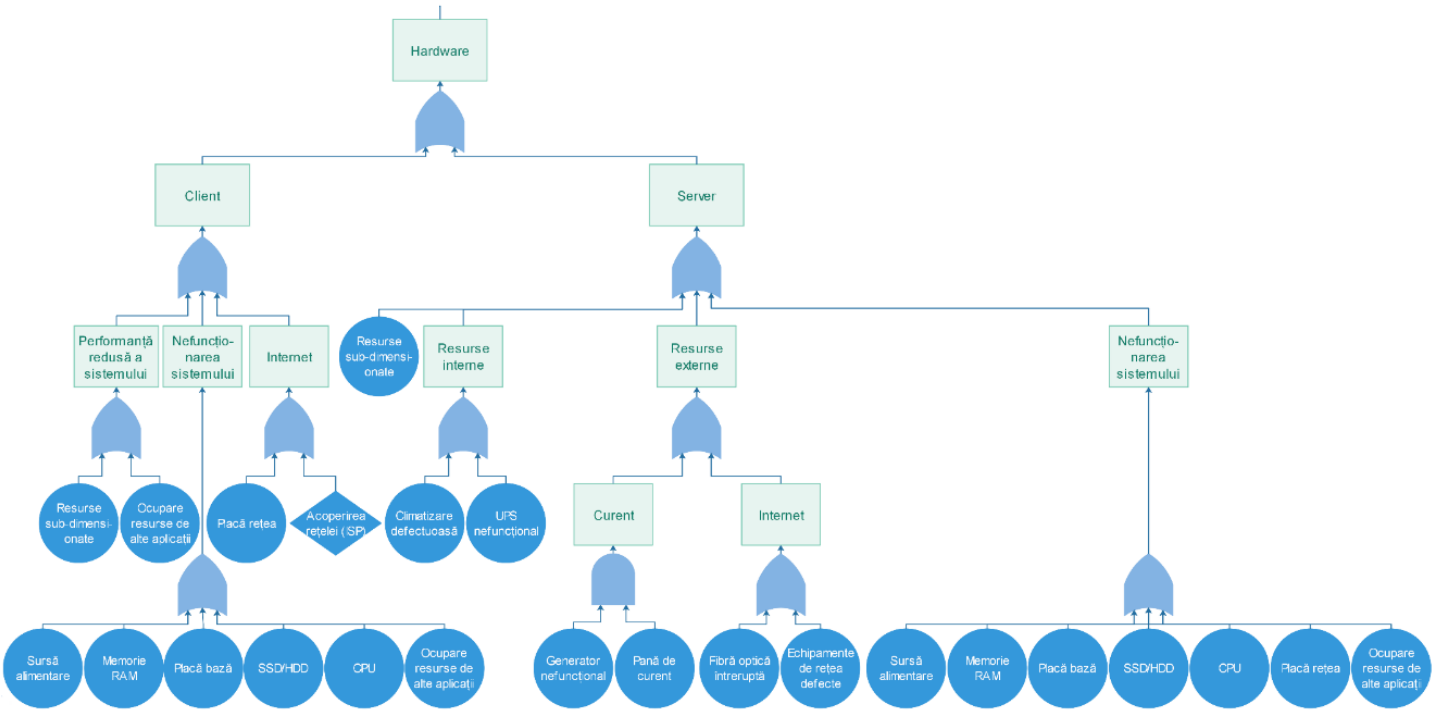


Fig. 3.14 *Sub-arborele de defectare Hardware*

Ulterior am calculat probabilitatea de apariție a evenimentului de top considerat și am constatat două direcții potențiale de îmbunătățire, pe ramura hardware, respectiv software a sistemului informatic propus. Pentru a diminua numărul potențial de zile de nefuncționare de la 28,7 zile pe an din punct de vedere hardware, am optat pentru o soluție de tip *cloud computing* și, în urma unei analize a opțiunilor existente, am deliberat că varianta cea mai fiabilă este soluția oferită de Amazon, reducând numărul de zile de nefuncționare la mai puțin decât rezultatele obținute a priori, respectiv cu 14,61 zile [101]. Întrucât fiabilitatea soluției software nu s-a ridicat la nivelul așteptărilor, am optat pentru o alternativă de tip *Learning Management System* pentru selecția căreia am analizat de asemenea soluțiile existente. Am concluzionat că TalentLMS este soluția ideală atât din punctul de vedere al funcționalităților stabilite în scopul proiectului, dar și a suportului pentru cerințele de securitate și uzabilitate enunțate anterior. Pentru a valida această decizie am analizat mediul arhitectural prin prisma serviciilor integrate, a infrastructurii soluției [107] și a politicilor de securitate [112][113] și am concluzionat că noua arhitectură a sistemului informatic propus respectă toate normativele impuse în etapele de proiectare și implementare și că noua valoare pentru probabilitatea de apariție a evenimentului considerat în cadrul analizei FTA, excluzând ramurile aferente clienților (hardware și software), este de $1{,}25 \cdot 10^{-4}$, rezultând o probabilitate de bună funcționare de 99,9874%.

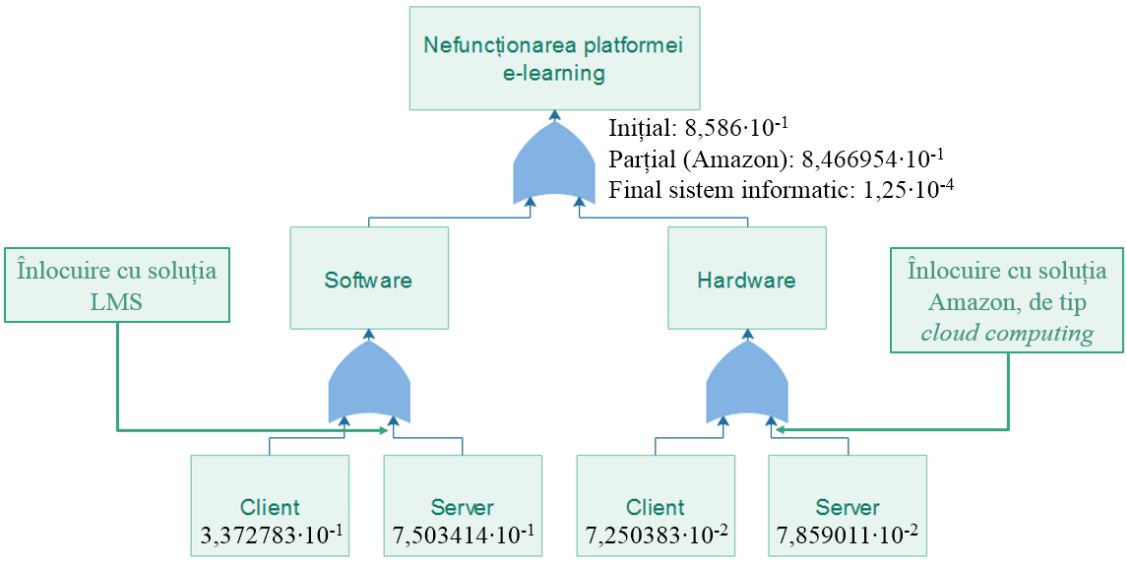


Diagrama FTA în urma modelării sistemului informatic

Capitolul 4. Verificarea funcțională prin testarea implementării produsului

Capitolul 4 este dedicat atât implementării, cât și verificării de natură funcțională a produsului propus. În primă instanță am analizat taxonomia defectelor în funcție de etapa introducerii lor și am propus măsuri de prevenție pentru fiecare dintre ele. Am continuat cu prezentarea activităților aferente dezvoltării produsului.

4.2. Dezvoltarea aplicației

În cadrul etapei de inițializare am stabilit numele subdomeniului astfel încât acesta să fie reprezentativ și ușor de reținut, am creat un logo și un favicon în conformitate cu scopul aplicației și am adăugat setările necesare legate de limbă, fus orar și formatul de dată care vor fi utilizate în aplicație. De asemenea, am creat o pagină de întâmpinare personalizată, am activat certificatul digital SSL pentru subdomeniul utilizat, am impus utilizarea parolelor puternice și am restricționat utilizarea concurentă pentru același cont. Apoi am construit o pagină dedicată politicilor de utilizare și confidențialitate (fig. 4.3) în conformitate cu reglementările GDPR în vigoare.

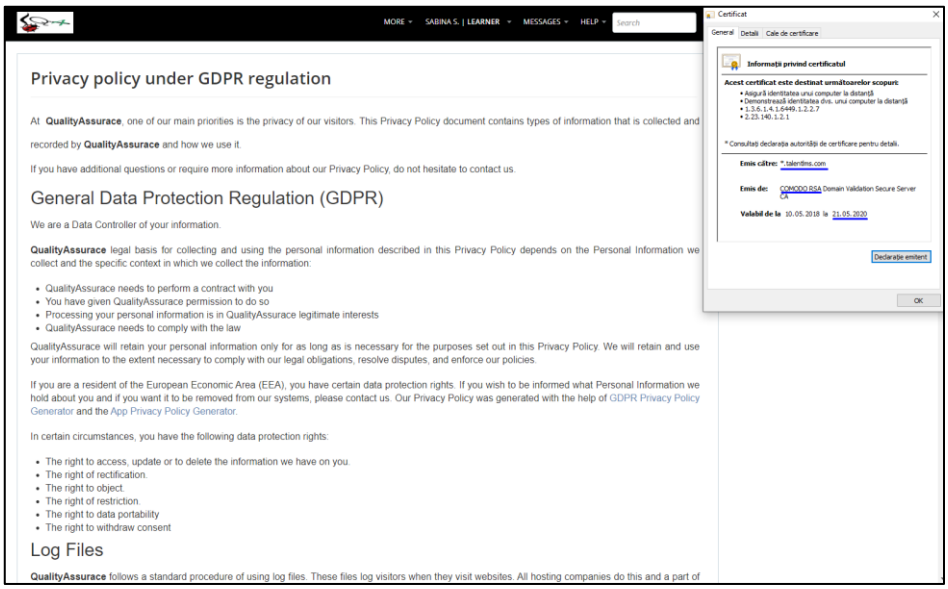


Fig. 4.3 *Aplicație - Pagina de confidențialitate conform GDPR*

Adițional, am creat pagini personalizate pentru prezentarea scopului produsului, modalitățile de contact, dar și pentru răspunsul standard HTTP 404 (pagină inexistentă). Am continuat cu alcătuirea uniformă a interfeței (fig. 4.10) care va fi utilizată de toate modulele ce vor fi dezvoltate ulterior. Pentru aceasta am selectat o paletă de culori care să stimuleze atenția și creativitatea, dar și o serie de fonturi și stiluri care să antreneze concentrarea asupra elementelor esențiale din cadrul paginii.

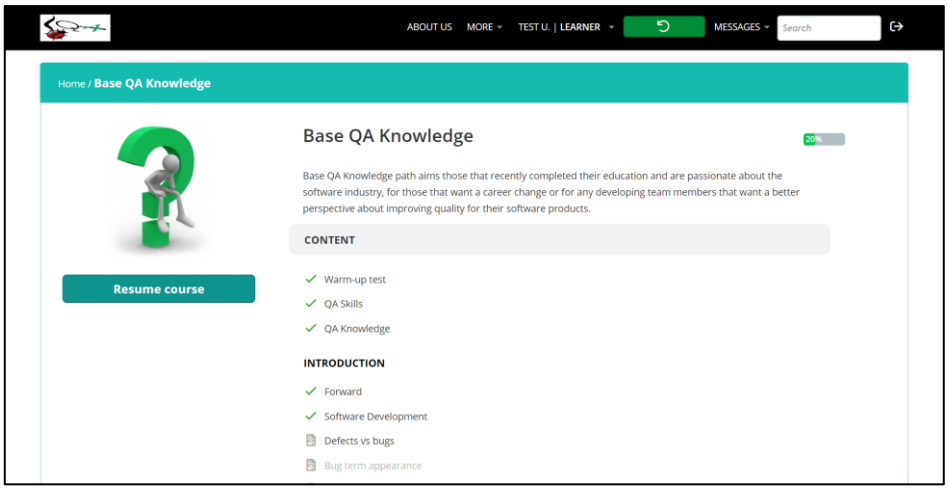


Fig. 4.10 *Aplicarea temei în contextul cursului „Base QA Knowledge”*

Ulterior am creat cursurile în baza unei analize a profilului unui inginer de testare software, întrucât produsul trebuie să se concentreze pe aceștia. Caracteristicile intrinseci absolut necesare desfășurării activităților zilnice în mediul de dezvoltare software au fost prezentate în detaliu și am creat un test de stabilire a aptitudinilor pe baza acestora, ce se regăsește în Anexa 4.

4.3. Principii generale în testarea software

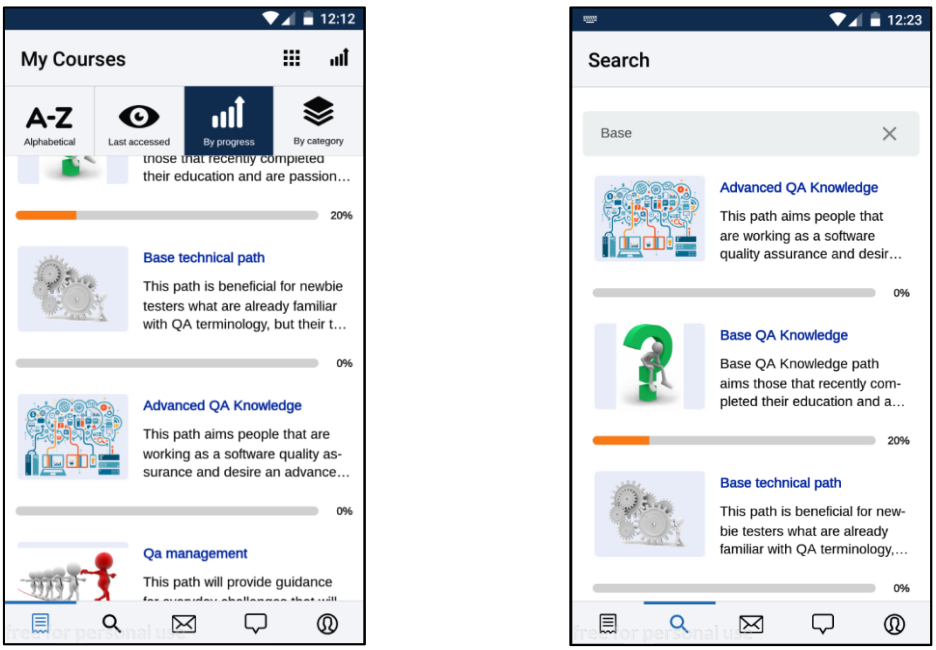
La baza reușitei procesului de testare stau o serie de metodologii și proceduri, dar și o serie de axiome (principii) ce au fost dezvoltate de-a lungul timpului dintr-o varietate de surse cu scopul prevenirii și eradicării defectelor și aglutinate de Ron Patton în „*Software Testing*”, una din lucrările de referință în domeniu [122]. Printre cele mai importante aspecte subliniate amintim faptul că testarea trebuie inițiată odată cu începerea proiectului, dar și că nu se poate efectua exhaustiv, întrucât lansarea produsul ar fi întârziată considerabil, iar pentru sisteme complexe aceasta poate produce un număr de scenarii de testare ce tinde la infinit.

4.4. Abordarea empirică privind testarea unui sistem informatic

În continuare am propus o abordare empirică de inițiere a verificării a priori urmăririi planului de testare ce se bazează pe experiența personală și pe tehnica testării exploratorii. Pentru aceasta din urmă se recomandă intervenția unui specialist neimplicat în proiect, care să urmeze fluxul logic al acțiunilor din cadrul aplicației în parcurgerea scenariilor și care să insiste în zonele susceptibile la defecte. Este impetuos necesară o bună organizare privind pașii de reproducere a cazului prezentat, cât și monitorizarea îndeaproape a evoluției remedierii problemei.

4.5. Testarea funcțională a unui sistem software

Ulterior am continuat cu prezentarea testelor de natură funcțională [8] care acoperă specificațiile stipulate în etapele anterioare, în conformitate cu planul de test realizat. Primele scenarii de test s-au concentrat pe asigurarea cerințelor principale precum posibilitatea accesării paginii principale, abilitatea de a se crea un cont și de a se conecta cu acesta, afișarea corespunzătoare a conținutului paginii de navigare în conformitate cu rolul asociat contului. Am continuat cu realizarea unei suite de teste pentru verificarea în profunzime a funcționalităților vitale precum alegerea traiectoriei de aprofundare, vizualizarea modulelor și a cursurilor și posibilitatea de a utiliza mesageria. În final am adresat o serie de scenarii pentru a controla nivelul de interoperabilitate a produsului software cu aplicația de mobil a platformei e-learning (fig. 4.18).



(a) (b)

Fig. 4.18 *Rezultatele obținute în urma cazului de test 10*

Am urmărit posibilitatea de conectare, acuratețea datelor aferente utilizatorului, nivelul de acces al informațiilor, parcurgerea corespunzătoare a modulelor, precum și funcții specifice aplicației de mobil precum descărcarea informațiilor pentru vizualizare fără conexiune la Internet, accesarea versiunii Web a cursurilor și invalidarea cache-ului. În urma testelor am făcut remedierile necesare și am declarat că sistemul este conform specificațiilor.

Capitolul 5. Validarea sistemului informatic

Organizația trebuie să se asigure că resursele pentru managementul și tratarea riscurilor sunt în mod continuu disponibile, pentru adresarea amenințărilor și vulnerabilităților noi sau în schimbare și pentru instruirea și informarea corectă a echipei de management. În acest sens am abordat în prezentul capitol validarea cerințelor non-funcționale, punând accent în prima parte pe caracteristica de securitate.

5.1. Probarea securității în baza analizei de risc

În încercarea de a proba securitatea sistemului informatic propus am inițiat analiza de risc a acestuia. În prima fază am analizat potențialele vulnerabilități la care poate fi supus un sistem, precum daune materiale, fenomene naturale, nefuncționarea serviciilor esențiale, compromiterea informațiilor și a funcțiilor sau acțiuni neautorizate [134]. Am continuat cu analiza atacurilor asupra sistemelor locale sau prin intermediul rețelei Internet și a motivelor pentru care un software poate fi vulnerabil [130]. De asemenea, am prezentat clasificarea atacatorilor în funcție de intențiile acestora, nivelul de cunoștințe și de impactul lor. Ulterior am prezentat următoarea etapă constitutivă a analizei și anume activitatea de tratare a riscului în cadrul procesului de management asociat, ce are drept scop tratarea acestuia prin reducerea, asumarea, evitarea sau transferul său, în funcție de context [134]. Totodată, am explicat de ce evaluarea riscului trebuie repetată periodic, cu scopul de a trata orice schimbare care poate influența rezultatele evaluării și de a asigura reducerea acestora la un nivel acceptabil. Am concluzionat analiza cu faptul că riscul cu potențial de apariție mai mare pentru cazul de față este reprezentat de defectele de programare ce nu acoperă validarea și sanitizarea solicitărilor.

Am continuat cu testarea efectivă a securității aplicată pentru produsul verificat a priori. Pentru aceasta, am concentrat scenariile de validare în zonele cu potențial ridicat de vulnerabilitate la erorile de programare în validarea datelor de intrare. Am fragmentat scenariile în două secțiuni complementare, manuale și automate, pentru a asigura securitatea din mai multe perspective. Ambele modalități de testare au avantaje și dezavantaje și sunt folosite în funcție de produs, de ceea ce se dorește a fi testat, de volum, de pregătirea inginerilor, de timpul și resursele disponibile. Automatizarea procesului de testare este dezirabilă în multe cazuri și poate genera numeroase beneficii atunci când randamentul investiției este considerabil și resursele o permit.

În cadrul testelor manuale am considerat modalități de injectare de tip SQL în cadrul formularului de conectare, dar și din contextul unui utilizator autentificat cu scopul de a obține informații dincolo de sfera permisiunilor acestuia. Apoi, din perspectiva unei conectări în prealabil, am încercat teste de manipulare a URL-ului. Adițional am formulat ipoteze de atac tip XSS (Cross-Site Scripting) [135] pentru formularul de conectare și pentru câmpurile de căutare din contextul autentificării. În urma verificărilor manuale nu s-au detectat vulnerabilități majore ale aplicației.

Pentru facilitarea testelor automate am apelat la soluțiile Vega și ZAP [138], ce au fost special concepute pentru validarea securității înainte de distribuirea produselor

către utilizatorii finali. Acestea identifică vulnerabilitățile prin scanarea și încercarea în baza unei liste predefinite de probleme cunoscute, majoritatea fiind incluse de OWASP, organizația cu aportul cel mai însemnat în prevenirea atacurilor de securitate. În urma analizelor generate de utilizarea acestora nu am constatat vulnerabilități critice sau majore. Totuși au fost descoperite o serie de impedimente sau informări cu potențial de impact scăzut, precum absența unor token-uri anti-CSRF (Cross-Site Request Forgery) sau a unor headere ce definesc tipurile de conținut acceptate, sau setarea necorespunzătoare a cookie-urilor. Dintre acestea, vulnerabilitatea cu cel mai mare potențial de impact este cea din urmă, adică absența *flag*-ului de securitate din 40 de cookie-uri.

În baza rezultatelor testelor de securitate, dar și în baza analizelor mediului arhitectural și de risc, am declarat starea curentă a sistemului informatic analizat ca fiind una sigură, atât din punct de vedere hardware (fizic) prin prisma faptului că serverele sunt într-o locație sigură cu sisteme ce minimizează riscurile, cât și software, considerând serviciile care asigură structura (API, baze de date) și absența vulnerabilităților critice sau majore.

5.2. Testarea de uzabilitate

În cadrul testării de uzabilitate am urmărit dacă produsul este potrivit pentru utilizarea în scopul pentru care a fost creat. În acest sens am propus o metodă de eficientizare a testării responsivității și compatibilității, ce s-a conturat în urma analizei traficului de date provenit de la dispozitivele mobile la nivel mondial [143]. În concordanță cu aceasta, am determinat tipurile și versiunile de browsere utilizate și am selectat șapte dintre cele mai relevante. Am corelat apoi aceste rezultate cu sistemele de operare pentru care sunt disponibile și am obținut necesitatea a 12 suite de teste pentru a acoperi majoritatea utilizatorilor de mobil. Pentru a augmenta relevanța testării, am ales un număr de șase modele de dispozitive mobile care să acopere cele mai des folosite rezoluții și care să concorde cu selecția anterioară de suite. În continuare am propus o selecție de trei instrumente auxiliare care facilitează acest tip de testare [92]. Modulul dedicat responsivității integrat în browserul Chrome este recomandat pentru testarea în timpul dezvoltării, pentru a identifica potențiale defecte din timp, dar pentru validarea finală este mult mai potrivită utilizarea unei aplicații care oferă mașini virtuale mobile, Genymotion, întrucât virtualizarea resurselor și modulul de alterare a conexiunii la Internet oferă rezultate reale și relevante. De asemenea, am selectat un instrument, Uptime [147], care validează viteza de încărcare a conținutului în funcție de tipul resursei, precum și responsivitatea în ansamblul ei. În urma utilizării instrumentelor am identificat o serie de probleme de încadrare a imaginilor folosite, dar și valori ridicate ale timpului de încărcare a resurselor tip poză, defecte ce au fost rectificate.

Capitolul 6. Concluzii

Capitolul prezintă principalele aspecte abordate în cadrul tezei de doctorat și sintetizează atât rezultatele obținute, precum și contribuțiile originale. De asemenea, sunt prezentate lucrările elaborate și publicate pe parcursul stagiului doctoral și sunt identificate posibile direcții ulterioare de dezvoltare a cercetării de față.

6.1. Rezultate obținute

Prezentăm în această secțiune rezultatele obținute pe parcursul stagiului doctoral și detaliate în capitolele lucrării.

În **Capitolul 2** sunt parcurse etapele inițiale în dezvoltarea unui produs software: identificarea problematicii adresate, categoria de utilizatori vizată, fezabilitatea soluției propuse, obiectivele principale și modelul favorabil de dezvoltare.

Am realizat o analiză cvasi-exhaustivă a furnizorilor actuali de informație în domeniul testării software, atât din sfera academică, cât și din mediul online, evidențiind carențele particulare. Analiza in extenso a fost efectuată asupra a 17 universități din 12 centre universitare selectate pe criterii de relevanță în domeniu. Concluzia obținută în urma acestei cercetări a fost că diversitatea subiectelor abordate și aplicabilitatea noțiunilor teoretice suferă deficiențe majore. În continuare am studiat alternativele educaționale din mediul online și am prezentat calitățile și defectele acestora comparativ cu oportunitățile academice, prin intermediul unei analize SWOT. Aceasta a conturat necesitatea unei soluții adiacente care să surclaseze prin flexibilitate și prin calitatea conținutului.

Am realizat un studiu de piață cu ajutorul unui chestionar la care au răspuns un număr de 374 de specialiști și aspiranți în domeniul studiat. În urma centralizării și analizării rezultatelor, am deliberat că problema este una actuală, iar soluția propusă este fezabilă și am selectat cerințele din partea respondenților. Am construit Casa Calității ca suport grafic pentru analiza QFD, în cadrul căreia am propus o serie de funcționalități pentru dezvoltarea ulterioară. În concordanță cu cerințele anterior selectate, am conturat scopul și obiectivele platformei e-learning.

Secțiunea secundară din prezentul capitol își propune alegerea metodologiei de dezvoltare optime pentru proiectul selectat. Am prezentat în primă instanță abordările Agile, precum și cele tradiționale, continuând cu expunerea comparativă a acestora. Am ajuns la concluzia că pentru un proiect software de dimensiuni medii încadrat pe o perioadă de timp delimitată, cea mai viabilă opțiune este reprezentată de modelul Iterativ - Incremental. Pentru validarea concluziei am realizat o analiză SWOT care a relevat faptul că acesta suportă îmbunătățiri pentru partea de planificare a activităților și de validare conform cu cerințele utilizatorilor. Pentru soluționarea acestor carențe am elaborat o propunere de îmbunătățire a modelului IID, care specifică o alocare de 25-30% din totalul proiectului pentru etapa de planificare, existența unei echipe autonome și interdisciplinare ce pune accent pe colaborare, granularizarea funcționalităților complexe, precum și inserarea procedurilor necesare implementării. Adițional, am emis o propunere

de echipă sustenabilă prin prisma componenței constitutive, care să asigure dezvoltarea, într-un interval de timp optimizat, a unei interfețe Web, cât și a structurii de servicii Web și a tranzacțiilor bazelor de date, pe fondul soluțiilor oferite de un specialist în arhitectură software în coroborare cu un analist de business. De asemenea, este prezentată și contribuția inginerilor de asigurare a calității la definitivarea unui produs fiabil, care să respecte cerințele de natură funcțională și care să satisfacă nevoile utilizatorilor finali.

În **Capitolul 3** se prezintă modalități de construire calitativă a unui produs cu ajutorul diagramei Gantt, al normativelor și standardelor de securitate în domeniu, dar și al metodologiei necesare de structurare a activităților de testare. În primă instanță am realizat diagrama tranzițiilor de stări care acoperă privilegiile de acces în cadrul aplicației din perspectiva celor trei tipuri distincte de utilizatori (student, instructor și administrator), precum și aspectele de natură funcțională stabilite în urma analizei QFD. Am continuat cu construcția diagramei Gantt pentru o mai bună percepție a efortului implicat pentru dezvoltarea soluției. Cu scopul facilitării unui nivel ridicat de securitate pentru produsul propus, am analizat standardele (ISO 27002, ISO 27001), legislația europeană (GDPR) și ghiduri de normative practice și am selectat caracteristicile esențiale stipulate pentru aplicarea lor în cadrul următoarelor etape.

Adițional am elaborat sugestii de construire a unui plan de test bazat pe tehnica adaptată produsului ce se dorește a fi testat, în baza cărora am creat planul de verificare și validare în cadrul proiectului propus. În continuare s-au subliniat perspectivele de îmbunătățire a securității și uzabilității produsului finit. Apoi am realizat calculul fiabilității produsului finit în etapa de proiectare prin intermediul analizei FTA aferente. Am concluzionat că produsul prezintă potențial de îmbunătățire atât pe ramura de software, cât și pe cea hardware. Modificările necesare implică utilizarea unei soluții de tip cloud computing, oferită de Amazon, precum și abordarea dezvoltării platformei în cadrul unui LMS (Learning Management System). Am conchis această etapă cu realizarea analizei mediului arhitectural pentru a valida îmbunătățirile menționate și pentru a asigura funcționalitățile stabilite în scopul inițial.

Capitolul 4 se adresează etapelor de implementare și verificare din ciclul de viață al unui produs software. În primă instanță se prezintă taxonomia defectelor și modalități de prevenție individualizate, apoi se evidențiază demersurile care au fost făcute pentru inițializarea dezvoltării aplicației e-learning și construirea unitară a interfeței ce oferă suport tuturor modulelor de aprofundare. Ulterior am elaborat cursurile în conformitate cu studiul profilului unui inginer de asigurare a calității și am ierarhizat conținutul acestora în funcție de nivelul tehnic implicat.

Am prezentat principiile generale în baza cărora trebuie să se desfășoare orice activitate de testare. Am propus o abordare bazată pe experiență și pe testarea de tip exploratorie pentru eficientizarea identificării și soluționării problemelor ce pot surveni. Pentru testarea din punct de vedere funcțional a sistemului apriori menționat, s-a asigurat că produsul corespunde în profunzime specificațiilor stabilite în etapele anterioare printr-o suită de cazuri de test. De asemenea, am verificat interoperabilitatea platformei propuse cu aplicația de mobil existentă prin intermediul scenariilor ce adresează funcționalități specifice dispozitivelor mobile.

În cadrul **Capitolului 5** este abordată problematica validării la nivel non-funcțional a sistemelor informatice. Am prezentat modalități de stabilire a nivelului de securitate a unui produs software prin intermediul analizei de risc a surselor de vulnerabilitate și a impactului asociat. De asemenea, am prezentat tipurile de atacuri și de atacatori de considerat în cadrul unei analize de acest tip. Am exemplificat validările din punctul de vedere al securității pentru aplicația e-learning concepută, atât prin procedee de testare manuală, cât și cu ajutorul instrumentelor specializate Vega și ZAP. Acestea din urmă execută scanări și încercări de exploatare a vulnerabilităților în baza unor liste cu probleme întâlnite în cadrul platformelor Web. Am concluzionat în urma analizei că nivelul de securitate al platformei este unul ridicat întrucât nivelul cel mai mare al vulnerabilităților identificate a fost minor, iar mediul arhitectural este unul stabil.

De asemenea, am propus modalități de eficientizare a testării uzabilității prin intermediul unei selecții a dispozitivelor relevante în raport cu utilizarea traficului mobil de date la nivel mondial, dar și cu rezoluția asociată. Adițional, am prezentat instrumentele auxiliare prin intermediul cărora testarea uzabilității este mai facilă și oferă rezultate pertinente. În urma utilizării lor am identificat o serie de defecte care au fost remediate ulterior.

6.2. Contribuții originale

Contribuțiile originale sunt enumerate în manieră sintetizată, ordonate după prezența în cadrul capitolelor, după cum urmează:

1. Am analizat în mod cvasi-exhaustiv opțiunile oferite de sistemul educațional public din România privind instruirea în domeniul asigurării calității software atât la nivelul studiilor de licență, cât și al celor de masterat, și am identificat carențele acestuia în a oferi suportul teoretic și acoperirea geografică necesară pentru formarea experților în domeniul asigurării calității sistemelor informatice.

2. Am continuat cu realizarea unei analize SWOT ce cuprinde atât opțiunile academice, cât și alternativele oferite de ISTQB și de mediul online cu privire la obținerea informațiilor necesare unei cariere în domeniul studiat. Am concluzionat analiza cu mențiunea că noțiunile practice nu fac obiectul niciuneia dintre opțiuni, iar maniera de prezentare este de multe ori deficitară.

3. În baza rezultatelor analizei SWOT am conturat ipoteza creării unei platforme tip e-learning care să rezolve deficiențele soluțiilor actuale prin oferirea unei surse de informare flexibile, cu conținut veridic și prezentat într-o manieră ușor de asimilat. În acest sens am construit un sondaj cu scopul de a studia fezabilitatea și de a confirma necesitatea unei astfel de soluții. Acesta conține un număr de 9 întrebări relevante pentru scopul său: șapte întrebări cu răspuns obligatoriu și două opționale. Ulterior am analizat rezultatele obținute și am conturat exigențele aferente fiecărui nivel de competență, veridicitatea rezultatelor fiind susținută de valoarea obținută la întrebarea de control a sondajului [E2].

4. Datorită faptului că ipoteza necesității unei soluții adiacente care să rezolve problemele actuale ale persoanelor care vor să își extindă nivelul de cunoștințe s-a dovedit

a fi viabilă, am persistat cu o analiză QFD facilitată de Casa Calității, în cadrul căreia am utilizat rezultatele obținute la studiul anterior pentru stabilirea cerințelor utilizatorilor și coeficientul de impact al acestora [E2]. Ulterior am constituit matricea specificațiilor tehnice în baza strategiei de dezvoltare a unei aplicații cu un fundament tehnic solid și flexibil, cu o modalitate consistentă și condensată de prezentare a noțiunilor.

5. Am analizat comparativ metodologiile existente, specificând aplicabilitatea acestora în funcție de tipul proiectului în care se dorește abordarea și subliniind avantajele și dezavantajele care pot să survină în urma uzitării acestora [E1][B2].

6. În urma examinării, am propus o modalitate de optimizare privind metodologia și procesele de dezvoltare pentru aplicații Web [B5]. Aceasta a fost construită atât în baza cunoștințelor teoretice deținute în domeniul de aprofundare, precum și în baza experienței activității profesionale până în prezent. Modelul abordează atât modalitățile de segmentare a dezvoltării, modul de funcționare și structura echipei, maniera de alocare a timpului de planificare și dezvoltare, precum și procesele necesare activităților curente.

7. În continuare am recomandat un model de echipă sustenabilă pentru desfășurarea proiectelor de dezvoltare a produselor Web complexe [C5]. Aceasta se bazează pe multidisciplinaritate, egalitate în puterea de decizie și îndatoriri, definirea clară a rolurilor, precum și o bună comunicare și partajare de cunoștințe.

8. Am analizat diagrama de tranziție a stărilor în cadrul propunerii de aplicație e-learning în concordanță cu rezultatele analizei QFD. Aceasta se concentrează pe trei niveluri de acces: administrator, instructor, student, dar și pe acțiunile disponibile în funcție de rolul acestora. Pentru parcurgerea modulelor de către student s-a conturat o diagramă de flux, în funcție de nivelul de cunoștințe dobândit. În continuare am construit diagrama Gantt centrată pe etapele procesului de dezvoltare adaptat modulelor de învățare.

9. Am studiat atât standardele, cât și ghidurile de bune practici privind securitatea Web și am identificat amendamentele necesare realizării unui produs software sigur și în conformitate cu legislația europeană în vigoare [A1][A3].

10. Am comparat tehnicile de testare în concordanță cu nivelul asupra căruia se aplică verificarea și am sugerat abordarea tehnicii rezultate din interpolarea soluțiilor uzuale [E4].

11. Am elaborat un ghid de normative practice pentru realizarea unui plan de testare care să asigure o acoperire cât mai mare a produsului supus testării, prioritizând testele corespunzătoare funcționalităților utilizate și facilitând reducerea timpului de livrare a produsului [E4].

12. Am propus soluții de îmbunătățire atât a securității [A1][A3][C2], cât și a uzabilității [B1][C1] încă din etapa de realizare a proiectului pentru a evita propagarea defectelor și a minimiza costurile aferente remedierii acestora. Acestea se referă la securitatea mediului arhitectural și a aplicației.

13. Pornind de la ipoteza unui sistem informatic construit de la zero, am realizat analiza FTA cu scopul determinării probabilității de apariție a incapacității de funcționare sau limitarea accesului la platforma e-learning [B6]. Am considerat atât cauze de natură software, cât și hardware, la nivelul utilizatorului, precum și al sistemului informatic

analizat. În urma rezultatelor nefavorabile, am propus două soluții de îmbunătățire a prototipului, obținând o fiabilitate totală mult mai mare.

14. În baza modificărilor abordate pentru modelarea fiabilității, am realizat un studiu al mediului arhitectural atât din punct de vedere hardware, cât și al soluțiilor care constituie structura tehnică pentru platforma e-learning propusă.

15. Am prezentat taxonomia defectelor și am propus măsuri de prevenție pentru fiecare dintre categorii. Acestea sunt direct dependente de etapa dezvoltării în care sunt introduse și de măsura în care pot impacta produsul finit.

16. Am aplicat recomandările de securitate identificate în urma analizei ghidurilor de dezvoltare a unei aplicații Web și a legislației europene în domeniu, în etapa de inițializare a proiectului [A1][A2][A3].

17. Am construit unitar structura pe care vor fi elaborate și afișate modulele de aprofundare [E3]. Pentru aceasta s-au avut în vedere aplicarea recomandărilor de îmbunătățire a uzabilității aferente acestei etape, am ales o schemă de culori care să stimuleze concentrarea și să nu distragă utilizatorul de la procesul de asimilare a informațiilor și am aplicat stiluri într-o manieră coerentă și reprezentativă fiecărui mesaj destinat acestuia.

18. Am elaborat profilul unui inginer responsabil cu asigurarea calității în conformitate cu caracteristicile intrinseci pe care acesta trebuie să le dețină. Cu scopul de a determina dacă un utilizator deține sau nu aptitudinile necesare activării în domeniul studiat, am elaborat un test cu 19 întrebări, detaliate în Anexa 4.

19. Am conceput modulele de cunoaștere și aprofundare a domeniului în baza necesităților beneficiarilor finali obținute în cadrul analizei QFD. Acestea au fost segmentate în două traiectorii principale, tehnică și de asigurare a calității. Ambele conțin noțiuni care acoperă toate nivelurile de cunoaștere și sunt prezentate într-o manieră asistată de exemple practice și de întrebări de verificare a asimilării noțiunilor.

20. Am prezentat modalitatea de abordare a testării din prisma experienței înainte de etapa de verificare conform cu lista funcționalităților. Aceasta evidențiază o serie de probleme care pot împiedica ulterior procesul de testare și reduce eventualele întârzieri survenite de soluționarea lor.

21. Am gândit o serie de cazuri de testare care să asigure funcționarea cerințelor principale din perspectiva rolului de student. Acestea adresează posibilitatea de accesare a paginii, de a crea un utilizator nou în baza unei configurări predefinite, precum și capacitatea de vizualizare a cursurilor din catalogul dedicat.

22. De asemenea, am structurat prin intermediul a două suite de testare verificările ce asigură acoperirea funcționalităților principale din cadrul platformei. Conformitatea mecanismului de parcurgere a modulelor în modul read-only pentru studenți și de administrare a acestora în modul read-write pentru instructori, precum și a celui de mesagerie, au fost confirmate de scenariile realizate.

23. Am efectuat controlul interoperabilității platformei cu aplicația de mobil pentru a asigura fiabilitatea și flexibilitatea soluției [B1][C1]. Acesta a fost efectuat și în baza analizei versiunilor de sisteme de operare mobile utilizate la nivel mondial pentru selecția dispozitivelor utilizate cel mai des.

24. Am studiat etapele realizării unei analize de risc pentru determinarea vulnerabilităților de securitate la care poate fi expus sistemul informatic propus și pentru a determina potențialele zone de soluționare a acestora [C6].

25. Am stabilit starea curentă din punctul de vedere al securității prin intermediul scenariilor de validare atât manuală, cât și automatizată, facilitată de instrumente specifice. Pentru conceperea acestor cazuri de testare au fost studiate topul atacurilor de securitate, precum și ghiduri de concentrare a testării pe zona de securitate [C3][C4].

26. Am propus o soluție de eficientizare a testării responsivității și compatibilității platformelor Web augmentată de studiul surselor traficului mobil de date la nivel mondial. Aceasta este completată de selecția instrumentelor auxiliare care oferă rezultate relevante pentru stabilirea nivelului de uzabilitate a unei aplicații Web [E5].

6.3. Lista lucrărilor

Cercetările care au condus la finalizarea prezentei teze de doctorat se regăsesc în seria de lucrări publicate (în calitate de autor sau co-autor) în reviste indexate BDI sau volumele conferințelor științifice internaționale: „Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI" (2017, 2018), „International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering - ATEE" (2017), „eLearning and Software for Education Conference - eLSE" (2017), „Calitate și Siguranță în Funcționare" (2016, 2018).

6.3.1. Articole științifice în publicații indexate ISI

[A1] S.D. Axinte, G. Petrică, I.C. Bacivarov, *GDPR impact on company management and processed data*, Quality - Access to Success, Vol. 19, No. 165, 2018, pp. 150-153, ISSN 1582-2559, WOS: 000450328700020.

[A2] G. Petrică, I.D. Barbu, **S.D. Axinte**, I.C. Bacivarov, I.C. Mihai, *E-learning platforms identity using digital certificates*, Proc. of the 13th International Scientific Conference "eLearning and Software for Education" Bucharest, 2017, Vol. 3, pp. 366-373, doi: 10.12753/2066-026X-17-228.

[A3] I.D. Barbu, G. Petrică, **S.D. Axinte**, I.C. Bacivarov, *Analyzing cyber threat actors of e-learning platforms by the use of a cloud based honeynet*, Proc. of the 13th International Scientific Conference "eLearning and Software for Education", Bucharest, 2017, Vol. 3, pp. 352-357, doi: 10.12753/2066-026X-17-226.

6.3.2. Articole științifice în publicații indexate IEEE

[B1] S.D. Axinte, I.C. Bacivarov, *Improving the quality of Web applications through targeted usability enhancements*, 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI 2018, 28 - 30 June 2018, Iași, România, doi: 10.1109/ECAI.2018.8679098, WOS: 000467734100167, Electronic ISBN: 978-1-5386-4901-5.

[B2] S.D. Axinte, G. Petrică, I.D. Barbu, *Managing a software development project complying with PRINCE2 standard*, 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI 2017, pp. 176-181, ISBN: 978-1-5090-6458-8, ISSN: 2378-7147, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166435, WOS: 000425865900051.
[B3] G. Petrică, **S.D. Axinte**, I.C. Bacivarov, I.C. Mihai, M. Firoiu, *Studying cyber security threats to Web platforms using Attack Tree diagrams*, 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI 2017, pp. 154-159, ISBN: 978-1-5090-6458-8, ISSN: 2378-7147, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166456, WOS: 000425865900072.
[B4] I.D. Barbu, C. Pascariu, I.C. Bacivarov, **S.D. Axinte**, M. Firoiu, *Intruder monitoring system for local networks using Python*, Proceedings of the 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI 2017, pp. 182-185, ISBN: 978-1-5090-6458-8, ISSN: 2378-7147, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166457, WOS: 000425865900073.
[B5] S.D. Axinte, G. Petrică, I.D. Barbu, *E-learning platform development model*, The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, 2017, pp. 687-692, doi: 10.1109/ATEE.2017.7905126, WOS: 000403399400134.
[B6] G. Petrică, I.D. Barbu, **S.D. Axinte**, C. Pascariu, *Reliability analysis of a Web server by FTA method*, The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, 2017, pp. 683-686, doi: 10.1109/ATEE.2017.7905101, WOS: 000403399400133.

6.3.3. Articole științifice în publicații indexate BDI

[C1] S.D. Axinte, I.C. Bacivarov, *Enhancing the quality of a Web application through responsive design*, Proceedings of the 16th International Conference on Quality and Dependability, Sinaia, Romania, September 26th-28th, 2018, pp. 196-200, ISSN 1842-3566.
[C2] S.D. Axinte, G. Petrică, I.C. Bacivarov, *Study on the security of e-learning platforms*, Asigurarea Calitatii - Quality Assurance, Vol. XXIV, Issue 95, July-September 2018, pp. 26-28, ISSN 1224-5410.
[C3] G. Petrică, **S.D. Axinte**, I.C. Bacivarov, *SSL digital certificates analysis*, Asigurarea Calitatii - Quality Assurance, Vol. XXIV, Issue 93 (January-March 2018), pp. 22-27, ISSN 1224-5410.
[C4] S.D. Axinte, G. Petrică, I.C. Bacivarov, *Browsers cookies - an (in)security analysis*, IJISC - International Journal of Information Security and Cybercrime, vol. VI, no. 2 (December 2017), pp. 23-26, ISSN 2285-9225, doi: 10.19107/IJISC.2017.02.03.
[C5] S.D. Axinte, I.C. Bacivarov, *Maintenance testing of a software product*, Proceedings of the 15th International Conference on Quality and Dependability, Sinaia, Romania, 2016, September 14th-16th, 2016, pp. 237-243, ISSN 1842-3566.

[C6] S.D. Axinte, *Security challenges for software development companies*, IJISC - International Journal of Information Security and Cybercrime, vol. V, no. 2, 2016, pp. 9-16, ISSN 2285-9225.

6.3.4. Alte lucrări publicate

Carte:
[**D1**] G. Petrică, **S.D. Axinte**, I.C. Bacivarov, *Dependabilitatea sistemelor informatice*, Matrix Rom, 2019, ISBN 978-606-25-0529-5.

Articol:
[**D2**] G. Petrică, **S.D. Axinte**, *A comparative study on security of e-learning platforms in the Romanian academic field*, Considerations on challenges and future directions in cybersecurity, I.C. Mihai, C. Ciuchi, G. Petrică (editors), Sitech, 2019, pp. 19-26, ISBN 978-606-11-7004-3, eISBN 978-606-11-7005-0.

6.3.5. Rapoarte științifice pe parcursul stagiului de doctorat

[E1] Raportul științific nr. 1/2016, *Analiza modelelor de dezvoltare software.*
[E2] Raportul științific nr. 2/2016, *Colectarea și analiza cerințelor de business. Transformarea conceptelor în specificații tehnice pentru un produs software.*
[E3] Raportul științific nr. 3/2017, *Studiu analitic privind tehnologiile adecvate proiectării și implementării unei platforme Web.*
[E4] Raportul științific nr. 4/2017, *Structurarea activităților de verificare și validare. Elaborarea planului de testare ca etapă în managementul calității unui produs software.*
[E5] Raportul științific nr. 5/2018, *Testarea comportamentală a unei aplicații Web în conformitate cu cerințele non-funcționale.*

Bibliografie selectivă

[1] W.A. Shewhart, Economic control of quality of manufactured product, Van Nostrand Company, 1931.

[8] R. Black, E. Van Veenendaal, D. Graham, Foundations of Software Testing: ISTQB Certification, 3rd Edition, 2012.

[30] First Instance of Actual Computer Bug Being Found, Computer History Museum, https://www.computerhistory.org/tdih/september/9.

[41] Ministerul Educației Naționale, Raport privind starea învățământului superior în România, 2016, https://www.edu.ro/sites/default/files/_fișiere/Minister/2017/transparenta/Stare_sup%20%202016.pdf.

[50] J.B. ReVelle, J.W. Moran, C.A. Cox, The QFD Handbook, Wiley, 1998.

[52] Agile Scrum Web Development, https://www.neonrain.com/agile-scrum-Web-development/.

[53] C. Gao, G.C. Hembroff, Implications of modified waterfall model to the roles and education of health IT professionals, DOI:10.1109/NOMS.2012.6212076, https://www.semanticscholar.org/paper/Implications-of-modified-waterfall-model-to-the-and-Gao-Hembroff/6ad11aed72ff31c0dbdaf8b9123b28b9bef422b7.

[55] S.D. Axinte, G. Petrică, I.D. Barbu, E-learning platform development model, The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, 2017, pp. 687-692, doi: 10.1109/ATEE.2017.7905126, WOS: 000403399400134.

[57] S.D. Axinte, G. Petrică, I.D. Barbu, Managing a software development project complying with PRINCE2 standard, 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI 2017, pp. 176-181, ISBN: 978-1-5090-6458-8, ISSN: 2378-7147, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166435, WOS: 000425865900051.

[59] S.D. Axinte, I.C. Bacivarov, Maintenance testing of a software product, Proceedings of the 15th International Conference on Quality and Dependability, Sinaia, Romania, 2016, September 14th-16th, 2016, pp. 237-243, ISSN 1842-3566.

[62] ISO/IEC 27002:2013 Information technology - Security techniques - Code of practice for information security controls, https://www.iso.org/standard/54533.html.

[64] ISO 27001:2013 - interpretarea în limba română.

[65] EUR-Lex - Access to European Union law, Directive (EU) 2016/680 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data by competent authorities for the purposes of the prevention, investigation, detection or prosecution of criminal offences or the execution of criminal penalties, and on the free movement of such data, and repealing Council Framework Decision 2008/977/JHA, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016L0680.

[66] S.D. Axinte, G. Petrică, I.C. Bacivarov, GDPR impact on company management and processed data, Quality - Access to Success, Vol. 19, No. 165, 2018, pp. 150-153, ISSN 1582-2559, WOS: 000450328700020.

[69] S.K. White, What is COBIT? A framework for alignment and governance, 2019, https://www.cio.com/article/3243684/what-is-cobit-a-framework-for-alignment-and-governance.html.
[70] ITIL® Foundation, ITIL 4 edition, AXELOS, 2019.
[73] A. Spillner, T. Linz, H. Schaefer, Software Testing Foundation - A Study Guide for the Certified Tester Exam, 4th Edition, 2014.
[75] IEEE 29119-5-2016 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Software and systems engineering -- Software testing -- Part 5: Keyword-Driven Testing, https://standards.ieee.org/standard/29119-5-2016.html.
[76] IEEE 12207-2017 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering -- Software life cycle processes, https://standards.ieee.org/standard/12207-2017.html.
[77] V. Cătuneanu, A. Bacivarov, Structuri electronice de înaltă fiabilitate. Toleranța la defectări, Editura Militară, Bucureşti, 1989.
[78] C. Jones, Applied Software Measurement: Global Analysis of Productivity and Quality, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2008, ISBN 978-0071502443.
[82] D. Peters, Product Managers, do you know how much your bugs cost?, https://deanondelivery.com/product-managers-do-you-know-how-much-your-bugs-cost-72b6e36e7684.
[89] S.D. Axinte, G. Petrică, I.C. Bacivarov, Study on the security of e-learning platforms, Asigurarea Calității - Quality Assurance, Vol. XXIV, Issue 95, July-September 2018, pp. 26-28, ISSN 1224-5410.
[92] S.D. Axinte, I.C. Bacivarov, Enhancing the quality of a Web application through responsive design, Proceedings of the 16th International Conference on Quality and Dependability, Sinaia, Romania, September 26th-28th, 2018, pp. 196-200, ISSN 1842-3566.
[93] S.D. Axinte, I.C. Bacivarov, Improving the quality of Web applications through targeted usability enhancements, 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI 2018, 28 - 30 June 2018, Iași, România, doi: 10.1109/ECAI.2018.8679098, WOS: 000467734100167, Electronic ISBN: 978-1-5386-4901-5.
[94] G. Petrică, I.D. Barbu, S.D. Axinte, C. Pascariu, Reliability analysis of a Web server by FTA method, The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, 2017, pp. 683-686, doi: 10.1109/ATEE.2017.7905101, WOS: 000403399400133.
[95] V.M. Cătuneanu, I.C. Bacivarov, Fiabilitatea sistemelor de telecomunicații, Ed. Militară, București, 1985.
[98] M. Bach, Most Reliable PC Hardware of 2016, https://www.pugetsystems.com/labs/articles/Most-Reliable-PC-Hardware-of-2016-872.
[99] A. Klein, Hard Drive Stats for Q2 2016, https://www.backblaze.com/blog/hard-drive-failure-rates-q2-2016/.
[101] Amazon Web Services (AWS) - Cloud Computing Services, https://aws.amazon.com.

[107] TalentLMS: Cloud LMS Software - #1 Online Learning Platform, https://www.talentlms.com.
[112] Amazon Data Centers, https://aws.amazon.com/compliance/data-center/controls/.
[113] GDPR Compliant eLearning Software - TalentLMS, https://www.talentlms.com/gdpr/.
[122] R. Patton, Software Testing, Sams Publishing, 2005, ISBN 978-0672327988.
[130] Positive Technologies, Web application vulnerabilities: statistics for 2018, https://www.ptsecurity.com/ww-en/analytics/web-application-vulnerabilities-statistics-2019/.
[134] ISO/IEC 27005:2011.
[135] OWASP Testing Guide v4, https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Testing_Guide_v4_Table_of_Contents.
[138] OWASP ZAP, https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Zed_Attack_Proxy_Project.
[143] Mobile & Tablet Browser Market Share Worldwide, Nov 2018 - Oct 2019, https://gs.statcounter.com/browser-market-share/mobile-tablet/worldwide/#monthly-201811-201910-bar.
[147] Uptime.com, Website Speed Test Result for qualityassurance.talentlms.com, https://uptime.com/freetools/website-speed-test/177990/qualityassurance.talentlms.com.