UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: [004.4.05 + 004.94] (043)

BERGMANN Ran

ASIGURAREA CALITĂȚII PROIECTELOR INFORMAȚIONALE

Specialitatea 121.03 – Programarea calculatoarelor

Autoreferatul tezei de doctor în informatică

CHIȘINĂU, 2020

Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului Informatică al Universității de Stat din Moldova.
Conducători științifici:

BRAGARU Tudor, Doctor în economie, Conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova.
CĂPĂȚÂNĂ Gheorghe, Doctor în științe tehnice, Profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

Referenți oficiali:

COSTAȘ Ilie, Doctor habilitat în informatică, Profesor universitar, Academia de Studii Economice a Moldovei.
BELDIGA Maria, Doctor în informatică, Conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

Componența Consiliului Științific Specializat:
1. ***PALADI Florentin,*** doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova.
2. ***GAINDRIC Constantin,*** Doctor habilitat în informatică, Profesor universitar, Membru Corespondent al Academiei de Științe a Moldovei, Institutul de Matematică și Informatică
3. ***PRISĂCARU Anatol,*** Doctor în științe fizico-matematice, Conferențiar universitar, Academia de Studii Economice a Moldovei
4. ***COJOCARU Igor,*** Doctor în informatică, Institutul de Dezvoltare a Societății Informaționale, Director
5. ***SIROTA Julia,*** Doctor în Luarea deciziilor, Carmel College, Israel
6. ***CIOBU Victor,*** Doctor în științe fizice, Conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova

Susținerea tezei va avea loc la **18 iunie 2020,** ora **14:00**, în ședința Consiliului Științific Specializat D 121.03-02 în cadrul Universității de Stat din Moldova (USM), str. A. Mateevici 60, blocul 4, sala 222 Chișinău, MD-2009, Republica Moldova.
Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Științifică a Universității de Stat din Moldova, pe pagina web a USM (http://usm.md) și pe pagina web ANACEC (www.cnaa.md).

Autoreferatul a fost expediat la **15 mai 2020.**

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat
CIOBU Victor, conf.univ., dr.

Conducători științifici:
BRAGARU Tudor, conf.univ., dr.

CĂPĂȚÂNĂ Gheorghe, prof.univ., dr.

Autor:

BERGMANN Ran

© BERGMANN Ran, 2020

MOLDOVA STATE UNIVERSITY

Presented as manuscript

U.D.C.: [004.4.05 + 004.94] (043)

BERGMANN Ran

PROVIDING QUALITY OF INFORMATION PROJECTS

Specialty 121.03 - Computer Programming

Abstract of the PhD Thesis in Computer Science

CHISINAU, 2020

I. REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și semnificația asigurării calității proiectelor informaționale (IPs)**.** În prezent, pe de o parte, persistă o cerere mare de proiecte de succes pentru Societatea Informațională bazată pe Cunoaștere (KBS), afaceri electronice (e-afaceri), e-economie etc., iar, pe de altă parte, avem un număr mare de proiecte eșuate. Calitatea IPs nu poate fi verificată/controlată doar la sfârșitul proiectului – aceasta ar trebui să fie construită și monitorizată de-lungul întreg ciclului de viață, de la concepere până la utilizare.

Indicele de dezvoltare al tehnologiei informației și comunicațiilor *(I&CT Development Index, IDI)* pentru Republica Moldova (RM) în 2017 a atins valoarea de 6.45, RM situându-se pe locul 59 din 170 de țări și pentru Israel a atins valoarea 7.88, statul ocupând locul 23. Pentru comparație, Islanda care ocupă primul loc, are valoarea indicelui IDI egală 8.98 [1]. IDI este un indice complex, care combină 11 indicatori clasificați în trei grupe și reflectă *Nivelul de acces la I&CT, Utilizarea I&CT, Capacitatea și abilitățile I&CT,* necesare pentru utilizarea eficientă a I&CT în societate.

Ponderea sectorului I&CT în produsul intern brut (PIB) al RM în 2017 și 2018 a fost de cca 9% [2]. Pentru comparație, în 2017 ponderea I&CT în PIB Rusia a fost de 3%; în Coreea de Sud – 12%, în Polonia – 6.06%, în Germania – 8.15%, în Cehia – 8.43%, în Franța – 7.33%. În ianuarie 2019, a devenit cunoscut faptul că companiile private de tehnologie din Israel, care constituie principalul motor al economiei țării, în 2018 au realizat investiții-record de 6.47 miliarde de dolari. Aceasta este cu 17% mai mult decât un an mai devreme [3]. Evoluția tehnologiei informației continuă să afecteze în mod semnificativ mediul de afaceri și demonstrează necesitatea furnizării de calitate în proiectele informaționale. *I&CT schimbă practicile comerciale, reduce costurile și modifică modalitățile în care sistemele ar trebui controlate*. În plus, conform ISACA *(https://www.isaca.org/)*, tehnologia joacă un rol-cheie în aceste acțiuni, deoarece devine omniprezentă în toate aspectele vieții de afaceri și celei personale. Totodată, I&CT necesită un nivel ridicat de cunoștințe și abilități necesare pentru controlul și auditul sistemelor informaționale și crește necesitatea în profesioniști bine educați în domeniile de guvernanță, asigurare a calității/securității și controlului sistemelor informaționale (IS) [4].

I&CT și software-ul au devenit componente importante ale multor sfere de viață, deoarece sunt utilizate în toate domeniile activităților umane, precum educație, industrie, servicii, management etc. Deseori, I&CT și sistemele software au o influență majoră nu doar asupra eficienței managementului și producerii. I&CT ci, de asemenea, influențează mult și viața oamenilor. De exemplu, I&CT este utilizat în mod activ în medicină, incluzând implantarea masivă de cipuri la ființe umane.

Relevanța, importanța problemei abordate în teză și starea problemei. Chiar dacă importanța și impactul major al I&CT sunt global recunoscute, **astăzi încă persistă performanțele slabe ale IPs***: doar 32% din proiectele software au succes [5], alte 68% sunt contestate sau eșuate*. Raportul PMI *„Pulse of the Profession 2017"* a arătat o ușoară îmbunătățire dar, în linii mari, statisticile dezvăluie o poveste șocantă. Proiectele eșuate constituie peste 30%. Pierderea medie a bugetului companiilor pentru proiecte cu performanță slabă este de cca 46%. Peste 34% dintre proiecte nu corespund planificării [6]. Acest lucru a condus la faptul că managementul calității în dezvoltarea de software în prezent este recunoscut de către ISO, ISACA, IEEE, PMI etc. ca o disciplină importantă, alături de ingineria software.

Scopul principal al cercetării este furnizarea calității în proiectele informaționale, având în vedere *cerințele de calitate înaltă la costuri reduse, tendințele de standardizare și tendințele moderne Agile de dezvoltare software*.

Dar contextele organizațiilor și caracteristicilor de calitate sunt foarte diferite pentru diferite tipuri de organizații/proiecte/sisteme informaționale. De exemplu, o bază de date diferă mult de un site Internet și, în consecință, caracteristicile calității acestora sunt diferite. Construirea unui metamodel integrat al calității IPs și produselor rezultate necesită ample cercetări, analiza I&CT și a standardelor de management, a metodologiilor de dezvoltare a IPs etc.

Obiectivele tezei sunt următoarele:

- Studiul, analiza și identificarea cadrului de abordare al calității bazat pe cele mai bune practici (standarde internaționale de management), pe contextul specific organizației și cele mai potrivite metodologii de dezvoltare IS/software pentru a asigura calitatea.
- Identificarea caracteristicilor de calitate pentru diferite IPs în baza studiului bibliografic, analizei celor mai bune practici și modelelor de calitate cu scopul dezvoltării unui metamodel generic de calitate, care va integra caracteristici de calitate, adecvate pentru cele mai răspândite tipuri de IS.
- Cercetări în teren pentru a verifica relevanța caracteristicilor de calitate selectate prin sondajul la fața locului a experților în diferite domenii de proiecte informaționale.
- Specificarea cerințelor și dezvoltarea unui instrument software care să sprijine noua abordare *(ca parte a Project Office Management Office, PMO*).
- Implementarea abordării dezvoltate într-o organizație.

Metode de cercetare aplicate. În teză au fost utilizate diferite metode de studiu și analiză comparativă a surselor de informații și elaborarea de sinteze. Pentru evaluarea și gestionarea succesului/eșecului proiectului sunt folosite metode de analiză calitativă a triplei constrângeri de proiect: *Program, Cost, Aria de aplicabilitate* și recent adăugate alte câteva lucruri, cum ar fi *Calitatea*, *Riscul* și *Satisfacția clientului*. Soluționarea problemei necesită un studiu profund și o

analiză generală interrelaționată a bunelor practici/cadre de calitate, rezumând la un metamodel relativ simplu și transparent pentru a ajuta utilizatorul să-și aleagă strategia, modelul personalizat și politica de calitate potrivite cu necesitățile organizației.

Noutatea științifică și originalitatea tezei sunt reflectate într-o nouă abordare de evaluare și îmbunătățire continuă a calității IPs de-a lungul ciclului de viață al dezvoltării software (SDLC), bazat pe combinația dintre metodologia modernă de dezvoltare Agile și modelele de calitate adaptate, obținute din *metamodelul generic de calitate, extensibil, flexibil și adaptabil,* susținut de *o aplicație software originală* cu extragerea de date primare direct din instrumentele PMO.

Semnificația teoretică este susținută de analiza, sinteza, specificarea și definirea principiilor teoretice, a metamodelului generic și a modelelor adaptate pentru personificarea calității, procesului de evaluare continuă a calității IPs de-a lungul SDLC, bazat pe conexiunea dintre mai multe modele de bază cunoscute, modele adaptate, roata calității lui Deming, ciclul Plan-Do-Check-Act, metodologia de dezvoltare Agile și instrumente PMO pentru evaluarea calității.

Problemă științifică importantă soluționată. Noua abordare deschide posibilitatea de a defini calitatea IPs la nivel conceptual, creând baza pentru evaluarea ulterioară formală și informală a gradului de conformitate a IPs aflate în dezvoltare cu cerințele de calitate. Noua abordare permite evaluarea continuă a calității IPs de-a lungul ciclului de viață, care poate fi măsurată, calculată, gestionată și îmbunătățită în mod sistematic, pe baza datelor primare direct extrase din aplicațiile PMO, cum ar fi *Jira, VersionOne, TFS* etc.

Cercetarea se bazează pe următoarele ipoteze:

- Calitatea proceselor de dezvoltare IPs pe întreg cilul de viață și calitatea produsului rezultant (IS, informații), chiar dacă înseamnă lucruri diferite, trebuie tratate împreună.
- Pentru a îmbunătăți calitatea proiectelor informaționale, este necesar să se construiască un model de evaluare al calității proiectului, care poate fi măsurat și îmbunătățit iterativ, pe perioada ciclului de viață al proiectului.
- Printre soluțiile posibile ale problemelor menționate se numără modificarea/adaptarea modelelor de calitate IS/software, astfel încât caracteristicile și subcaracteristicile să fie mai semnificative pentru utilizatorii lor.
- Gestionarea calității IPs de-a lungul SDLC poate fi eficientizată prin automatizarea lucrărilor de rutină și folosirea datelor de intrare direct din procesele moderne de dezvoltare software Agile, asistate de PMOs digitalizate.

Aprobarea rezultatelor și publicații. Rezultatele obținute au fost publicate în 10 lucrări științifice, dintre care 8 de un singur autor, cu un volum total de peste 4 coli de autor, inclusiv 2 în reviste recunoscute din străinătate, 2 în reviste din categoria B, 4 conferințe internaționale și 2 conferințe naționale *(a se vedea publicațiile autorului la tema tezei).*

Noua abordare de evaluare și instrumentul software realizat sunt implementate în „WGS", Israel și în procesul de studiu al Universității de Stat din Moldova. Aceste rezultate pot fi, de asemenea, utilizate direct de către orice alte organizații interesate de dezvoltare a IPs și/sau de către cercetătorii și studenții altor instituții de învățământ la disciplinele de inginerie software.

Structura și volumul tezei. Teza constă în introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie și nouă anexe.

Introducerea descrie actualitatea și importanța problemelor abordate, scopul și obiectivele tezei de doctorat, noutatea științifică, rezultatele obținute, importanța teoretică și valoarea practică a lucrării, aprobarea rezultatelor și rezumatul compartimentelor tezei de doctorat.

Capitolul I „Starea de lucruri în domeniul calității IPs" tratează cadrul teoretic al tezei și include studiul bibliografic al tematicii IPs, conceptele de succes/eșec al proiectului, management al calității proiectului, diagnosticarea problemelor și formularea ipotezelor.

Capitolul II „Abordări metodologice ale managementului calității proiectului" descrie cadrul general al calității, unele concepte și principii de calitate definite de Shewhart și modificate de Deming, ciclul Plan-Do-Check-Act, utilizat în toate standardele de management. Capitolul II încearcă să aducă mai multă înțelegere în utilizarea standardelor adecvate nevoilor companiei.

Capitolul III „Modele și instrumente de calitate software" oferă o imagine de ansamblu și o analiză critică a modelelor de calitate a sistemelor/software-ului, stabilește premisele și formulează sarcinile de bază pentru realizarea metamodelului și modelelor de calitate particularizate.

Capitolul IV „Cercetări în teren privind calitatea sistemelor informaționale" descrie metamodelul general al calității, modelele de calitate adaptate pentru anumite clase de IS, metode numerice pentru calculul multicriterial al calității și aplicația realizată pentru sprijinul acestora.

„Concluzii generale și recomandări" rezumă contribuția cercetării din diferite puncte de vedere: menționează importanta științifică și aplicativă a problemei soluționate, descrie trei rezultate principale obținute, semnificația și potențialul metamodelului propus și al aplicației pentru organizații de dezvoltare software și sugestii pentru cercetarea ulterioară a domeniului IPs și îmbunătățirea calității software-ului.

Bibliografia, Publicațiile la tema tezei și ***Anexele*** conțin informații suplimentare ale tezei de doctorat, inclusiv chestionare, descrierea aplicației software elaborate, acte ce confirmă implementarea rezultatelor obținute etc.

Cuvinte cheie: proiect informațional (IP), sistem informațional (IS), software, calitatea IPs, caracteristici de calitate, standarde de calitate, model de bază al calității, model de calitate adaptat/particularizat, sistem de management al calității (QMS).

II. CONȚINUTUL TEZEI

Construirea unei societăți informaționale bazate pe cunoștințe, integrarea noilor tehnologii informaționale în toate domeniile activității umane, dezvoltarea de produse și servicii informaționale electronice/digitale, inclusiv e-banking, plăți electronice, e-guvernare, e-educație, e-sănătate etc. sunt obiective strategice ale guvernelor din majoritatea țărilor lumii, inclusiv Republica Moldova și Israel, care au adoptate strategii de dezvoltare digitală. *Planurile de edificare a KBS la nivel național implică realizarea mai multor proiecte informaționale care vizează satisfacerea nevoilor sociale și personale în produse și servicii informaționale,* inclusiv *accesul la resurse informaționale pentru oricine* este împuternicit, *oriunde și oricând* este necesar, *în condiții de siguranță.*

Astăzi multe organizații investesc milioane în speranța de a obține o valoare (ROI) în rezultatul proiectelor informaționale. Dar **încă multe dintre IPs eșuează.** Aceasta deoarece calitatea IPs este un concept complex și multivalent, înseamnă lucruri diferite pentru oameni diferiți și, de regulă, este subiectivă; fiecare proiect este unic, cu propriile cerințe de calitate și constrângeri specifice, foarte dependent de contextul intern concret, de ex. organizare, echipă, cultură, tradiții și context extern, de ex. părți interesate, concurenți. Cerințele utilizatorilor, setul de criterii de calitate, ponderea criteriilor de calitate pentru fiecare dintre IPs pot fi foarte diferite.

Există multe alte ***provocări ale calității IPs,*** printre care pot fi menționate:

- *Software-ul nu poate fi observat fizic;*
- *Lipsa de cunoaștere a nevoilor clientului la început (deseori acest lucru este imposibil);*
- *Rata rapidă de schimbare hardware, software și a nevoilor clienților –* sunt inevitabile și generează multă muncă suplimentară pentru îmbunătățirea calității, etc.

Două nevoi principale apar din analiza de fundal a dezvoltării IPs în KBS:

- *A oferi managerilor de proiect o mai bună înțelegere și metodologii potrivite pentru asigurarea calității proiectelor informaționale.*
- *A asigura creșterea calității proiectelor informaționale de-a lungul SDLC, cu accent pe sisteme informaționale și aplicații software.*

Calitatea IPs, ca minim include trei aspecte: *Calitatea managementului proiectelor (proceselor), Calitatea produsului rezultat (IS, aplicații software)* și *Calitatea informațiilor*, rezultante din procesarea datelor. Când vorbim despre calitatea IPs, descoperim că originalitatea și creativitatea umană sunt strâns legate de aceasta. Dar, aceste aspecte ale calității sunt greu de măsurat, mai ales că programatorii văd munca lor ca o operă de artă și nu ca un produs comercial. Așadar, astăzi *evaluarea calității proiectelor informaționale este o sarcină esențială pentru multe companii, în special preocupate de dezvoltarea de IPs; este o disciplină importantă și un domeniu*

de studiu cu perspective interesante pentru cercetători, deoarece rata IPs eșuate este încă destul de mare.

Între timp, cercetătorii propun caracteristicile fizice software *(lungime cod, comentarii etc.)* ca instrumente pentru a măsura codul-sursă, arhitectura și performanțele programelor. Cu toate acestea, caracteristicile fizice foarte puțin reflectă calitatea reală software; relația dintre modelele de calitate ale software-ului, valorile și tipul de proiecte nu este încă clară și consensuală. Mai mult chiar, procesul de evaluare al calității software rămâne o problemă deschisă cu multe modele generale și particulare, slab aplicabile în practică.

Ideea principală care trebuie desprinsă din analiza contextuală este următoarea: *calitatea proiectului și a produsului rezultant pot fi gestionate eficient, luând în considerare atât metodologia de dezvoltare a software-ului, cât și instrumentele adecvate* cerințelor proiectului și abilităților echipei, precum și bunele practici de management, concentrate în familii de standarde și modele specifice de calitate.

Domeniul de cercetare s-a axat pe furnizarea calității proiectelor informaționale, deoarece în cadrul organizațiilor contemporane aproximativ 50% din activități se desfășoară sub formă de proiecte și toate 100% în organizații specializate de dezvoltare și implementare a sistemelor informaționale, aplicații web, aplicații software, etc.

Dar calitatea IPs este un concept complex; calitatea înseamnă lucruri diferite pentru oameni diferiți și depinde foarte mult de context. Un model adecvat poate fi construit pe recunoașterea pașilor către o soluție standard, folosită atunci când activitatea unei echipe poate fi continuată de o altă echipă în punctul în care prima s-a oprit. Astfel, munca poate fi transmisă de la o echipă la alta, până când este finalizată. Întrucât calitatea IPs nu poate fi verificată/controlată doar la sfârșitul proiectului – calitatea trebuie construită și monitorizată pe tot ciclul de viață de la concepere până la utilizare. Acesta este unul dintre motivele cercetării în prezenta teză a posibilității îmbunătățirii calității IPs, bazată pe ***standardizare și utilizarea unei bune metodologii de dezvoltare a proiectului și de gestionare a calității***.

Acesta este subiectul principal al tezei, denumit ***evaluarea și îmbunătățirea calității IPs*** în conformitate cu bune practice standardizate și folosirea modelelor de calitate adaptate. Astăzi, evaluarea calității proiectelor informaționale este o disciplină importantă și un domeniu de studiu cu perspective interesante pentru cercetători, deoarece rata proiectelor informaționale eșuate este încă destul de mare. *Modelele generale existente sunt prea abstracte și slab aplicabile în practică, iar modelele de autor sunt prea detaliate cu o arie foarte îngustă de aplicabilitate practică*. Nivelul ridicat de abstractizare practic elimină utilizarea directă a modelelor generale, iar gradul ridicat de detalii presupune o aplicabilitate foarte îngustă a modelelor particulare.

Alegerea modelului și metodologiei adecvate în funcție de tipurile de proiecte și de caracteristicile de calitate influente sunt cruciale pentru succesul proiectului. Lucrarea încearcă să ghideze dezvoltatorii către *filosofia Agile de dezvoltare software*, care este în conformitate cu principiile generale și abordarea PDCA *(Plan-Do-Check-Act)* a managementului calității (ISO 9001) privind îmbunătățirea continuă a calității și *metamodelul integrat al calității*, care cuprinde modelele de bază ale calității, propuse în ISO 9126, ISO 25010, ISO 25012 și altele.

Propunerea tezei constă în crearea unui metamodel, care va permite realizarea de modele personalizate/particulare pentru fiecare grup tipic de IS, cu o gamă de valori acceptabile pentru persoane similare și realizarea unui suport digital original pentru acestea. Folosind o metodologie bună și șabloane bune *(cum ar fi șabloane de proiectare, procese standardizate, ciclul PDCA etc.)*, am putea crește calitatea software-ului.

Noua abordare a evaluării calității IPs constă din următoarele elemente:

1. Metamodel generic de calitate, care include vaste cunoștințe despre factorii de calitate, extrase din surse bibliografice, standarde de calitate și modele de bază cunoscute;
2. Modele de calitate adaptate, construite din metamodel, bazate pe cercetări în teren, care permit asigurarea calității anumitor tipuri de IPs;
3. O aplicație-suport originală cu extragerea unor date inițiale direct din PMO Agile.

Noua abordare și aplicația sugerată utilizează instrumente colaborative și metodologia modernă Agile pentru dezvoltarea IPs și bune practici standardizate pentru gestionarea și îmbunătățirea continuă a calității. Deoarece procesele de dezvoltare software Agile colectează sistematic mai multe informații *(planul livrării sprinturilor, analiza retrospectivă sprint etc.)*, acestea pot fi direct utilizate pentru a evalua calitatea proiectului, formularea sarcinilor de îmbunătățire și pentru a spori succesul proiectului pentru client.

Nouă abordare a fost implementată într-o aplicație software, bazată pe rezultatele celor mai importante cercetări în domeniu, care se referă la urmărirea a 25 caracteristici de calitate. Aplicația software permite gestionarea calității IPs prin efectuarea evaluărilor de calitate în conformitate cu caracteristicile de calitate pentru șapte tipuri/clase de sisteme informaționale. Abordarea prezentată este nouă, chiar dacă folosește modelele clasice de inginerie software și bune practici standardizate. Modificarea pe care o respectăm, noutatea, constă în *integrarea modelelor de calitate și a celor mai bune practici existente la nivel conceptual*, care au ca rezultat *conceperea calității orientată spre utilizator prin modele adaptabile*, în conformitate cu nevoile, cerințele utilizatorului, folosind noi modele de evaluare a calității, mai potrivite – un mix al metodelor tradiționale de evaluare și a metodologiei moderne de dezvoltare, cum ar fi Agile.

Această abordare permite construirea unor modele de calitate adaptabile, mai potrivite cu organizația concretă și contextul proiectului; mai potrivite cu caracteristicile, măsurătorile de calitate și nevoile utilizatorului; realizează o combinație a modelelor de calitate cu metodologia modernă Agile și un instrument original pentru evaluarea calității; permite măsurarea iterativă și îmbunătățirea continuă a calității IPs de-a lungul ciclului de viață.

Managementul tradițional al dezvoltării proiectelor *(PM, [7], [8])* dea lungul cilului de viață este iterativ și descrie *(Figura 1):*

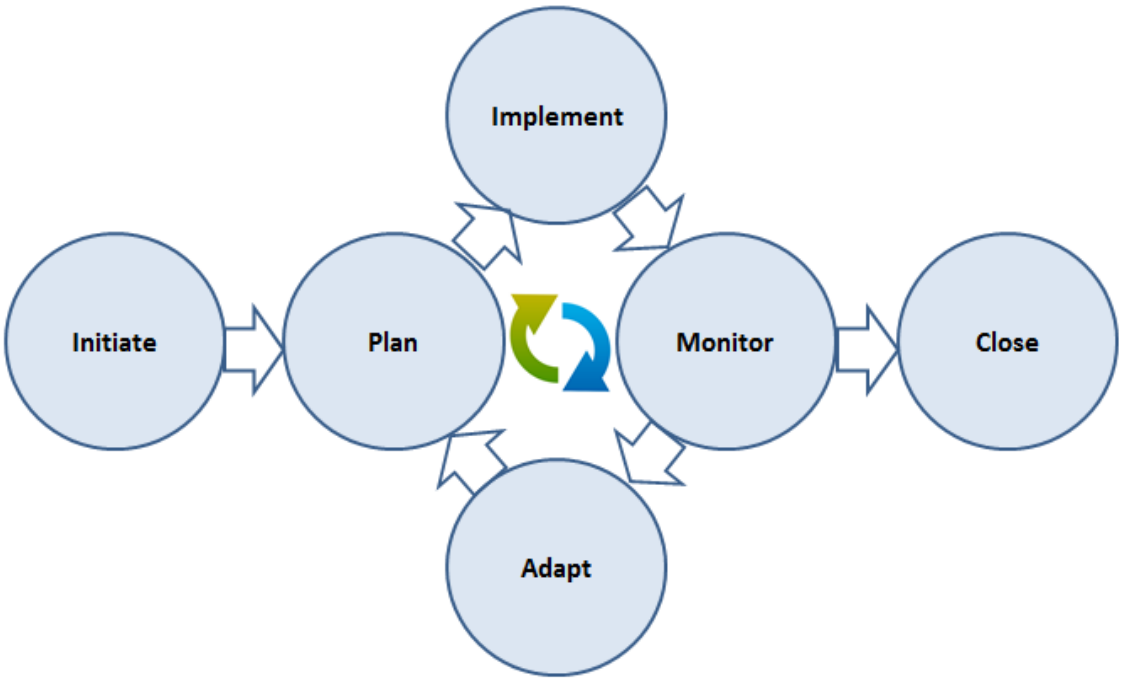


Figura 1. Ciclul Managementului de proiect

Sursa: *Adaptat de author în baza [7], [8] (este evidențiat ciclul PM)*

- Șase grupe de proces ale managementului de proiect: *Inițiere, Planificare, Executare (Implementare), Monitorizare și Control, Adaptare*, *Închidere*).
- Procesele managementului de proiect grupate în zece domenii de cunoștințe separate: *Managementul integrării proiectului, Domeniul de aplicare, Programul, Costul, Calitatea, Resursele, Comunicațiile, Riscurile, Achizițiile publice, Părțile interesate și recent adăugată Satisfacția clientului.*

Managementul calității IPs își propune să identifice calitatea necesară proiectului, să o evalueze și să o controleze și, în final, să obțină rezultate optime prin procese și activități specifice. Pentru a obține rezultatul dorit, managerul de proiect trebuie să aibă în grijă următoarele trei concepte-cheie ale managementului calității:

1. Satisfacția clientului,
2. Prevenirea prin inspecții,

3. Îmbunătățirea continuă.

Aceste trei ținte pot fi atinse cel mai bine în Agile și ajută la estimarea exactă a ceea ce dorește un client și a ceea ce are de fapt nevoie. După ce vom înțelege clar aceste aspecte, putem gestiona fără prea mare probleme calitatea proiectului.

Calitatea IPs depinde de tipul și complexitatea sistemului informațional. IS înglobează infrastructuri computerizate, organizații, personal și componente care colectează, prelucrează, stochează, transmit, afișează, diseminează și acționează asupra informațiilor. Deci, calitatea sistemelor informaționale este o funcție a *calității infrastructurii, calității software-ului, calității datelor, calității informațiilor, calității proceselor, calității organizației, calității serviciilor*. Gestionarea calității va avea succes dacă toate domeniile de calitate vor fi sub control. Evident, tratarea tuturor în cadrul unei teze este imposibilă, din care cauză teza se axează preponderent pe calitatea produsului IP.

Complexitatea IS este considerată unul dintre factorii majori de risc implicați în eșecul proiectului. Nivelul de complexitate și durata proiectului sunt asociate pozitiv cu eșecul. O modalitate de a reduce nivelul de risc și de eșec al proiectului este reducerea nivelului de complexitate. Astfel, este evident că pentru a îmbunătăți rata de succes și rata rentabilității investițiilor, organizațiile trebuie să abordeze problema complexității IS și să o reducă la limite acceptabile.

În abordarea tradițională *(waterfall, cascadă),* odată inițiat fiecare proiect IS va crește în complexitate; domeniul de aplicare este fixat, dar, de regulă, timpul și costurile cresc. Pentru a răspunde acestei provocări, este necesară aplicarea filozofiei Agile a dezvoltării iterative și incrementale *(Figura 2)*.

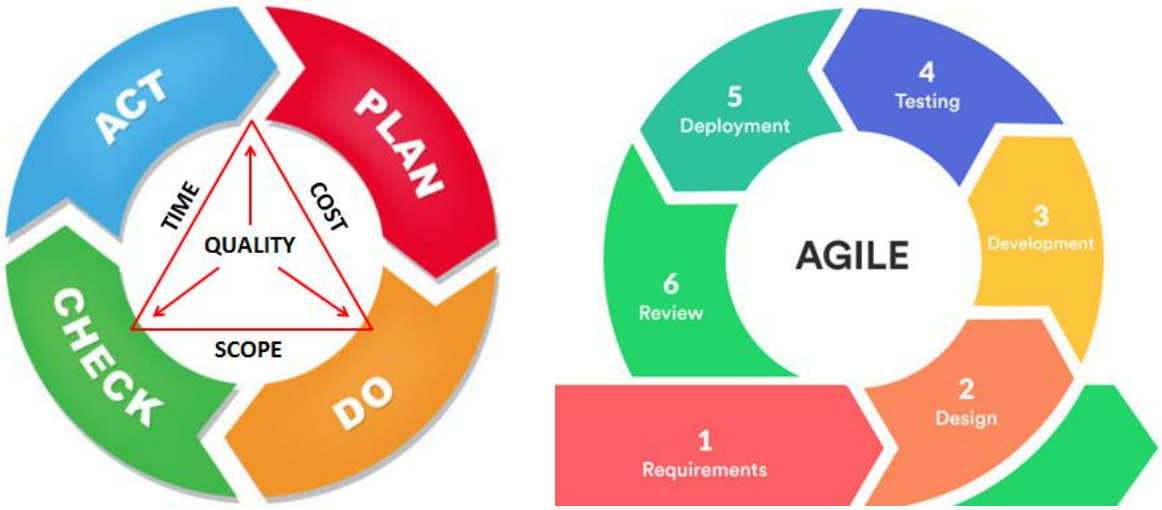


Figura 2. Managementul calității proiectului ca proces PDCA continuu

Sursa: Adaptat de autor prin combinare în baza [8], [9], [10]

O altă problemă profund legată de definirea proiectului, care trebuie abordată chiar de la început, este *adaptarea și modificarea proceselor organizaționale subiacente,* astfel încât acestea să devină propice pentru automatizare. Odată reproiectate procesele, sfera proiectului de automatizare poate fi vizualizată complet de către toți actorii. Acesta este beneficiul net al abordării IS prin metodele Agile.

Figura 2 ilustrează modelul mixt de abordare al Sistemului de Management al Calității (SMC) în proiecte: Planificarea calității (Plan), Asigurarea calității (Do), Controlul calității (Check) și Îmbunătățirea calității (Act). În așa fel, focusarea pe satisfacția clientului, diminuarea variației și îmbunătățirea continuă sunt problemele centrale ale calității IPs gestionate cu Agile.

Managementul calității proiectului (PQM) se concentrează pe îmbunătățirea satisfacției părților interesate prin *îmbunătățiri continue și incrementale ale proceselor și produselor*, inclusiv eliminarea activităților inutile; *îmbunătățirea continuă a calității materialelor și serviciilor furnizate*. De fapt nu este vorba despre găsirea și remedierea erorilor; managementul calității este monitorizarea continuă și aplicarea proceselor de calitate în toate aspectele proiectului [11]. Dezvoltarea Agile satisface cel mai bine toate aceste nevoiUn model general de SMC pentru o companie modernă de dezvoltare software, în conformitate cu standardul ISO 9001, constă din trei părți, așa cum este prezentat în *Figura 3*. Conform ISO 9001, QMS trebuie „născut”, „crescut” și „maturizat” în cadrul companiei.

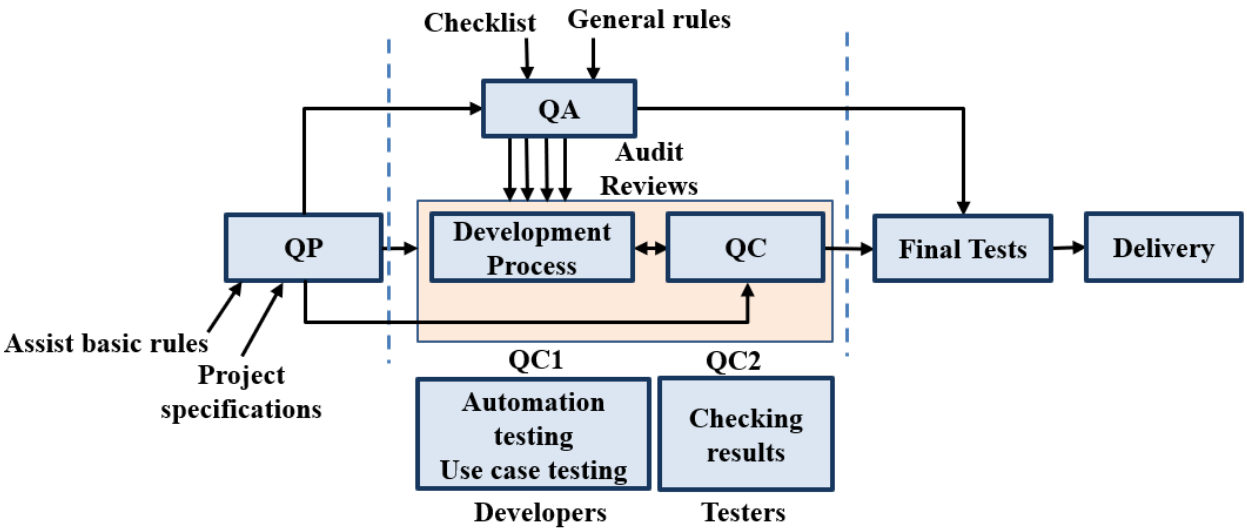


Figura 3. Modelul SMC pentru o companie modernă de dezvoltare software

Sursa: preluat din [10]

Legendă: QA = asigurarea calității, QP = planul calității, QC = controlul calității

QMS pentru o organizație de dezvoltare software acoperă: (a) activitățile curente de inginerie *(analiză, proiectare, proiectare, codare*), (b) revizii aplicate la fiecare etapă a proiectului, (c) strategii de testare, inclusiv metode și instrumente automatizate, (d) controlul documentației

software și menținerea acesteia, (e) compatibilitatea cu standardele, dacă acestea sunt aplicabile, (f) mecanisme de măsurare și raportare *(e.g. calitate internă)*. De exemplu, managementul calității este orientat spre definirea și standardizarea proceselor, procedurilor, șabloanelor. Evaluarea calității în această abordare folosește modele de maturitate a capacității, cum ar fi CMM [12], CMMI®02 și/sau ciclul PDCA, cum ar fi Agile [9].

Percepția calității recunoaște nu doar existența riscurilor de-a lungul ciclului de viață al unui proiect, ci și faptul că aceste riscuri trebuie să fie prioritizate în mod diferit de-a lungul ciclului de viață al proiectului, în funcție de expunerea aspectelor proiectului la aceste riscuri *(de exemplu, daunele potențiale care prevalează calitatea, [13]).* Acest lucru poate duce la o abordare cu mai multe procese, precum și la o abordare cu mai multe sisteme *(Figura 4).*

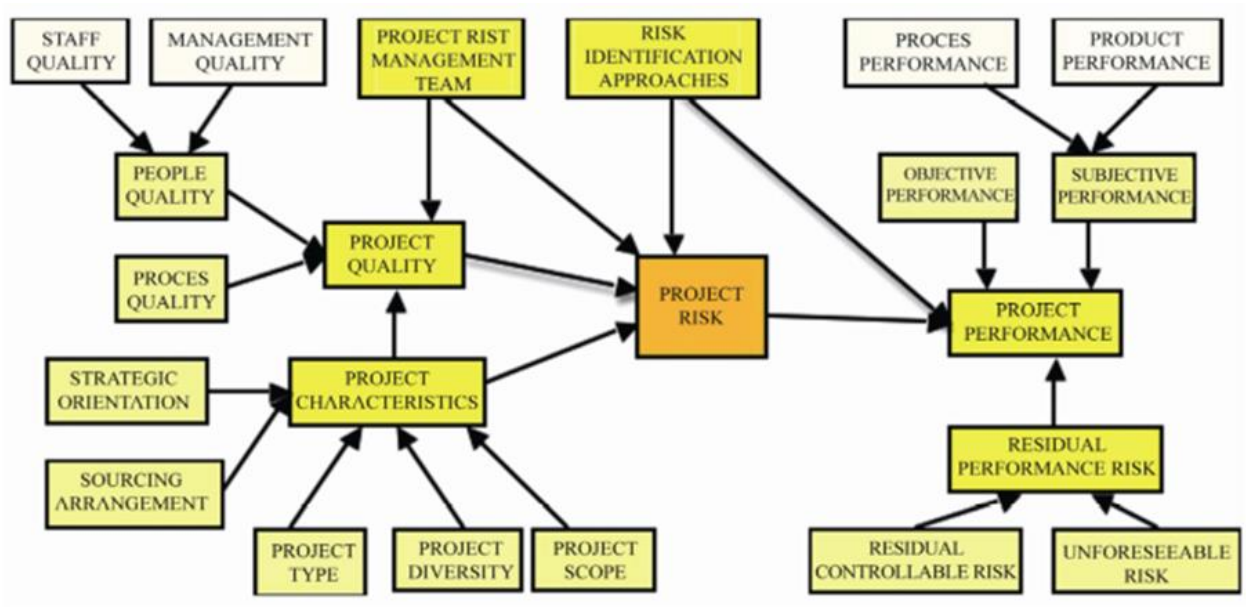


Figura 4. Cadrul conceptual comun pentru PM și QM

Sursa: preluat din [14]

Această abordare combină aspecte de calitate asociate proiectului însuși și realității date, deoarece este reflectată de percepția managementului, precum și de caracteristicile obiective ale proiectului, precum calitatea resurselor umane și calitatea managementului.

Ciclul de dezvoltare Agile este în conformitate completă cu standardele ISO de management, cu TQM și permite îmbunătățirea continuă a produsului *(Figura 5).*

A fi *Agile se referă la oameni și echipe, la clienți și la furnizarea de software, la îmbunătățiri continue și în mod constant conform ciclului PDCA:*

- Prin procese (analiză retrospectivă, Scrum, Kanban etc.);
- Prin feedback-ul utilizatorilor (Sprint review, demo Scrum);
- Prin echipa în sine (recenzii de la egal la egal, programarea în perechi etc.).

Măsurarea este cheia îmbunătățirii proceselor. Nevoia de îmbunătățire poate fi decisă după efectuarea măsurătorilor. În multe cazuri, acest lucru este imposibil până la livrarea finală a produsului. *În dezvoltarea proceselor software Agile, măsurarea este posibilă de-a lungul întreg ciclului de viață.*

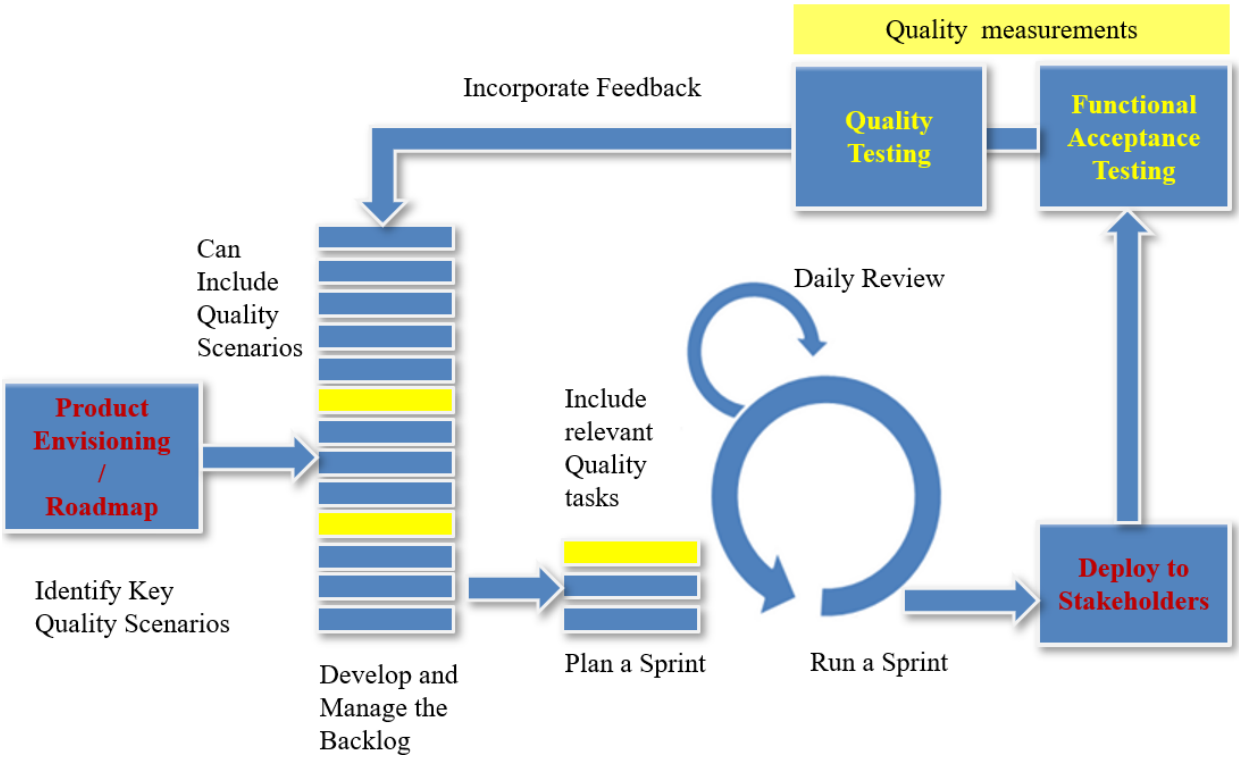


Figura 5. Ciclul de calitate în Agile/SCRUM

Sursa: preluat din [15]

Model de calitate al sistemului/software-ului

Pentru a prezice și a dezvolta software de o calitate înaltă la costuri mai mici, sunt necesare modele de calitate. Modelele de evaluare a calității software-ului au fost construite definind factorii fundamentali (numite și caracteristici de calitate), iar în cadrul fiecăruia dintre ei – subfactorii (sau subcaracteristici). Valorile sunt atribuite fiecărui subfactor pentru evaluarea reală. Modelul de calitate este un set de caracteristici de calitate selectate, cu măsurile alocate și relațiile dintre ele relevante pentru un context care oferă baza pentru specificarea cerințelor de calitate și evaluarea calității unei entități.

Modelele de calitate ale software-ului sunt concepute pentru a oferi dezvoltatorilor *o mai bună înțelegere a relațiilor dintre calitatea internă și externă, a modalităților de reducere a numărului de defecte în dezvoltarea de software, de creștere a eficienței*, etc. Un model de calitate specifică, *care proprietăți sunt importante pentru un produs* (de ex. capacitatea de utilizare, trasabilitatea etc.) și *modul în care trebuie determinate aceste proprietăți*. Pentru fiecare atribut pot fi definite una sau mai multe valori cantitative sau calitative pentru a evalua valoarea sa.

Totodată, modelul de calitate descrie proprietăți funcționale suplimentare, cum ar fi *„modul în care a fost creat software-ul”* și *„cum funcționează”*. Calitatea necesară pentru un produs software trebuie definită în documentul de definire a cerințelor software. De asemenea, trebuie specificate definițiile atributelor de calitate, metodele de măsurare și criteriile de acceptare a atributelor.

Figura 6 prezintă evoluția generală a modelelor de calitate de la modelul McCall în 1977 până în 2011, cu modelele ISO 25010:2011.

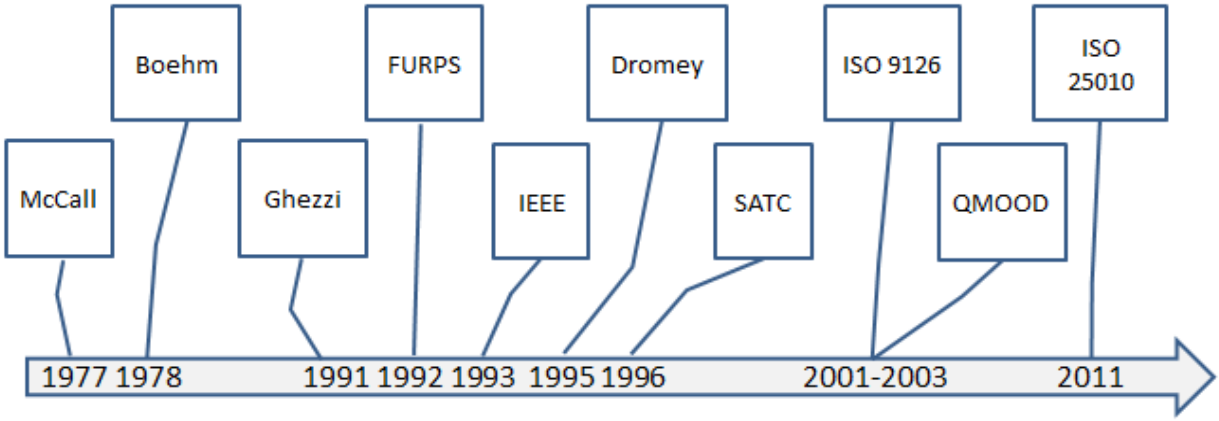


Figura 6. Cele mai cunoscute modele de calitate

Sursa: Dezvoltat de autor în baza analizei literaturii

În consecință, modelele sunt clasificate în **modele de bază**, și cele bazate pe componente numite **modele de calitate personalizate** sau **private** sau de **autor**, îmbogățite cu caracteristici, specifice anumitor zone, de ex. *software de bord, sisteme de navigație*. Concomitent cu dezvoltarea Internetului și a web-ului ca sisteme deschise, în 2003 a luat start o nouă subclasă de modele adaptate – **modele de calitate open source**, de ex. Cap Gemini, Open BPR etc.

Modelele de bază sunt utilizate pentru evaluările globale ale produselor software. Modelele de bază sunt ierarhice; pot fi ajustate la orice tip de produs software și sunt orientate spre evaluare și îmbunătățire. Cele mai importante modele ierarhice sunt: *McCall, Boehm, FURPS, FURPS +, Dromey, familia ISO 9126* și *ISO 25010.* Problema principală este că *aceste modele sunt prea abstracte și prea generale* pentru anumite zone sau tipuri concrete de IS, iar principala provocare este de a găsi caracteristicile de calitate necesare pentru fiecare dintre tipurile de proiecte.

Figura 7 prezintă etapele îmbunătățirii iterative a calității de-a lungul ciclului de viață al proiectului conform celui mai actual model ISO 25010.

Modelele de calitate adaptate au început să apară din 2001. Principala caracteristică este că sunt specifice unui anumit domeniu de aplicare, iar importanța caracteristicilor poate fi variabilă în raport cu un model general. *Identificarea* și *cuantificarea* calității produselor software este o primă sarcină în determinarea calității aplicațiilor și în asigurarea nivelului de calitate dorit. În al doilea rând, *estimarea calității IS va fi corectă dacă se bazează pe relația „ciclul de viață - metrica*

de calitate a criteriului”. Datorită acestei abordări, este oportun să se aprecieze nu doar nomenclatura criteriilor de calitate, ci și rolul dominant și conținutul fiecărui criteriu în cadrul fiecărui stadiu de dezvoltare al IS.

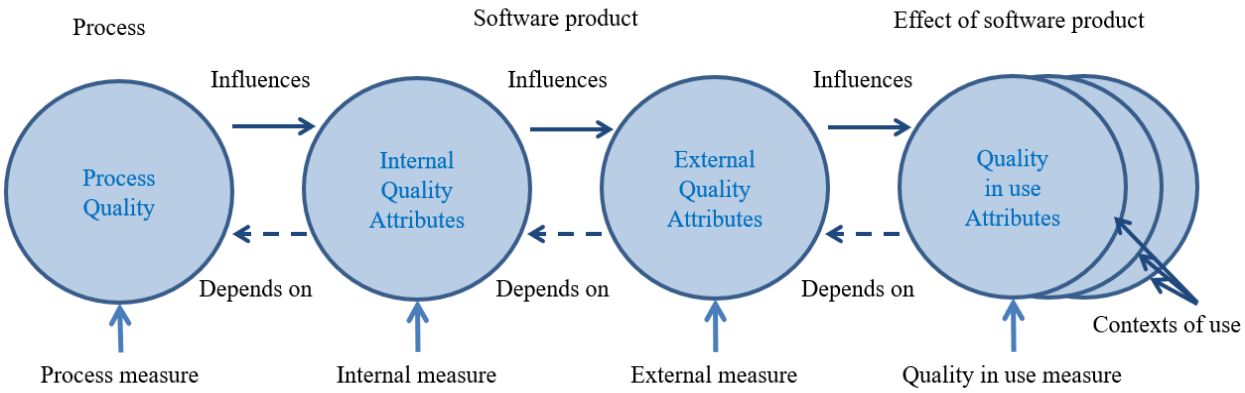


Figura 7. Calitatea de-a lungul ciclului de viață al dezvoltării de software

Sursa: preluată din ISO 25010 [16]

Metamodelul de calitate și modele de calitate specifice/adaptate

Principala concluzie extrasă din analiza modelelor de calitate de bază și adaptate, este că factori de calitate ai ambelor modele pot fi gestionați în mod similar, oferind un cadru unic, un metamodel unificat *(Figura 8).*

. Factorii de calitate și conceptele definite în standarde, îmbogățite cu deciziile prezentate în capitolele anterioare, formează împreună o bogată bază de cunoștințe pentru construirea unui metamodel. Însă dezvoltarea modelului de calitate cu un set de metrici potrivite pentru un proiect nu este deloc o sarcină simplă. Teoretic, metamodelul poate include, de asemenea, caracteristicile calității infrastructurii, calitatea serviciilor, calitatea procesului, calitatea organizației, etc.

Modelul de calitate principal (metamodelul), este compus dintr-o serie de atribute și caracteristici de calitate ale modelelor de bază incluse și caracteristicile adăugate de utilizator. Toate atributele sunt descrise în modelele și standardele respective. Terminii și definițiile caracteristicilor calității sunt în conformitate cu ISO 25010:2011. Toate definițiile caracteristicilor, subcaracteristicilor, valorilor și funcției de măsurare sunt incluse în depozitul aplicației. Un fragment al bazei de date despre cunoștințe de calitate este prezentat în Anexa 1 și Anexa 2 la teză

Caracteristicile de calitate și subcaracteristicile sunt mapate peste un anumit tip de IS, de ex. „Aplicație web” și peste standardele aplicate de companie, e.g. ISO 9126 sau ISO 25010.

Conceptele de măsurare sunt, la rândul lor, mapate peste una sau câteva valori, de ex. „*Dimensiunea codului”* poate fi măsurată prin *„număr de linii de cod sursă”* și prin *„complexitatea fluxului de control”* sau complexitatea ciclomatică.

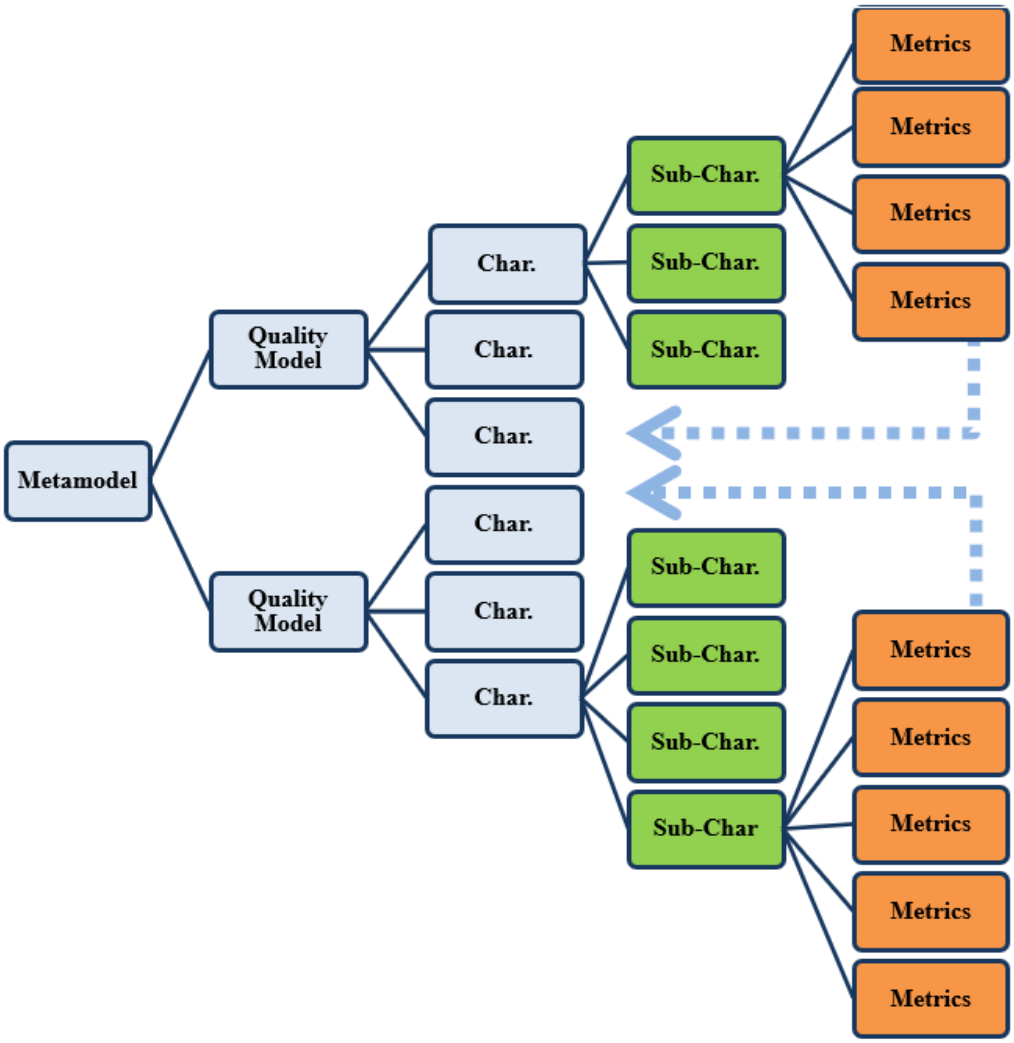


Figura 8. Un fragment din metamodelul general și modelele de calitate adaptate

Sursa: Dezvoltat de autor

Măsurile sunt definite în ISO/IEC 25022:2016, ISO/IEC 25023:2016, ISO/IEC 25024: 2015 și altele. Dar lista valorilor metamodelului poate fi extinsă/adăugată la nevoia și dorința utilizatorului.

În ciuda numărului mare de standarde și modele de calitate, există puține informații despre măsurarea, colectarea valorilor caracteristicilor și modul în care se evaluează un tip concret de IS. Este necesară o cercetare care să furnizeze informații despre semnificația fiecărei caracteristici de calitate incluse în modelul de calitate și ponderea caracteristicilor.

Scopul cercetării în teren a fost construirea unui metamodel și determinarea, care dintre caracteristicile de calitate, identificate în urma analizei literaturii și a cercetării/studiului în teren [17], [18], [19], vor fi incluse în modelul de calitate pentru un anumit tip de IS.

Metamodelul este mai general și permite mai multe grade de libertate decât alte modele. El include câteva modele de bază *(e.g. ISO 9126, ISO 25010, ISO 25012)* și unele modele îmbogățite

(e.g. Dromey), cu posibilitatea de a genera alte modele de calitate particulare, bazate pe adaptarea unuia dintre ele. Modelul specific adaptat este dezvoltat în baza metamodelului conform cerințelor utilizatorului. Adaptarea constă în eliminarea unor caracteristici și/sau adăugarea altor caracteristici, inclusiv caracteristici individuale, definite de organizația dezvoltatoare și de părțile interesate pentru un caz concret de utilizare. Modelul rezultant este construit din subsubsetul caracteristicilor de calitate comune și necesitățile organizației. În modelul rezultant toate relațiile dintre caracteristici - subcaracteristici - metrici și formulele de calcul sunt moștenite de la metamodel și au două variante de realizare: *media simplă* sau *calculul multicriterial*.

Această abordare pe două niveluri oferă posibilitatea de a compara produse similare pe baza unui model de producător anume, precum și produse diferite și producători diferiți, pe baza caracteristicilor de bază incluse în standardele ISO acceptate și recomandate la nivel global.

Scenariul propus pentru îmbunătățirea calității proiectelor informaționale este prezentat în *Figura 9.*

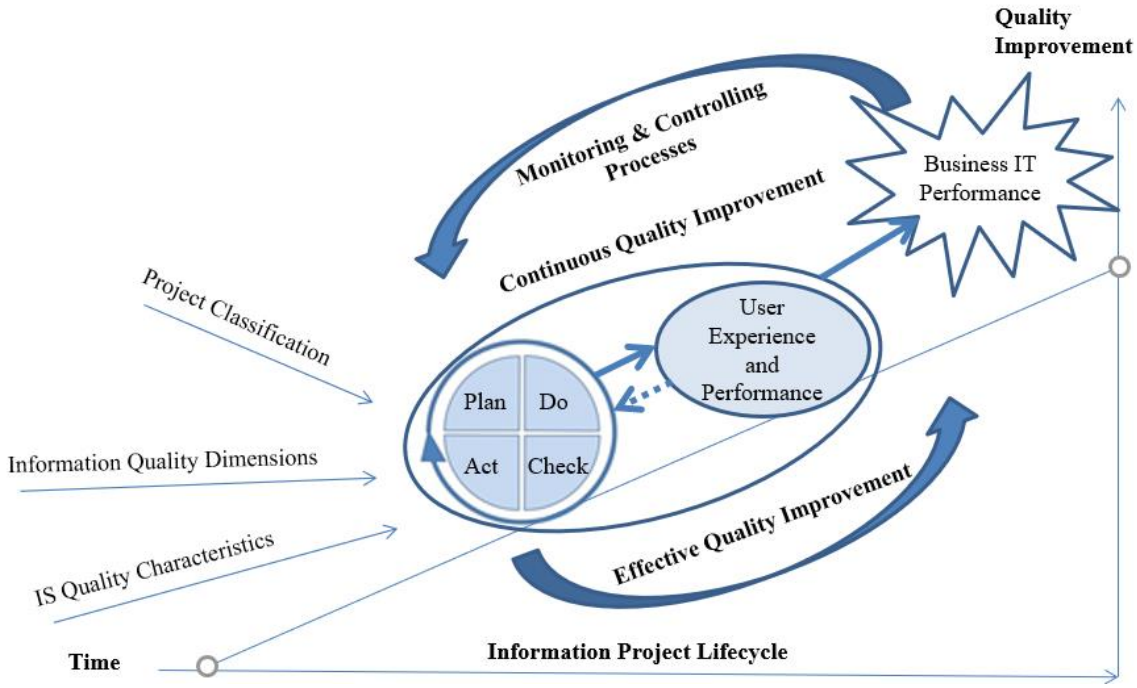


Figura 9. Scenariu pentru îmbunătățirea continuă a calității proiectului informațional

Sursa: Dezvoltat de autor în [17]

Îmbunătățirea calității este un proces iterativ care necesită planificare, executare, verificare și feedback din partea consumatorilor de informații (utilizatori IS) din organizație. Pentru a îmbunătăți calitatea IPs, este necesară măsurarea și evaluarea iterativă de-a lungul ciclului de viață al proiectului, care ulterior sunt stocate în baza de date a aplicației.

Metode de evaluare a calității

Pentru evaluarea calității au fost utilizate **metode de evaluare obiective și subiective**. Evaluarea obiectivă măsoară nivelul în care proiectele se conformează specificațiilor și referințelor

de calitate. Evaluarea subiectivă măsoară nivelul în care proiectele sunt adecvate pentru utilizare de către consumatorii finali.

Sondajul de opinie al experților a fost menit să verifice ipotezele în practică:

- Evaluarea în teren a semnificației/ponderii fiecărei caracteristici pentru șapte clase de IS, care măsoară gradul de satisfacție (bazat pe un sondaj de opinie;
- Identificarea caracteristicilor general acceptate de experți pentru diferite IS (cu un scor mai mare de 3.5 din 5).

De regulă, evaluarea calității conform modelelor de calitate McCall, Boehm, FURPS, Dromey, ISO 9126, ISO 25010 etc. utilizează un set de valori/metrici și expresii liniare de calcul pentru fiecare factor, cum ar fi:

$$\boldsymbol{Fq = \sum_{i=1}^{n} Ai * Mi} \quad (1)$$

Unde:

Fq = este factorul de calitate,

Ai, i = 1, ... n sunt coeficienții de regresie,

Mi, i = 1, ... n sunt valorile corespunzătoare factorului de calitate,

Ulterior, calitatea generală este determinată ca suma ponderată a valorilor factorilor.

$$\boldsymbol{Q = \sum_{q=1}^{m} Fq * Pq} \quad (2)$$

Unde:

Fq, q = 1, ... m, sunt valorile calculate ale factorilor,

Pq, q = 1, ... m, sunt ponderile corespunzătoare ale factorilor de calitate.

Dar, indicatorii de calitate sunt adesea contradictorii, iar optimizarea parametrilor pentru fiecare dintre ei duce la soluții inadecvate. O tehnică de stabilire a unui compromis între caracteristicile de calitate care satisface toți participanții la dezvoltarea, comercializarea și utilizarea unui produs software este tehnica de negociere bazată pe *modelul spirală câștig-câștig*. Un risc în ingineria cerințelor software este de a crește nivelul unei caracteristici de calitate, de exemplu *performanța,* în detrimentul alteia, cel puțin sau la fel de importantă, de exemplu *portabilitatea*. Multe proiecte software au fost abandonate pentru că aveau un set precar de cerințe de calitate, chiar dacă cerințe funcționale și de interfață erau bine specificate.

Așa cum am menționat în teză, modelele liniare nu reflectă întotdeauna în mod adecvat relațiile dintre caracteristicile calității. Mai mult decât atât, folosirea opiniilor experților pentru determină importanța fiecărui factor de calitate poate fi supus influențelor subiective: două grupuri distincte de experți pot atinge valori diferite ale coeficienților și notelor date. În sistemele complexe, precum IS cu utilizarea mai multor indicatori/criterii de calitate, pot exista mai multe

criterii obiective/funcții de calcul, deseori interdependente. Astfel, în timpul dezvoltării și utilizării sistemelor software complexe, evaluarea calității proceselor relevante devine posibilă numai în cazul utilizării mai multor indicatori (obiectivi, funcții de criterii). Acest lucru duce la apariția sarcinii de alegere multicriterială a indicatorilor de calitatea pentru evaluarea cu succes a calității proceselor/produselor.

Aplicația software

Pentru estimarea valorilor indicatorilor de calitate în aplicația dezvoltată pot fi utilizate patru metode: *măsurare, înregistrare, calcul* și *metoda expert*, precum și combinații ale acestor metode.

Metoda de măsurare se bazează pe utilizarea unor măsurări și programe speciale pentru obținerea informațiilor despre caracteristicile software, de exemplu, determinarea volumului, numărul liniilor de cod/de operatori, numărul de ramificări, numărul punctelor de intrare/ieșire, reactivitatea, etc. *Metoda de înregistrare* este utilizată prin calcularea timpului, numărul de eșecuri, începutul și sfârșitul operațiunilor în timpul execuției software, etc. *Metoda de calcul* se bazează pe date statistice colectate în timpul testării, funcționării și întreținerii software-ului. Metodele calcul estimează indicatori de fiabilitate, precizie, stabilitate, reactivitate, etc. *Metoda expert* este realizată de un grup de experți (utilizatori-specialiști), competenți în domeniul problemei sau tipului de software.

Sistemul de gestionare al proiectelor informaționale (IPMS) [17], [18], [19], care realizează scenariul propus în teză pentru îmbunătățirea calității proiectului informațional, în detaliu este prezentat în Anexa 9 a tezei, care include: *Descrierea aplicației, Diagrama entitate-relație (EDR), Manualul de utilizare, Chitul de instalare al programului, câteva Șabloane Excel pentru colectarea datelor primare și calculul valorii factorilor de calitate* și *Kit-ul de instalare.*

IPMS este o aplicație web și/sau desktop care permite organizațiilor să gestioneze calitatea proiectelor informaționale, realizând evaluări de calitate, în conformitate cu modelul adaptat pentru tipul/clasa concertă de proiecte informaționale, obținut din metamodel *(cunoștințe despre modele de calitate, caracteristici de calitate, subcaracteristici și metrici)* și folosind un calcul liniar al valorilor factorilor de calitate. Aplicația este independentă de modelul adaptat; este potrivită pentru orice tip de organizație și/sau orice tip de proiect.

Meniul principal *(Figura 10)* afișează câteva opțiuni pentru introducerea/editarea datelor inițiale, cum ar fi Organizații, Proiecte, Evaluări, Setările aplicației etc. Setările aplicației permit adaptarea/precizarea modelului de calitate pentru fiecare proiect informațional evaluat. După actualizarea modelului, pot fi introduse/importate valorile de intrare ale caracteristicilor de calitate, pot fi calculate valorile ponderate ale factorilor de calitate, pot fi gestionate și afișate rapoarte, grafice, statistici etc.

Fiecare proiect informațional se referă la caracteristicile de calitate ale modelului adaptat în conformitate cu tipul/clasa proiectului, pentru a realiza evaluări de calitate relevante. Pentru fiecare proiect, este posibil să se creeze o evaluare a calității, ce conține o listă de caracteristici de calitate specifice pentru acel tip de proiecte și să se afișeze o listă cu factorii de calitate legate de proiect.

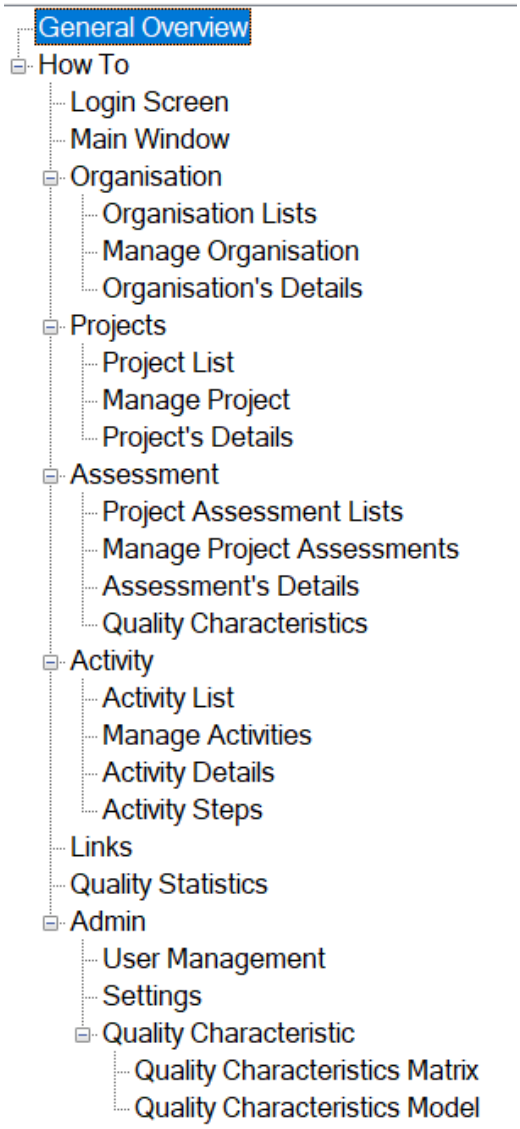


Figura 10. Fereastra de ajutor și meniul principal al IPMS

Sursa: Dezvoltat de autor

Formele ecranelor de introducere a datelor permit crearea unei noi organizații, a unui nou proiect, a unei noi evaluări și/sau actualizarea oricăror obiecte ale bazei de date, inclusiv metadate despre modele de calitate, caracteristici de calitate, subcharacteristics de calitate, metrici de calitate etc. Metamodelul poate fi extins/adaptat conform nevoilor organizației: utilizatorul poate adăuga careva caracteristici, subcaracteristici și valori, poate modifica unele funcții de măsurare în baza de date/de cunoștințe și/sau în șabloanele Excel pentru colectarea datelor primare și calcularea valorii factorilor de calitate.

Fiecare proiect informațional se referă la caracteristicile calității în conformitate cu tipul de proiect, pentru a efectua evaluări de calitate relevante. Și fiecare proiect trebuie să fie atribuit unei organizații specifice, pentru a gestiona calitatea proiectelor organizației. Suplimentar, este posibil să se creeze sau să se mențină evaluări de calitate sau activități de calitate.

Aplicația are un „Help” încorporat cu descrierea detaliată a funcționării *(Figura 10)*. Kitul de instalare și scenariul aplicației, textul help-ului și alte screenshot-uri ale IPMS sunt prezentate în anexa 9 și, împreună cu șabloanele de intrare, sunt înscrise pe CD. Aplicația este instalată pe serverul cloud Microsoft Azure și poate fi verificată de pe Web, fără a o instala pe desktop. *Figura 11* arată modul de lansare a aplicației la distanță de pe serverul cloud.

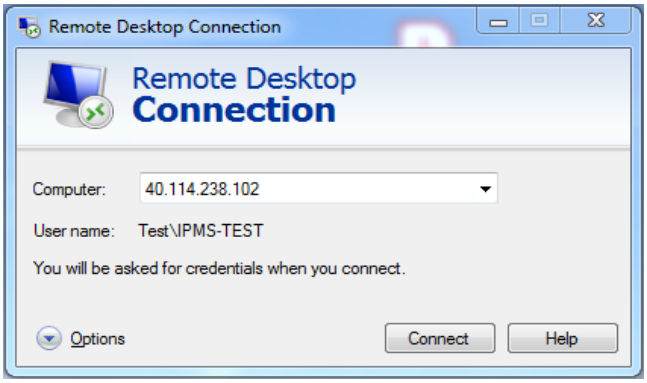


Figura 11. Conexiune desktop la distanță pentru a lansa aplicația IPMS pe cloud

Sursa: Dezvoltat de autor

Pentru accesarea aplicației trimiteți un e-mail pe adresa autorului pentru a primi informații actualizate privind Login și Parola de acces.

Când utilizatorul creează un proiect nou, introduce datele de clasificare a proiectului. Aplicația identifică modelul de calitate adecvat în funcție de tipul de proiect sau standardul pe care îl selectează utilizatorul. Utilizatorul creează o nouă evaluare, iar aplicația afișează indicatorii de calitate ai modelului. Utilizatorul introduce valorile caracteristicilor de calitate sau le importă din fișierul Excel extern. Aplicația calculează scorul de evaluare. Aplicația analizează datele proiectului cu scorul evaluărilor și afișează diagrama calității proiectului.

Pentru fiecare evaluare, este necesară introducerea valorilor caracteristicilor calității *(pe baza unor șabloane).* În timp ce sunt salvate valorile caracteristicilor de evaluare a calității, aplicația calculează scorurile ponderate ale factorilor de calitate conform setărilor din tabelul de setări. Tabelul cu setările caracteristicilor calității conține factorii de calitate ai caracteristicilor fiecărui tip de proiect informațional, conform rezultatelor sondajului.

III. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Problema științifică importantă rezolvată în cercetare este o nouă abordare pentru evaluarea și îmbunătățirea continuă a calității proiectelor informaționale de-a lungul ciclului de viață. Această abordare deschide posibilitatea de a defini calitatea IPs la nivel conceptual, creând baza pentru evaluarea formală ulterioară a gradului de conformitate a proiectelor cu cerințele de calitate.

Noua abordare constă din următoarele rezultate obținute:

(1) Metamodel generic de calitate, care include cele mai bune practici și o vastă bază de cunoștințe despre factorii de calitate, extrase din modelele de bază cunoscute și din standardele de calitate;

(2) Modele de calitate adaptate, construite din metamodel, bazate pe cercetări în teren, care permit asigurarea calității pentru șapte clase de proiecte; și

(3) O aplicație originală de suport a evaluării calității, cu extragerea unor date inițiale direct din PMO Agile.

Principalul rezultat al cercetării **este metamodelul generic de calitate, adaptabil, flexibil și extensibil,** care conține caracteristicile de calitate ale modelelor de bază incluse (McCall, ISO 9126, ISO 25010 etc.) și caracteristici de calitate definite de utilizator. Metamodelul absoarbe cele mai bune practici definite în standardele ISO 9001 și familia ISO 25000, care corespund tendințelor actuale în gestionarea calității software-ului. Metamodelul obținut se bazează pe un vast studiu al literaturii de specialitate, a metodelor de analiză calitativă și cantitativă a riscurilor, pe un chestionar/sondaj de opinie al experților privind calitățile dorite pentru diferite tipuri de IS.

Al doilea rezultat obținut a fost stabilirea unor modele de calitate adaptate pentru câteva dintre cele mai importante tipuri de IS, inclusiv a valorilor ponderilor corespunzătoare ale acestor factori de calitate, ceea ce permite o evaluare mai precisă a calității pentru aceste tipuri de IS. Zona de cercetare a fost orientată în principal pentru sisteme informaționale precum ERP, CRM, BI, etc. Ponderile au fost determinate pe baza răspunsurilor experților. Cel mai important rezultat al sondajului realizat de experți spune că există o variație în ceea ce privește scalarea caracteristicilor calității, în funcție de tipul de proiect, de scara de calitate potrivită în funcție de nevoile informaționale ale clienților, atât în interiorul organizației, cât și din afara acesteia. Un SMC bine pus la punct dezvoltă rapid afacerea și oferă avantaje precum: simplificarea și optimizarea proceselor, creșterea satisfacției clienților, motivarea angajaților, reducerea costurilor și creșterea productivității, crearea sau ajustarea unor instrumente de calitate specifice, standarde de calitate și altele.

Al treilea rezultat obținut este o aplicație universală pentru evaluarea continuă a calității. Activitățile de evaluare a calității trebuie desfășurate într-un mod iterativ de măsurare și îmbunătățire. Acest fapt necesită un model de calitate care, pe de o parte, obține parametrii care se potrivesc unui proiect informațional și, pe de altă parte, permite măsurarea, într-o scară unificată, a rezultatelor îmbunătățirii calității, de-a lungul ciclului de viață al proiectului. Aplicația realizată se bazează pe clasificarea proiectelor, modele de calitate adaptate și caracteristici valoroase ale calității sistemelor informaționale, cu intrări direct extrase din aplicații PMO. *Modelul generat*

este flexibil, adaptabil și extensibil: utilizatorul final poate modifica acest model în funcție de cerințele sale, poate defini și adăuga unele caracteristici noi și/sau funcții de măsurare.

Universalitatea aplicației s-a realizat prin separarea datelor inițiale de intrare de aplicație și de metodele de măsurare, înregistrare, calcul și expert. Toate acestea sunt programate în șabloane Excel și permit determinarea valorilor factorilor de calitate, definite în funcție de nevoile utilizatorilor. Fișierele Excel servesc, de asemenea, ca colectori de date, extrase din diverse instrumente PMO, utilizate de-a lungul ciclului de viață de dezvoltare a proiectelor.

Valoarea aplicativă a cercetării. Noua abordare de evaluare, metamodelul generic, modele adaptate, funcțiile de măsurare - toate acestea au fost realizate în instrumentul-aplicați universală IPMS pentru suportul managerilor. Rezultatele cercetării pot fi utilizate în mod direct pentru 12 tipuri de IS, cum ar fi ERP & CRM, GIS & Map Library, portal pentru întreprinderi și managementul cunoștințelor, informații de afaceri și date mari, site-uri și aplicații web, sisteme de gestionare a documentelor și aplicații mobile. Noua abordare de evaluare și instrumentul software realizat sunt implementate în „WGS", Israel și în procesul de studiu al Universității de Stat din Moldova. Dar rezultatele ar putea fi utilizate de cercetători și studenți în discipline de inginerie software, ar putea fi ușor implementate în orice organizații care utilizează proiecte, în conformitate cu criteriile specifice ale acelui proiect. Aplicația poate salva intrările și rezultatele evaluării calității în baza de date, pentru a compara în timp activitățile de evaluare a calității.

Recomandări și sugestii pentru cercetări viitoare. Prezenta cercetare poate fi extinsă. Construirea unui cadru pentru măsurarea, evaluarea și îmbunătățirea calității necesită atât suport metodologic, cât și suport tehnologic cu instrumente potrivite. De asemenea, dezvoltarea/implementarea acestui instrument ca aplicație software concepută pentru a sprijini gestionarea calității, impune noi cercetări teoretice și empirice, inclusiv sondaje de opinie ale experților.

În special, cercetarea ar putea fi continuată în mai multe direcții, dar nu numai:

(1) **Modelarea calității de-a lungul ciclului de viață**. Investigarea caracteristicilor și valorilor aferente, funcțiilor de măsurare pentru a determina corelația, semnificația, gradul de suprapunere, dependențele și gradul de automatizare este cea mai importantă modalitate de creștere a calității, inclusiv folosind un aparat formal de modelare matematică, de genul teoria mulțimilor, teoria grafurilor etc.

(2) Rafinarea multor factori de calitate, valori care, în esență, reflectă în mod adecvat calitatea software-ului de-a lungul ciclului de viață.

(3) Deoarece indicatorii de calitate și opiniile experților pot fi adesea contradictorii, identificarea acestor parametri și importanța lor pentru fiecare proiect necesită soluții adecvate, care pot fi identificate printre metodele multicriteriale de evaluare a calității.

(4) Cele mai calitative date de intrare pentru evaluarea calității sunt datele obiective, colectate direct din rezultatele procesoarelor tehnologice. Acordarea ieșirilor proceselor de dezvoltare tehnologică cu intrările procesului de asigurare a calității poate oferi o bună bază pentru îmbunătățirea calității.

REFERINȚE

Toate referințele web au fost verificate la 10.12.2019

1. ICT Development Index 2017. ITU, 2017 (publ. 06.11.2019). https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html/
2. Gross Domestic Product in the Republic of Moldova in 2018 and in quarter IV 2018. (publ. 5.03.2019) https://statistica.gov.md/newsview.php?l=en&id=6300&idc=168/
3. ИТ-рынок Израиля (for 2018-2017, publ. 06.11.2019). http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_Израиля/
4. ISACA Model Curriculum for IS Audit and Control. ISACA, 2nd Edition, 2009. 57p
5. Sundararajan S., Bhasi M., Pramod K. An Empirical Study of industry practices in Software Development Risk Management. In: International Journal of Scientific and Research Publications. 2013; 3(6). pp.1-11.
6. The State of Project Management Annual Survey 2016. Management WP, 2016. https://www.wellingtone.co.uk/wp-content/uploads/2016/01/The-State-of-Project-Management-Survey-2016.pdf/ . 23 p
7. A Guide to the Project Management Body Of Knowledge (PMBOK). PMI, Sixth Edition U.S.A., 2017. 976 p.
8. The Project Management Cycle. PM4DEV, 2007. 15 p.
9. Bergmann R. Information Projects Quality Model. In: EPH - International Journal of Science and Engineering, November 2016; 2(11). pp. 38-56.
10. Rob Cole and Edward Scotcher. Brilliant Agile project management. A practical guide to using Agile, Scrum and Kanban. U.S.A., 2015. 198 p.
11. Lungu I. Integrating Quality Management System into Software Development Processes: ASSIST; 2017. Available from: https://assist-software.net/blog/integrating-quality-management-system-software-development-processes/
12. Project Quality Management. PM4VED, 2008 (22 p)., 2016 (23 p.) https://www.pm4dev.com/ resources/docman/pm4dev-ebooks/5-project-quality-management/file.htm/

13. Paulk M. et al. Capability Maturity Model for Software. Software Engineering Institute Carnegie Mellon University; 1993. 87p. https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a263403.pdf
14. Hoermann S., Schermann M., Krcmar H. When to manage risks in IS projects: An exploratory analysis of longitudinal risk reports. In: Proceeding of 10th International Conference on Wirtschaftsinformatik, 2011. pp. 871-880.
15. Sarigiannidis L., Chatzoglou P. Software Development Project Risk Management: A New Conceptual Framework. In: Journal of Software Engineering & Applications, 2011; 4(5), pp. 293-305.
16. Yoder J., Wirfs-Brock R. Aguiar A. QA to AQ. Patterns about transitioning from Quality Assurance to Agile Quality, 2014, 18p. http://www.wirfs-brock.com/PDFs/QA2AQ.pdf
17. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE). System and software quality models: 34
18. Bergmann R. Quantifying Information Quality. In: Studia Universitatis Moldaviae, 2015, nr.7 (87), Seria „Științe exacte și economice", pp. 86-97. https://studiamsu.eu/nr-7-87-2015/
19. Bergmann R., Bragaru T. Standards and Software Quality Models. In: Scientific and didactic journal ECONOMICA, nr.2 (108), Chişinău: ASEM, June 2019, pp. 118-132. https://ase.md/files/publicatii/economica/2019/ec_2019_2.pdf/

LUCRĂRILE AUTORULUI LA TEMA TEZEI

1. BERGMANN, R. Information Projects Quality Model. In: EPH - International Journal of Science and Engineering, Volume 2, Issue 11, November-2016, pp.38-56. https://ephjournal.com/index. php/se/article/view/224, https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ijse/. ISSN 2454-2016
2. BERGMANN, R. Models and Standards of Information Quality Assurance. In: Наука №4-3, февраль 2016 Костанай, научно-производственным журнал, pages 9-12. https://www.twirpx.com/file/1934885/. ISSN 1684-9310
3. BERGMANN, R. Quantifying Information Quality. In: Studia Universitatis Moldaviae, 2015, nr.7 (87), Seria „Științe exacte și economice", pp. 86-97. http://studiamsu.eu/nr-7-87-2015/. ISSN 1857-2073
4. BERGMANN, R. BRAGARU, T. Standards and Software Quality Models. In: Scientific and didactic journal ECONOMICA, nr.2 (108), Chişinău: ASEM, June 2019, pp. 118-132.https://ase.md/files/publicatii/economica/2019/ec_2019_2.pdf/. ISSN 1810-9136
5. BERGMANN, R. Providing Quality of Information Projects. Proceeding of International Conference Mathematics & Information Technologies (MITRE-2015). Chişinău: CEP USM, 2015, p.90. ISBN 978-9975-71-678-9
6. BERGMANN, R. Information Systems and their Business Value. In: Materials of International Conference „European Economic Integration". Chişinău: USEM, 2016, p.58-60. ISBN 978-9975-3147-2-5
7. BERGMANN, R. Information Projects Quality Model. Proceeding of International Conference Mathematics & Information Technologies (MITRE-2016). Chişinău: CEP USM, 2016, pp.74-75. ISBN 978-9975-71-794-6
8. BERGMANN, R. Information Projects Quality Assessment. Proceeding of International Conference Mathematics & Information Technologies (MITRE-2019). Chişinău: CEP USM, 2019, pp. 67-68. ISBN 978-9975-149-17-4
9. BERGMANN, R. Information Projects Quality Model. The 5th social psychology conference for PhD students, SODOCO, Haifa University, Israel, December 12, 2016, poster 17 p.
10. BERGMANN, R., SIROTA, J. Information Projects Quality Model and the Global Volume of Data. The 5th Kinneret Conference on Software Engineering Education, Kinneret Academic College, Israel, February 21, 2017, p. 18-19.

ADNOTARE

Teza ***„Asigurarea calității proiectelor informaționale”*** este scrisă în limba engleză și prezentată de domnul *Ran BERGMANN* pentru obținerea titlului de doctor în informatică, *specialitatea 121.03 – Programarea calculatoarelor.* Teza a fost elaborată la Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău.

Structura tezei: Teza constă în Introducere, 4 capitole principale, Concluzii generale și recomandări, Bibliografie 167 de titluri. Textul principal cuprinde 161 de pagini, include 55 figuri, 16 tabele, 16 formule și 9 anexe. Rezultatele obținute ale tezei au fost publicate în 10 lucrări științifice, cu un volum total de peste 4 coli de autor.

Cuvinte cheie: proiect de informații (IP), sistem informațional (IS), software, calitatea IP, caracteristici de calitate, standarde de calitate, metamodel generic de calitate, model particularizat de calitate, sistem de management al calității (QMS).

Scopul și obiectivele cercetării. Scopul tezei constă în furnizarea de calitate a IPs. **Obiectivele tezei** constau în dezvoltarea metamodelului generic de calitate, care integrează cunoștințele despre modelele de calitate cunoscute, factorii de calitate și cele mai bune practici, prezentate în standardele internaționale actuale; identificarea factorilor de calitate și construirea modelelor de calitate particularizate/specifice, obținute din metamodelul generic de calitate; evaluarea calității IP/IS de-a lungul ciclului de viață; specificarea cerințelor și dezvoltarea unei aplicații software-suport pentru administrarea metamodelului, generarea modelelor specifice, evaluarea calității, ca parte a *Project Management Office* (PMO) cu implementarea rezultatelor într-o organizație.

Noutatea științifică și originalitatea sunt reflectate într-o nouă abordare pentru evaluarea și îmbunătățirea continuă a calității IPs de-a lungul ciclului de viață, bazat pe combinația între metodologia modernă de dezvoltare Agile și modele de calitate particularizate, obținute din metamodelul generic și în aplicația originală/instrument software-suport a noii abordări.

Problema științifică importantă rezolvată în cercetare: noua abordare deschide posibilitatea de a defini calitatea IPs la nivel conceptual, creând baza pentru evaluarea formală ulterioară a gradului de conformitate a IPs dezvoltate cu cerințele de calitate.

Semnificația teoretică este confirmată de analiza, generalizarea și determinarea principiilor teoretice ale noii abordări a procesului de evaluare continuă a calității IP pe întregul ciclu de viață al proiectului, bazată pe combinația și relația dintre modelul de îmbunătățire a calității Deming, modele de calitate adaptabile și metodologia modernă de dezvoltare Agile.

Valoarea aplicativă. Noua abordare de evaluare a factorilor de calitate, metamodel generic, modele particularizate, funcțiile de măsurare - toate acestea au fost realizate într-un aplicație instrumentală software IPMS - *Information Project Management System,* ca extensie PMO. Abordarea propusă și aplicația elaborată au un potențial imens pentru industria software în reducerea semnificativă a timpului și costului evaluării calității IPs și îmbunătățirii calității.

Implementarea rezultatelor. Noua abordare de evaluare a calității și instrumentul software realizat sunt implementate în „WGS”, Israel *(Anexa 5)* și în procesul de studiu al Universității de Stat din Moldova *(Anexa 6).*Dar, aceste rezultate pot fi, de asemenea, utilizate direct de orice alte organizații implicate în dezvoltarea IPs și/sau de către cercetătorii și studenții altor instituții de învățământ a disciplinelor de inginerie software.

ANNOTATION

The thesis ***„Providing Quality of Information Projects”*** is written in English and submitted by Mr. *Ran BERGMANN* for fulfillment of the requirements for the PhD in informatics, specialty *121.03 – Computer programming*. The thesis was elaborated at the Moldova State University, Chisinau.

The structure of the thesis: The thesis consists of *Introduction, 4 main chapters, Conclusions and recommendations, Bibliography* of 167 titles. The main text amounts up to 1561 pages, includes 55 figures, 16 tables, 16 formulas, and 9 annexes. The obtained results of the thesis were published in 10 scientific papers, with a total volume over 4 sheets of author.

Keywords: Information Project (IP), Information System (IS), Software, Quality of IP, Quality characteristics, Quality standards, Generic Quality Metamodel, Tailored Model of Quality, Quality Management System (QMS).

Research Goal and Objectives. The aim of this thesis is to provide quality of IPs. **The objectives** of thesis are described as follows: developing the generic quality metamodel, which integrates the knowledge about known quality models, quality factors, and the best practices, presented on the actual international standards; identifying of the quality factors, and building the tailored/specific quality models, obtained from generic quality metamodel; assessing of quality along lifecycle; specify the requirement, develop a software application to support for metamodel administration, generation of tailored models and quality assessment, as part of the Project Management Office (PMO), with the implementation of results in an organization.

The scientific novelty and originality are reflected in a new approach for continuous assessment and improvement of IPs quality along lifecycle based on combination between modern Agile development methodology and tailored quality models, obtained from generic metamodel and in an original digital application/tool for support of new approach.

The important scientific solved problem in the research: new approach opens up the possibility to define the quality of IPs at the conceptual level, creating the basis for the subsequent formal assessment of the degree of compliance of the developed IPs with the quality requirements.

The theoretical significance is confirmed by the analysis, generalization and determination of the theoretical principles of a new approach for the continuous process of assessing the quality of IP throughout the project life cycle, based on the combination and relationship between the Deming quality improvement model, adaptable quality models and the modern Agile development methodology.

The applicative value. The new assessment approach for quality factors, generic metamodel, tailored models, measurement functions – all of these have been realized in a software application tool IPMS - *Information Project Management System*, as extension for the PMO. The proposed approach and elaborated application have huge potential for software industry in reducing significantly the time and cost of quality assessment of IPs and improvement of quality.

The implementation of the results. The new assessment approach and the realized software tool are implemented in "WGS", Israel *(Annex 5)* and in the study process of the Moldova State University *(Annex 6)*. However, these results also can be directly used by any other organizations concerned with IP development and/or by researchers and students of other educational institutions at software engineering disciplines.

АННОТАЦИЯ

Диссертация на тему ***«Обеспечение качества информационных проектов»*** написана на английском языке и представлена господином *Ран БЕРГМАНН* для получения степени кандидата наук по Информатике, специальность *121.03 – Компьютерное программирование.* Диссертация была разработана в Молдавском Государственном Университете.

Структура диссертации: Диссертация состоит из введения, 4-ех основных глав, заключения и рекомендаций, списка литературы из 167 наименований. Основной текст составляет 161 страницы, включает 55 рисунков, 16 таблиц, 16 формул и 9 приложений. Полученные результаты опубликованы в 10-ти научных работах, общим объемом свыше *4 авторских листов.*

Ключевые слова: *информационный проект (IP), информационная система (IS), программное обеспечение, качество IP, характеристики качества, стандарты качества, обобщенная метамодель качества, частная модель качества, система менеджмента качества (QMS).*

Целью работы является обеспечение качества IS. Подцели состоят в разработке обобщенной метамодели качества, которая объединяет знания об известных моделях качества, факторах качества и лучших практиках, представленных в актуальных международных стандартах; выявление факторов качества и построение частных/ специфических моделей качества, полученных из обобщённой метамодели качества; оценка качества на протяжение жизненного по цикла *IP*; спецификация требований и разработка программного приложения-инструмента для поддержки метамодели, создания специализированных моделей и оценки качества IS, как часть Офисного Управления проектами (PMO), с внедрением результатов в некоторой организации.

Научная новизна и оригинальность отражены в новом подходе к непрерывной оценке и улучшению качества IS на протяжении жизненного цикла на основе сочетания современной методологии разработки Agile и адаптируемых моделей качества, полученных из обобщенной метамодели и в оригинальном цифровом приложении/инструменте для поддержки нового подхода.

Важной научной проблемой, решаемой в исследовании, является новый подход, который открывает возможность определения качества IS на концептуальном уровне, создавая основу для последующей формальной оценки степени соответствия требованиям качества, разработанных IS.

Теоретическая значимость работы подтверждается анализом, обобщениями определением теоретических принципов нового подхода для непрерывного процесса оценки качества ИС на протяжении жизненного цикла проекта, основанного на объединение и связь между моделью повышения качества Деминга, адаптируемых моделей качества и современной методологии гибкой разработки Agile.

Прикладная ценность работы. Новый подход к оценке факторов качества, обобщенная метамодель, адаптируемые модели, функции измерения были реализованы в программном инструменте IPMS *Information Project Management System* как расширение для PMO. Предлагаемый подход и разработанное приложение имеют огромный потенциал для индустрии программного обеспечения в значительном сокращении времени и затрат на оценку качества ИС и их улучшение в программном инструменте (Information Project Management System) как расширение для PMO.

Внедрение результатов. Новый подход к оценке качества и реализованный программный инструмент внедрены в "WGS", Израиль (Приложение 5) и в учебном процессе Молдавского Госуниверситета (Приложение 6). Эти результаты также могут непосредственно использоваться любыми другими организациями, занимающимися разработкой ИС, и/или исследователями и учащимися других учебных заведений по дисциплинам, связанных с разработкой программного обеспечения.

BERGMANN RAN

ASIGURAREA CALITĂȚII PROIECTELOR INFORMAȚIONALE

Specialitatea 121.03 – Programarea calculatoarelor

Autoreferatul tezei de doctor în informatică

Aprobat spre tipar: 08.05.2020	Formatul hârtiei 60×84 1/16
Hârtie ofset. Tipar ofset.	Tiraj 50 ex.
Coli de tipar: 2.0	Comanda nr.____

Centrul Editorial-Poligrafic al USM

str. A. Mateevici 60, Chișinău MD-2009, Republica Moldova