

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Daniel Brulc

**Metode in računalniška orodja za
analiziranje odpovedi in napak**

DIPLOMSKO DELO
VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Daniel Brulc

**Metode in računalniška orodja za
analiziranje odpovedi in napak**

DIPLOMSKO DELO
VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: viš. pred. dr. Damjan Vavpotič

Ljubljana, 2011



Št. naloge: 00151/2011

Datum: 05.09.2011

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **DANIEL BRULC**

Naslov: **METODE IN RAČUNALNIŠKA ORODJA ZA ANALIZIRANJE ODPOVEDI
IN NAPAK**
**METHODS AND COMPUTER BASED TOOLS FOR FAILURE
ANALYSIS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

V okviru diplomske naloge preučite in predstavite najbolj razširjene metode in pristope s področja analiziranja odpovedi in napak. Preučite tako strukturirane kot nestrukturirane metode, ki so aktualne v okviru obvladovanja širšega področja vzdrževanja v podjetjih. V diplomski nalogi predstavite tudi informacijska orodja, ki so na voljo za analiziranje odpovedi in napak. Izdelajte pregled orodij in predstavite ključne funkcije, ki jih orodja podpirajo.

Mentor:

viš. pred. dr. Damjan Vavpotič

Dekan:

prof. dr. Nikolaj Zimic



Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani Daniel Brulc,
z vpisno številko 63070214,

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Metode in računalniška orodja za analiziranje odpovedi in napak

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom
viš. pred. dr. Damjana Vavpotiča,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela,
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne 20. 09. 2011

Podpis avtorja:

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju, viš. pred. dr. Damjanu Vavpotiču, za njegovo pomoč in nasvete pri izdelavi naloge.

Zahvaljujem se družini, ki mi je omogočila študij, in prijateljem za spodbudo.

Zahvaljujem se Bojanu Šinkovcu, ki mi je predlagal obdelano področje.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	3
1 Uvod	5
2 Analiziranje poslovanja	7
2.1 Proces analiziranja	7
2.2 Operativna in finančna analiza.....	8
2.3 Poslovna inteligenca.....	8
2.4 Odkrivanje zakonitosti iz podatkov	9
3 Metode analiziranja odpovedi in napak	11
3.1 Osnovni pojmi	11
3.2 Cilji analiz.....	12
3.3 Uporaba metod v zdravstvu	13
4 Analiza temeljnih vzrokov	15
4.1 Prvi korak: opredelitev problema.....	15
4.2 Drugi korak: zbiranje podatkov	16
4.2.1 CATWOE.....	16
4.3 Tretji korak: ugotavljanje možnih vzrokov	17
4.3.1 Iskrenje idej	17
4.3.2 5-krat zakaj.....	18
4.3.3 Vrtanje v globino.....	18
4.3.4 Diagram vzrok-posledica	19
4.3.5 Diagram odnosov	21
4.4 Četrti korak: identificiranje temeljnih vzrokov	21
4.4.1 Paretovo načelo.....	22
4.5 Peti korak: priporočila in implementiranje rešitev	22

5	Analiza drevesa odpovedi	25
5.1	Vloga FTA	28
5.2	Kvalitativno vrednotenje	29
5.3	Kvantitativno vrednotenje	30
6	Analiza načina odpovedi in posledic	33
6.1	Tipi analize FMEA	33
6.2	Izdelava analize FMEA	34
6.3	Prednosti analize FMEA	34
6.4	Programska FMEA	35
7	Informacijska orodja	37
7.1	Primerjava orodij	38
7.2	Aplikacija RealityCharting RCA	40
7.2.1	Apollo RCA	40
7.2.2	Uporaba	41
7.3	Aplikacija ACF	43
7.3.1	Opis problema	43
7.3.2	Arhitektura sistema	44
7.3.3	Primeri uporabe	44
7.3.4	Opis aplikacije	46
	Sklepne ugotovitve	51
	Slike	53
	Tabele	55
	Literatura	57

Seznam uporabljenih kratic

AICPA (angl.) American Institute of Certified Public Accountants.

ARCA (angl.) Apollo Root Cause Analysis; Apollo analiza temeljnih vzrokov.

CATWOE (angl.) Customer, Actor, Transformation, Worldview, Owner, Enviroment; Stranka, uporabnik, proces, svetovni nazor, lastnik, okolje.

FMEA (angl.) Failure Mode and Effect Analysis; Analiza načinov odpovedi in posledic.

FTA (angl.) Fault Tree Analysis; Analiza drevesa odpovedi.

RCA (angl.) Root Cause Analysis; Analiza temeljnih vzrokov.

RPN (angl.) Risk priority number; Faktor tveganja.

SSM (angl.) Soft Systems Methodology; Metodologija mehkih sistemov.

TPM (angl.) Total Productive Maintenance; Celovito produktivno vzdrževanje.

Povzetek

Namen diplomske naloge je predstaviti najbolj razširjene metode s področja analiziranja odpovedi in napak. Obvladovanje širšega področja vzdrževanja lahko pomembno vpliva na učinkovitost podjetja – predvsem na področju razporejanja sredstev. Analiziranje, kot temelj poslovnega odločanja, je z uporabo sodobnih pristopov in tehnologij močno napredovalo. Danes lahko tako poleg statističnih analiz iščemo tudi vzorce in odnose v podatkih. Analiza temeljnih vzrokov je reaktivna metoda za odkrivanje pravega vzroka okvare, ki jo uporabimo, ko odpoved že nastopi. Pri tem lahko za odkrivanje dejavnikov uporabimo različne nestrukturirane ali strukturirane pristope. Analiza drevesa odpovedi, kot proaktivna metoda, temelji na drevesu odpovedi, ki ga sestavljajo dogodki in logična vrata. Logična vrata ponazarjajo odvisnosti med dogodki. Drevo analiziramo s pomočjo Boolove logike in ga tako kvalitativno ali kvantitativno ovrednotimo, kar nam da pomembno informacijo o verjetnosti dogodkov ali zanesljivosti, če je predmet preučevanja komponenta. Druga proaktivna metoda je analiza možnih načinov odpovedi in posledic, ki izhaja iz spiska vseh odpovedi. Za vsako odpoved nato izračunamo faktor tveganja. Seznam odpovedi, urejen po faktorju tveganja padajoče, je jasni pokazatelj, katera odpoved predstavlja največjo nevarnost. V zadnjem poglavju je obravnavan prototip informacijskega sistema, ki je namenjen analiziranju odpovedi. Informacijski sistem uporabniku omogoča definiranje odpovedi in nadaljnje analiziranje po različnih kriterijih, ki nam pomagajo pri sprejemanju ustreznih ukrepov za zmanjšanje odpovedi in napak.

Ključne besede:

analiza odpovedi, zagotavljanje kakovosti, učinkovitost, odprava vzroka, informacijska podpora

Abstract

The purpose of this thesis is to present the most commonly used methods for failure analysis. Maintenance management can significantly affect the efficiency of a company – particularly in terms of allocating resources. Analysis, as the cornerstone of business decision making and using modern approaches and technologies, has progressed substantially. Using modern approaches, such as data mining, we can discover the relationship between data and find patterns in them. Root-cause analysis (RCA) is a reactive method used for finding the real cause of failure. We use RCA when failure has already occurred. The method uses different creative and structured approaches. Fault tree analysis is a proactive method, consisting of event and logical gates that present the relationship between events. We analyse the fault tree using the rules of Boolean logic. Qualitative and quantitative evaluation of the fault tree give important information about the probability of the events or the reliability of the component. The second proactive method presented is Failure Mode and Effect Analysis, which is based on a list of possible failures. For each failure, we calculate the risk priority number. The list of failures, sorted descending by RPN, is an indicator of the importance of each failure. In the last section, we present a prototype application for failure analysis. Using this application, users can describe the failure and make further analyses based on various criteria. This helps management make correct decisions for reducing failures and errors.

Key words:

failure analysis, quality assurance, efficiency, root cause, IT support

1 Uvod

Če je bilo kdaj pomembno delati učinkovito, je to v obdobju, ko se vsi soočamo z gospodarsko in finančno krizo. Varčevati je treba na vseh področjih. Z omejevanjem porabe sredstev, zmanjševanjem investicij itd. smo želeli ohraniti svoj položaj v družbi. V hitrem svetu tržnega gospodarstva in vse močnejše konkurence je za podjetje bistvenega pomena, da strankam ponudi kakovostne poslovne učinke. Izdelki in storitve morajo zadovoljiti kar največ potreb in želja kupca, njihova zanesljivost in kakovost pa sta bistveni lastnosti, ki zagotavljata konkurenčno prednost podjetja.

Nezgode pri delu, odpovedi v proizvodnem procesu in napake poslovnih učinkov imajo neposreden vpliv na poslovni izid podjetja, torej učinkovitost podjetja. Tovrstni dogodki povzročajo visoke stroške in prekinitve v poslovnem procesu, s tem pa izpad prihodka. V naravi ljudi je, da ob nastalih okvarah razmišljamo le o odpravi posledic ter čim prejšnjem ponovnem zagonu oziroma vzpostavitvi normalnega stanja. S takšnim načinom smo na dobri poti, da se bo okvara ponovila, s tem pa tudi stroški, ki smo jih povzročili z vzdrževanjem. S pravilnim pristopom lahko ponoven nastop okvare preprečimo.

Obravnavanje napak in okvar, ki so že nastale, danes ni edina dejavnost vzdrževanja. Razmišljanje o možnih napakah, odpovedih in njihovih posledicah je postalo pomemben del vzdrževanja. Na vprašanji, kakšne so možne odpovedi in kakšne so posledice, lahko odgovorimo že tudi v začetnih fazah razvoja. Nove informacijske tehnologije so nam pri tem v pomoč, še vedno pa je potrebno poznavanje celotnega procesa oziroma poslovnega učinka. Obstaja več metod in analiz, ki obravnavajo že nastale okvare in napake, kot tudi takšne, ki preučujejo možne odpovedi in določajo zanesljivost poslovnega učinka. Tovrstni pristopi so danes postali del številnih metod zagotavljanja kakovosti (TPM, Kaizen¹...).

Odpovedi se kljub preventivnim aktivnostim še vedno dogajajo, zato je treba znanje o njih dokumentirati. Uporaba informacijskih tehnologij na teh področjih še ni močno razširjena. Podjetja uporabljajo lastne rešitve, ki so neprimerne in pomenijo dodatne

¹ Japonsko za izboljšavo. Navezujoč na poslovni proces pomeni aktivnosti, ki zagotavljajo stalne izboljšave.

stroške razvoja. Informacijski sistemi s področja analiziranja odpovedi nam omogočajo analiziranje po različnih kriterijih, na primer po vrsti odpovedi, delovnem mestu, po stroju, zaposlenem, poljubnem časovnem obdobju itd. Na tak način lahko ob zadostni bazi podatkov odkrivamo vzorce in odnose med podatki, ki nam pomagajo pri sprejemanju ustreznih ukrepov za zmanjšanje odpovedi in napak.

V diplomski nalogi obravnavamo najbolj razširjene metode s področja analiziranja odpovedi in zagotavljanja kakovosti. V uvodnih poglavjih predstavimo reaktivno analizo temeljnih vzrokov in možna orodja. Kot proaktivni metodi v naslednjih poglavjih predstavimo analizo drevesa odpovedi in analizo načinov odpovedi in posledic. Zadnje poglavje je namenjeno predstavitvi prototipa aplikacije za analiziranje odpovedi.

2 Analiziranje poslovanja

Podatki so koristni in prinašajo dodano vrednost predvsem v primeru, ko je mogoče na njihovi podlagi pridobiti informacije oz. prepoznati pravila in vzorce, ki služijo kot podpora pri odločanju.

Danes sredstva in strokovna delovna sila niso nič več pglavitni določevalci moči nekega gospodarstva. Ekonomske zmožnosti so danes odvisne od sposobnosti obvladovanja in ustreznega umeščanja informacije. Prave in pravočasne informacije so dragocena prvina za učinkovito in uspešno odločanje. Tovrstne informacije ob ustreznih nosilcih odločitev omogočajo, da podjetja izkoristijo svoje priložnosti in tako pridobijo prednost pred konkurenco. Do takšnih informacij lahko pridemo ravno z analiziranjem zajetih podatkov. »Analiziranje poslovanja je tista dejavnost v podjetju, s katero se preverjajo povezave med izidi in vložki prvin poslovnega procesa. Rezultat analize je analitsko poročilo. Z analiziranjem preverjamo ustreznost opazovanega procesa ali izdelka glede na izbrano sodilo. Z analiziranjem pridemo do zaključkov, na podlagi katerih podamo rešitve za izboljšanje poslovanja« [6].

Ob uporabi informacijskih orodjih je danes analiziranje veliko lažje, kot je bilo to včasih. Kljub temu ostaja pomembno dobro poznavanje namena, ciljev, organizacije, procesov in projektov. Analitik ne samo da sestavi primerne rezultate analize, ampak mora tudi izdelati zaključke in predlagati možne smeri prihodnjega poslovanja, da bi združba lahko dosegla cilje.

2.1 Proces analiziranja

Ključnega pomena za kakovostno analizo je, da temeljito razmislimo o namenu, ciljih in metodah analiziranja. Namen analiziranja je nekaj izboljšati, rešiti ali pridobiti večji izkoristek. Zato moramo objekt analize najprej spoznati, da bomo lahko uporabniku analize predlagali izboljšave, ki bodo povečale uspešnost.

Splošne sestavine, značilne za analizo poslovanja, so naslednje [7]:

- proces ali dejavnost;
- objekt oziroma predmet analize poslovanja;

- cilj analize kot spoznanje ali odkrivanje pogojenosti oziroma ustvarjanje vpogleda v poslovanje podjetja;
- namen analize, ki se kaže kot ocena analiziranega objekta ter kot napor po izboljšanju poslovanja;
- metoda kot določena pot do spoznanja.

2.2 Operativna in finančna analiza

Po ugotovitvah AICPA avtorji v okviru analize poslovanja razlikujejo med operativno in finančno analizo. Slednja temelji na podatkih v računovodskih izkazih, ki jih podjetje navadno predloži državnim institucijam, operativna analiza pa izhaja iz podatkov, ki jih finančna analiza izključuje, z njimi pa običajno razpolaga podjetje samo.

Za operativno analizo so potrebni podatki o poslovanju in operativne mere uspešnosti. AICPA mednje uvršča podatke o poslovanju in statistične podatke o posameznih aktivnostih. Takšni so podatki o uspešnosti poslovnih proizvodov in storitev, stroški posameznih aktivnosti, čas, ki je potreben za izvajanje določenih aktivnosti in podobno. Podatki so izraženi v denarnih enotah, številu proizvodov, zaposlenih ali enotah časa.

S finančno analizo torej mislimo predvsem na analizo računovodskih kategorij in kazalnikov, ki predstavljajo agregirane podatke in služijo kot podlaga za odločanje menedžmentu na najvišjem nivoju.

Operativna analiza zajema tako finančne kot tudi nefinančne podatke in kazalnike. Nanaša se na analizo posameznih delov podjetja, poslovnih funkcij, procesov ali aktivnosti v podjetju ter služi kot podlaga za odločanje na nižjem nivoju.

2.3 Poslovna inteligenca

S tehnološkim napredkom v ospredje vse bolj stopa poslovna inteligenca (angl. business intelligence). Poslovna inteligenca zajema znanje, tehnike, programe in postopke, ki omogočajo enostavnejše in hitrejše pridobivanje, predvsem pa lažje analiziranje podatkov za poslovno odločanje.

Pojem poslovna inteligenca je prvi uporabil IBM-ov raziskovalec Hanc Peter Luhn. Zapisal je, da je to zmožnost doumeti razmerja iz dejstev in si ustvariti predstavo na način, ki vodi proces odločanja v smeri zelenega cilja.

Vodilna svetovna analitska organizacija Gartner je poslovno inteligenco opredelila kot širok nabor aplikacij in tehnologij za zbiranje, hranjenje, analiziranje, izmenjevanje in omogočanje dostopa do podatkov z namenom pomagati poslovnim uporabnikom priti do boljše poslovne odločitve. Torej je bistvo poslovne inteligence sprejemanje boljših, pravih poslovnih odločitev.

2.4 Odkrivanje zakonitosti iz podatkov

Uspešna podjetja se od ostalih razlikujejo tudi po tem, da znajo pravočasno predvideti spremembe in se nanje pravočasno ter pravilno odzvati. Informacijska tehnologija nam danes omogoča iskanje zakonitosti med podatki, kar imenujemo odkrivanje zakonitosti iz podatkov. To je proces raziskovanja velike količine podatkov, z namenom odkriti uporabne vzorce in pravila [2]. Cilj podatkovnega rudarjenja je najti pravila, ki nam omogočajo opredeliti odnos med vzroki in posledicami. Na podlagi množice dejstev lahko nato napovemo dogodek.

Informacijski sistemi vključujejo celo vrsto potrebnih algoritmov za odkrivanje zakonitosti. Omogočajo delo prek uporabniku prijaznih vmesnikov, še vedno pa je potrebnega veliko znanja ter poznavanja ustreznih metod in izkušenj.

3 Metode analiziranja odpovedi in napak

Analize za zagotavljanje kakovosti so pomemben del vsakega inženirskega področja. Analize, kot so FMEA, FTA in RCA, danes uporabljamo za analiziranje potencialnih ali že nastalih odpovedi. Uporabljajo jih tudi pri analiziranju letalskih in naravnih nesreč, preučevanju kaznivih dejanj itd.

Zaradi interesa avtomatizacije procesov in izdelkov le-ti postajajo vse bolj kompleksni in zato težko obvladljivi. Povečuje se tudi problem nezanesljivosti teh izdelkov in napovedovanje njihovega delovanja v prihodnosti. Na vprašanja, kot so: kdaj lahko pričakujemo odpoved, s kakšno verjetnostjo, koliko časa bo trajala odprava napake, lahko odgovorimo s pomočjo uporabe ustreznih metod.

Ko odpoved nastopi, se ne smemo odzvati samo na simptome in odpravo posledic. V takšni situaciji moramo ugotoviti vzrok za nezaželeno stanje, ki preprečuje cilj, in izboljšati delovanje naprave, sestavni del ali proces. Odpovedi lahko analiziramo že v času načrtovanja in razvoja.

Analize za zagotavljanje kakovosti lahko razdelimo na proaktivne in reaktivne. Proaktivne so tiste, s katerimi lahko že v zgodnjih fazah razvoja procesa ali izdelka ugotovimo, minimaliziramo ali odpravimo odpoved. Mednje uvrščamo analizi FTA in FMEA. Reaktivne analize so tiste, ki jih uporabimo, ko odpoved že nastopi. Takšna je na primer RCA.

3.1 Osnovni pojmi

Za lažje razumevanje nadaljevanja objasnimo osnovne pojme, ki so povezani z zanesljivostjo in analizo odpovedi.

Odpoved sistema (sestavne del) je prenehanje njegove sposobnosti, da zadovoljivo opravlja zahtevano funkcijo [4].

Standard EN 13306² razlaga odpoved kot prenehanje zmožnosti sredstva za opravljanje zahtevane funkcije. Po odpovedi ima sredstvo okvaro, ki je lahko delna ali popolna. Odpoved je dogodek, okvara pa je stanje.

Isti standard opredeljuje analizo odpovedi kot logično, sistematično preiskovanje sredstva, ki je odpovedalo, s ciljem prepoznati in analizirati mehanizme, vzroke in posledice odpovedi.

Zanesljivost procesa, izdelka ali sistema je verjetnost, da bo sistem opravljal svojo nalogo pod določenimi pogoji v določenem časovnem intervalu [4].

O analizi zanesljivosti govorimo, ko uporabljamo sistematične metode, na podlagi katerih lahko podamo oceno zanesljivosti našega sistema.

3.2 Cilji analiz

Poglavitni cilj uporabe analiz je zmanjšati stroške razvoja, vzdrževanja in proizvodnje ter preprečiti nenačrtovane zastoje. Če pomembne odpovedi predvidimo ali odpravimo že v začetnih fazah razvoja, lahko izrazito vplivamo na stroške razvoja. V teh fazah je motivacija za vpeljavo sprememb visoka, prav tako so stroški nižji. Z uporabo tovrstnih analiz želimo izboljšati stanje. Ta se nanaša na odpravo ključnih vzrokov problemov v procesu. Pomembno pri tem je, da iščemo rešitve, ki ne zahtevajo spreminjanja procesa. Izboljšave v procesu se osredotočajo na povečanje učinkovitosti, stopnje razpoložljivosti opreme, skrajšanje časa obdelovalnega cikla, zamenjavo človeka z avtomatizirano opremo itd.

Cilj uporabe analiz je povečati zanesljivost in kakovost izdelka ali procesa. Bistvena konkurenčna prednost podjetja je kakovost in zanesljivost izdelkov ali storitev. Zanesljivost vpliva na varnost kot tudi na produktivnost sistema. Povečanje zanesljivosti sistema pomeni manj zastojev in s tem nižje stroške poslovanja.

Z odpravo vzrokov zmanjšamo zastoje, ki so potrebni zaradi vzdrževanja. Nizke zanesljivosti ne moremo nadomestiti z intenzivnejšim vzdrževanjem naprav. Vplivamo tudi na negativne vplive na okolje.

² Evropski standard, ki natančno označuje izvirne izraze in definicije tehničnega, administrativnega in upravljaljskega vzdrževanja. Standarda ne moremo uporabljati za izraze, ki se navezujejo zgolj na vzdrževanje programske opreme.

3.3 Uporaba metod v zdravstvu

Glavni razlog za uporabo tovrstne metode v zdravstvu je dokazana večja zanesljivost in zmanjšano tveganje. V zdravstvu to pomeni zmanjšanje števila napak in izboljšana varnost pacienta.

FMEA lahko uporabimo na primer za izboljšanje procesa potreb po zdravlilih – primeren čas dostopa do zdravil v izrednih razmerah. FMEA so že uporabili pri preprečevanju gneče na urgentnem oddelku. Z uporabo smerokazov so ponazorili smer obravnavanja, pri tem pa so izboljšali izkoriščenost virov in zmanjšali zamude pri izvajanju zdravstvene oskrbe. FMEA so uporabili pri načrtovanju nove bolnišnice (minimalna pot za kritične paciente, pomanjkanje zdravstvene oskrbe na enem oddelku, neoperativna dvigala).

Joint Commission³ je FMEA leta 2002 uvedel kot del standarda JCAHO LD.5.2 in tako je analiza postala širše uporabljena tudi v zdravstvu.

³ Neodvisna, neprofitna organizacija, ki certificira več kot 19.000 organizacij in programov zdravstvene nege v Združenih državah Amerike. Certifikat je priznan kot simbol kakovosti, ki se odraža v izpolnjevanju določenih standardov.

4 Analiza temeljnih vzrokov

Analiza temeljnih vzrokov (angl. root cause analysis, RCA) je ena izmed tehnik analiziranja, s katero določimo osnovni razlog, ki povzroči odmik, hibo, napako ali tveganje. Temeljni vzrok ima lahko za posledico več kot le en odmik, hibo, napako ali tveganje. Ena od možnih razlag je tudi, da je to tehnika, pri kateri poskušamo z analiziranjem vzrokov in njihovih medsebojnih odvisnosti odpraviti težave in z nadaljnjim pravilnim pristopom preprečiti njihovo ponavljanje [15].

Cilji analize so:

- opredeliti in dokončno opraviti ponavljajoče odpovedi na napravah in sistemu;
- zmanjšati čas izpada in popravila;
- povečati zanesljivost opreme;
- določiti stroškovno učinkovitost odprave temeljnih vzrokov.

Analiza temeljnih vzrokov predpostavlja, da so sistemi in dogodki povezani – ukrepanje na enem področju sproži premike na drugem in tako naprej. S sledenjem teh aktivnosti lahko ugotovimo, kje se vzrok pojavi. Gre za preiskovanje vzorcev negativnih učinkov, napak v sistemu in ukrepov, ki so vodili k problemu. Zato pogosto najdemo več kot en vzrok. Analizo lahko uporabimo pri skoraj vsaki situaciji, vendar pa je potrebna dobra presoja, kako daleč po sledi vzrokov bomo šli. V situacijah, pri katerih kot rezultat dobimo več kot en vzrok, moramo ugotoviti, kateri je v našem primeru odločujoči. Pri tem ima nepoznavanje delovanja celotnega sistema lahko hude posledice. Analizo temeljnih vzrokov lahko razdelimo na pet korakov.

4.1 Prvi korak: opredelitev problema

Namen prvega koraka je jasno in natančno opredeliti problem, ki ga želimo rešiti. Opredeliti je treba, kaj se je zgodilo, kdo je odgovoren za nastalo situacijo, področje ter kdaj in kje se je zgodilo.

Oprelitev problema je ključnega pomena za nadaljnje korake analize in mora biti razumljiva vsem vključenim. Max Ammerman je definiral dva kriterija, ki ju mora izpolniti dober opis problema [1]:

- opis se osredotoča na razliko med rezultatom in pričakovanim rezultatom (odraža spremembo ali odstopanje od zahtev, norm, standardov ali pričakovanj);
- navaja učinek oziroma kaj je narobe in ne, zakaj je narobe.

4.2 Drugi korak: zbiranje podatkov

V nekaterih virih bomo korak definiranja problema in korak zbiranja informacij zasledili združena v skupnem koraku, saj sta tudi v resnici ti dve aktivnosti med seboj prepleteni. V drugem koraku z dokazi podrobneje definiramo problem, ga časovno opredelimo in definiramo njegove posledice.

Pomembno je, da stanje opišemo v celoti in v to vključimo vse ključne osebe – poznavalce področja, strokovnjake in uporabnike, ki razumejo nastalo situacijo. V tem koraku si lahko pomagamo s tehniko CATWOE.

4.2.1 CATWOE

Orodje CATWOE je bilo v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja predstavljano kot orodje metodologije mehkih sistemov (angl. soft systems methodology, SSM) [9]. Peter Checkland opisuje CATWOE kot preprost seznam, ki ga lahko uporabimo za spodbujanje razmišljanja o problemu in morebitnih rešitvah. Širše bi lahko CATWOE opredelili kot orodje za pripravo natančnih in razumljivih opredelitev sistema kot osnovo za reševanje problemov z več vidikov, na strukturiran način, ki sestoji iz treh elementov: kaj sistem dela, kako sistem deluje in čemu je sistem namenjen [9]. CATWOE definira elemente, ki jih moramo opredeliti:

- uporabnik ali stranka (angl. client, customer);
Osebe, zaradi katerih sistem obstaja in navadno uporabljajo rezultat sistema. Potrebno je razumevanje, kako proces ali sistem vpliva nanje.
- akter (angl. actor);
Oprelitev interesne skupine, ki je vključena v izdelavo in odgovorna za delovanje sistema.
- proces (angl. transformation);
Oprelitev procesa za pretvorbo vhodov v izhode sistema je temelj za definiranje vseh ostalih elementov.

- svetovni nazor (angl. worldview);
Sistem ali proces umestimo v širši kontekst z namenom preučevanja vplivov in prepoznavanja posledic na celotnem sistemu.
- lastnik (angl. owner);
Oseba, ki je naročila sistem, izvede spremembe ali pa ima formalno moč, da sistem ustavi oziroma zmanjša njegov obseg.
- okoljske omejitve (angl. environment).
Pomemben element analize, ki opredeljuje omejitve iz okolja, ki sistem ovirajo, omejujejo spremembe ali omejitve, v katerih sistem deluje.

4.3 Tretji korak: ugotavljanje možnih vzrokov

V tem koraku poskušamo najti čim več možnih vzrokov. Za to imamo na voljo več orodij in metod. Nekatere metode so manj formalne, zato zahtevajo več discipline in znanja, druge pa so bolj strukturirane in formalne. Slednje predpisujejo pravila, ki jih moramo upoštevati, in korake, ki jih moramo opraviti.

4.3.1 Iskrenje idej

V literaturi bomo najpogosteje zasledili, da v tem koraku uporabimo tehniko iskrenja idej (angl. brain storming). To je tehnika, pri kateri imamo največ svobode in temelji na skupinskem delu. Namenjena je predvsem generiranju čim večjega števila predlogov o vzroku problema [6].

Danes lahko tehniko izvajamo z različnimi pristopi. Nestrukturirana tehnika je najbližje izvorni tehniki iskrenja idej in ne predpisuje uporabe pravil. Sodelujoče usmerjamo k čim večjemu številu podanih idej. Slabost pristopa je, da lahko pride do zapostavljanja članov skupine. Strukturirane tehnike definirajo nekaj osnovnih pravil. Alex Faickney Osborn, ki je zaslužen za širšo uporabo tehnike, je definiriral štiri pravila [10]:

- osredotočimo se na količino;
- ne razpravljamo o smiselnosti;
- podajamo nenavadne in nelogične ideje;
- kombiniranje (do novih idej pridemo s pomočjo asociacij na neko že podano idejo).

4.3.2 5-krat zakaj

Metoda 5-krat zakaj (ang. five why) je še ena od metod odkrivanja temeljnih vzrokov okvare in relacij med simptomi, ki se kažejo kot posledica vzroka. Temelji na postavljanju preprostega vprašanja »zakaj?« v več zaporednih korakih. Iz imena lahko sklepamo, da se »zakaj?« vprašamo petkrat, vendar pa je to relativna ocena. Včasih bomo do rezultata prišli v manj korakih, včasih pa jih bomo potrebovali več.

Prednosti metode:

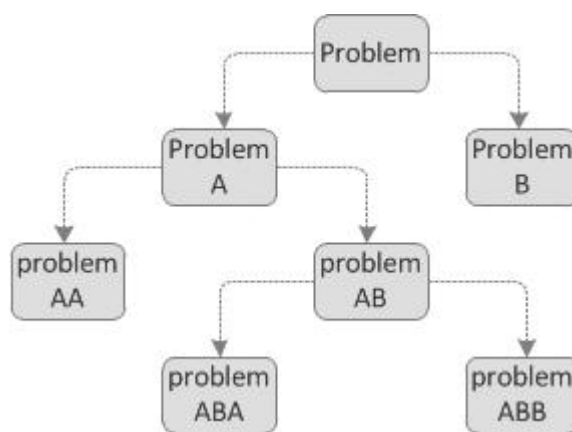
- enostavna: za uporabno ne potrebujemo posebnih orodij ali specifičnih znanj;
- učinkovita: do korenkega vzroka pridemo hitro;
- celovita: skozi analizo določimo tudi relacije med vzroki na višjem nivoju;
- fleksibilna: lahko jo uporabimo samostojno ali v kombinaciji z drugimi tehnikami;
- naravna, spodbuja skupinsko delo;
- ne povzroča dodatnih stroškov.

Slabosti metode:

- ni ponovljiva: različni ljudje bodo prišli do različnih rezultatov, zato je pomembno timsko delo;
- ni primerna za kompleksne probleme;
- rezultat je odvisen od predhodnih izkušenj – našli bomo tiste vzroke, ki so nam že poznani;
- neizkušen analitik bo pogosto prišel do rezultatov, kot so: ni dovolj časa, premalo vlaganj, premalo delovne sile ...

4.3.3 Vrtanje v globino

Vrtanje v globino (angl. drill down) je tehnika razbijanja kompleksnih problemov na manjše dele, ki jih lažje razumemo in obvladujemo. Na vrhu diagrama zapišemo problem, pod njim pa na naslednji ravni zapišemo dejavnike, ki prispevajo k problemu, informacije v zvezi s problemom ali pa vprašanja, ki jih problem povzroča (Slika 4.1). Postopek ponavljamo, dokler popolnoma ne razumemo dejavnikov, ki prispevajo k problemu.



Slika 4.1: Primer vrtnanja v globino.

Tehnika deli in vladaj (ang. divide and conquer) je podobna zgoraj opisani in je ena temeljnih strategij reševanja problemov v računalništvu.

Obstajata dve skupini problemov. Prvi so takšni, pri katerih rešitev enega od podproblemov že pomeni rešitev začetnega problema, druga skupina pa so problemi, pri katerih končno rešitev dobimo z reševanjem podproblemov in združitvijo rešitev.

4.3.4 Diagram vzrok-posledica

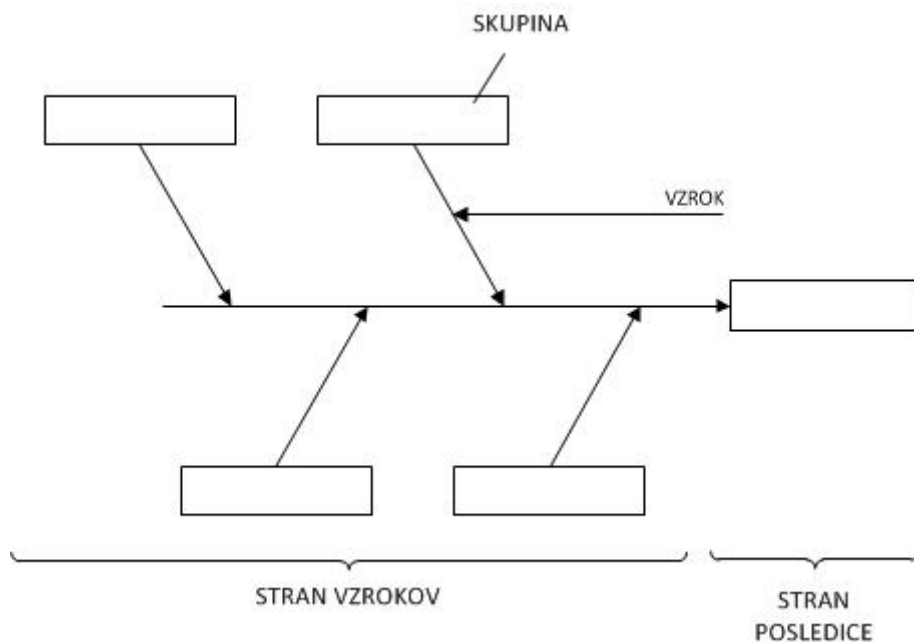
Diagram vzrok-posledica (angl. cause-effect diagram) je še eden od načinov analiziranja potencialnih vzrokov za nastop problema. Zaradi svoje značilne oblike skeleta ribe ga poznamo tudi pod imenom diagram ribje kosti (angl. fishbone diagram) ali diagram Ishikawa po svojem izumitelju [11].

Prednosti uporabe:

- diagram je enostaven za razumevanje;
- ni osredotočen na samo eno področje, ampak določa več skupin, ki jih je treba raziskati;
- uporabimo ga lahko na vseh področjih;
- uporabimo ga lahko pri vseh problemih;
- spodbuja razmišljanje in razpravo;
- širi znanje o procesu vključenih ljudi;
- za izdelavo ne potrebujemo posebnih orodij;
- omogoča sistematično organiziranje informacij o problemu.

Diagram vzrok-posledica ima dve strani – stran vzrokov in stran posledice (Slika 4.2).

V prvem koraku konstruiranja diagrama na koncu horizontalne črte zapišemo posledico oziroma identificirani problem, ki ga bomo analizirali. Ta del diagrama imenujemo stran posledice (angl. effect side). Dejavnike razvrstimo v skupine, ki predstavljajo odcepe od horizontalne črte navzgor in navzdol. To stran diagrama imenujemo stran vzrokov (angl. cause side) (Slika 4.2).



Slika 4.2: Zgradba diagrama vzrok-posledica.

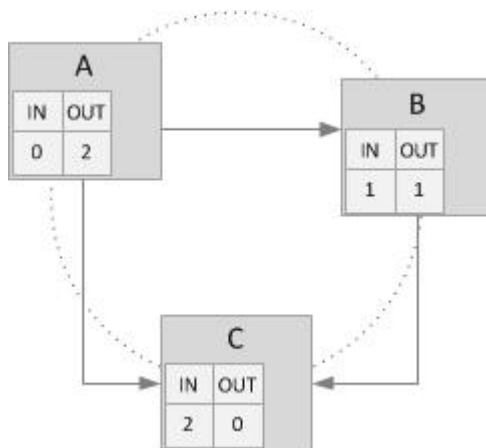
Skupine lahko določimo sami ali pa uporabimo kakšnega od seznamov najpogosteje uporabljenih skupin:

- 6M (material (angl. materials), človek (angl. manpower), metoda dela (angl. method), okolje (angl. mother nature), denar (angl. money), meritve (angl. measurements));
- 3M in P (metoda dela (angl. methods), material (angl. materials), stroji (angl. machinery), ljudje (angl. people));
- 4P (produkt (angl. product), cena (angl. price), prostor (angl. place), promocija (angl. promotion));
- 8P (produkt ali storitev (angl. product), cena (angl. price), prostor (angl. place), promocija (angl. promotion), ljudje (angl. people), proces (angl. process), fizični dokazi (angl. physical evidence), produktivnost in kvaliteta (angl. productivity & quality));
- 4S (okolica (angl. surroundings), dobavitelji (angl. suppliers), sistem (angl. system), spretnost (angl. skills)).

V naslednjem koraku analiziramo vsako od izbranih skupin, kar delamo s pomočjo tehnike iskrenja idej ali pa metode 5-krat zakaj. Vzroke, ki smo jih odkrili, zapišemo v diagram na stranske puščice. Določeni vzroki nastopijo zaradi nekega drugega vzroka, kar lahko ponazorimo z nadaljnji razvejitvami v diagramu. O relevantnosti samih vzrokov razmišljamo kasneje.

4.3.5 Diagram odnosov

Diagram odnosov (angl. interrelationship diagram) je eno izmed analitičnih orodij za izboljšanje kakovosti, razvitih po drugi svetovni vojni na Japonskem [14]. Diagram odnosov pojasnjuje povezavo med dejavniki, vpletenimi v kompleksni situaciji. Sestavljen je iz polj, ki predstavljajo problem ali dejavnik, in enosmernih puščic med polji, ki ponazarjajo odvisnosti med njimi (Slika 4.3). Polje, ki ima puščico usmerjeno proti drugemu polju, predstavlja vzrok. Iz enega polja lahko izhaja več povezav. Prav tako lahko v polje prihaja več povezav. Polje z najvišjim številom izhodnih povezav je najverjetneje temeljni vzrok. Polja z velikim številom vhodnih povezav pa so najverjetneje posledice in lahko služijo kot pomemben pokazatelj uspešnosti odprave problema.



Slika 4.3: Primer diagrama odnosov.

4.4 Četrty korak: identificiranje temeljnih vzrokov

Ko smo v prejšnjih korakih prepoznali več možnih vzrokov, začnemo z določanjem temeljnih vzrokov. Ammerman je za določanje temeljnih vzrokov definiral kriterije, ki postavljajo preproste pogoje za določitev, ali je kateri od vzrokov temeljni ali le posredni vzrok [1]. Izpolnjevanje kriterijev preprosto preverimo s postavljanjem vprašanj:

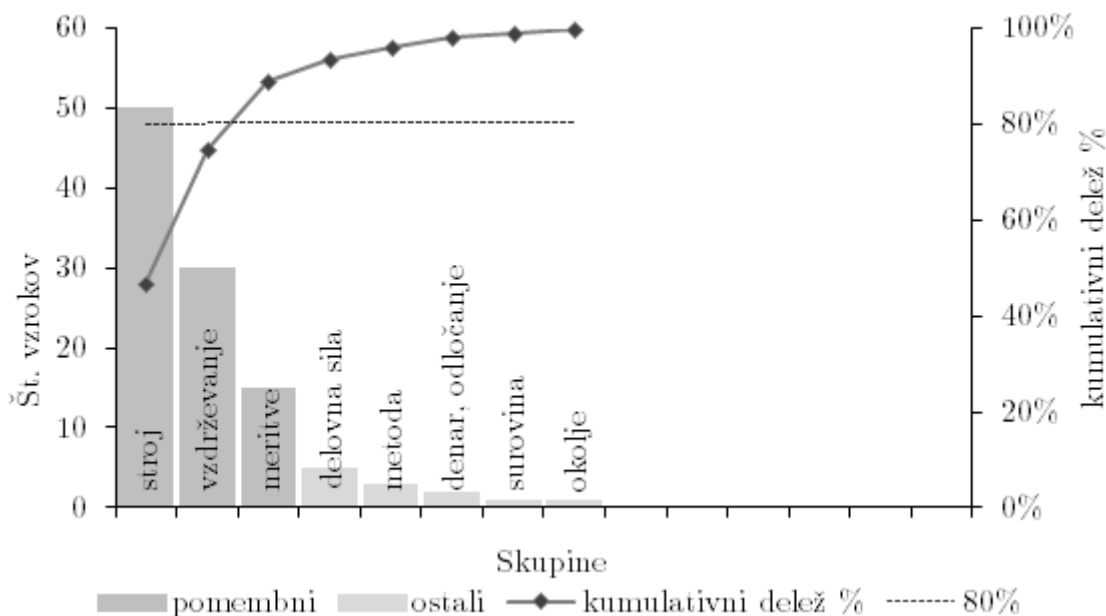
- Bi se problem pojavil, če vzrok ne bi bil prisoten? Če je odgovor ne, potem je to temeljni vzrok. Če je odgovor da, potem je to le posredni vzrok.

- Se bo problem ponovil kot posledica istega vzroka, tudi če je vzrok odpravljen? Če je odgovor ne, potem je to korenski vzrok. Če je odgovor da, potem je to posredni vzrok.
- Bo popravek vzroka privedel do podobnih dogodkov? Če ne, potem je to korenski vzrok. Če da, je potem to le posredni vzrok.

4.4.1 Paretovo načelo

Paretovo načelo, znano tudi kot Paretovo pravilo, nosi ime po italijanskem ekonomistu Vilfredu Paretu. Pareto je izhajal iz dejstva, da je bilo okoli leta 1960 v Italiji 80 % bogastva v lasti 20 % ljudi, kar je danes znano kot pravilo 80/20. To na področju analiziranja problemov pomeni, da 80 % problemov povzroča 20 % vzrokov.

Paretovo načelo lahko vizualno predstavimo z grafom Pareto. Graf (Slika 4.4) je sestavljen iz dveh serij podatkov. Prva serija je prikazana s stolpci in ponazarja število enot v skupini, druga serija pa je črtni graf, ki prikazuje kumulativni delež enot.



Slika 4.4: Graf Pareto.

4.5 Peti korak: priporočila in implementiranje rešitev

Po končani analizi definiramo ukrepe za preprečitev ponovitve problema. Korak razdelimo na dva dela: definiranje možnih rešitev in izbira najboljše rešitve. Pri iskanju rešitev sodelujejo ljudje, ki so blizu problemu: vodje, inženirji, nadzorniki,

načrtovalci, vzdrževalci sistema in tudi ljudje, ki se srečujejo s sistemom na dnevni osnovi. Slednji so navadno tisti, ki dejansko izvajajo proces.

Najboljšo rešitev izberemo na podlagi učinkovitosti rešitve ali stopnje naporov, ki so potrebni za izvedbo. Uspešnost rešitve je odvisna predvsem od zmanjšanja vplivov na cilj ali celo odprave vzroka. Raven napora pa zajema potrebne vire, višino stroškov in čas za izvedbo rešitve. Za vsako najdeno rešitev tako poiščemo raven uspešnosti in napora, ki bo najbolj objektivna ocena za izbiro končne rešitve.

5 Analiza drevesa odpovedi

Analiza drevesa odpovedi (angl. fault tree analysis, FTA) je ena izmed največkrat uporabljenih metod analiziranja in modeliranja potencialnih odpovedi v sistemu in njihovih vplivov na sistem, primerna pa je tudi za iskanje temeljnih vzrokov.

Metoda avtorjev H. Watsona in A. Mearnsa je leta 1962 razvilo podjetje Bell Laboratories. Prvotno je bila namenjena za ocenjevanje zanesljivosti izstrelitvenega kontrolnega sistema medcelinskih raket. Leta 1966 jo je proizvajalec letal Boeing nadalje razvil in uporabil pri načrtovanju potniških letal. Temu je leta 1975 sledila uporaba v nuklearnih elektrarnah za analiziranje zanesljivosti sistema, s čimer so mnogi izboljšali svoje algoritme. Danes je metoda prisotna pri razvoju programske opreme, v avtomobilski in kemični industriji, robotiki itd. Analiza drevesa odpovedi je opisana v več standardih. Na območju Evropske unije je poznana pod oznako EN 61025 [8].

FTA je deduktivna metoda za analiziranje, grafično prikazovanje in ocenjevanje okvare v sistemu. Metoda vpeljuje učinkovit način vrednotenja stopnje tveganja. Deduktivno analiziranje temelji na pristopu od zgoraj navzdol (angl. top-down). FTA temelji na uporabi drevesa odpovedi. Drevo odpovedi je drevesni diagram, v katerem z logičnimi vrati prikažemo odnose med dogodki, ki lahko povzročijo odpoved sistema. Logična vrata povezujejo dogodke in definirajo pogoj za nastop dogodka na višjem nivoju. Dogodek predstavlja stanje, ki obstaja v sistemu in je lahko vhod ali izhod iz logičnih vrat. Vhodni dogodki so lahko povezani z odpovedjo komponente strojne opreme, človeško napako, napako programske opreme itd. Izhodni dogodek je dogodek, ki nastopi, ko se spremeni stanje logičnih vrat.

Dogodke lahko v grobem razdelimo na primarne in vmesne. Primarni dogodki so dogodki, ki niso izhod iz logičnih vrat in jih ni treba nadalje členiti. To so dogodki, katerih verjetnost nastanka moramo definirati, če bomo drevo odpovedi uporabljali za vrednotenje nastanka glavnega dogodka. Vmesni dogodki so dogodki, ki so izhod iz logičnih vrat. Dogodke označimo z različnimi simboli (Tabela 5.1).






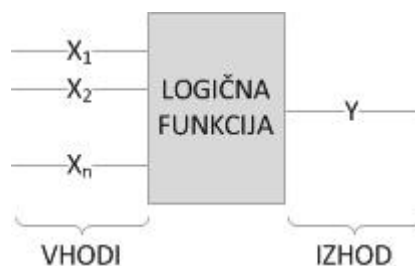
	Dogodek	Simbol	Opis
Primarni dogodki	Osnovni dogodek		Osnovni dogodek (tudi primarna odpoved), navadno odpoved komponente in ni izhod iz logičnih vrat.
	Nerazčlenjen dogodek		Dogodek, za katerega ni potrebno nadaljnje razčlenjevanje vzrokov.
	Pogojni dogodek		Pogoj, ki omejuje ali vpliva na izhodno stanje vrat.
	Zunanji dogodek		Zunanji dogodek, ki ni del sistema.
Vmesni dogodek	Vmesni (glavni) dogodek		Simbol uporabljamo za predstavite izhodnega dogodka logičnih vrat. Označuje tudi glavni dogodek.

Tabela 5.1: Simboli dogodkov [8].

Logična vrata označujejo povezavo med več vhodnimi dogodki in izhodnim dogodkom (Slika 5.1). Vhodne dogodke smatramo kot vzroke za izhode iz logičnih vrat, ti pa so navadno vhodni dogodki za naslednja vrata. Dogodek, ki ne predstavlja izhoda iz kakšnih vrat, imenujemo osnovni dogodek. Pri konstrukciji uporabljamo logična vrata, katerih logika je preprosta in jasno definirana s pomočjo Boolove logike (Tabela 5.2).



Slika 5.1: Simbol logičnih vrat.






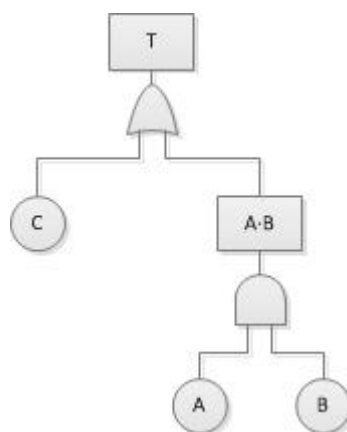
Logična vrata	Simbol	Opis
Logična vrata IN		Izhodni dogodek nastopi le, ko nastopijo vsi vhodni dogodki.
Logična vrata ALI		Izhodni dogodek nastopi le, ko nastopi eden od vhodni dogodkov.
Logična vrata ekskluzivni ALI		Izhodni dogodek nastopi le, ko nastopi natančno eden vhodni dogodek.
Prednostna IN logična vrata		Izhodni dogodek nastopi, ko nastopijo vsi vhodni dogodki v določenem zaporedju.
Zadrževalnik (angl. inhibit gate)		Izhodni dogodek nastopi, ko nastopijo vsi vhodni dogodki pod posebnim pogojem.

Tabela 5.2: Simboli logičnih vrat [8].

Prvi korak izdelave drevesa odpovedi je definiranje glavnega nezaželenega dogodka oziroma odpovedi. Nato poiščemo vse možne vzroke te odpovedi. Odvisnosti med vzroki in glavnim dogodkom prikažemo s pomočjo logičnih vrat. Slednje ponavljamo za vse nadaljnje vzroke, dokler niso vsi dogodki popolnoma razčlenjeni oziroma ne najdemo temeljnih vzrokov (Slika 5.2). Konstrukcija drevesa odpovedi je najbolj zahteven in kritičen del celotne analize.



Slika 5.2: Primer drevesa odpovedi.

Drevo odpovedi lahko izdelamo tudi za sistem, ki je še v fazi izdelave, kar je ponavadi težje. Pogosto imamo na voljo samo opis zgornjega nivoja sistema, ki ga sestavljajo osnovne funkcije in vmesniki sistema. S kvantitativnim vrednotenjem takšnega drevesa že v zgodnjih fazah razvoja pridobimo pomembne informacije o vplivu in občutljivosti komponent. Pri nadaljnjem razvoju lahko nato več pozornosti namenimo

občutljivim delom sistema. Prednost uporabe metode drevesa odpovedi je predvsem njena enostavna uporaba in razumljivost. Sistem bo bolj zanesljiv, če bo imel več logičnih vrat IN, saj mora biti takrat izpolnjenih več pogojev za nek dogodek. V sistemu mora zato nastopati čim manj logičnih vrat ALI, ker lahko že en vhodni dogodek pripelje do nezaželenega stanja.

Cilj izdelave drevesa odpovedi za obstoječi sistem je izboljšava stanja ali odkrivanje šibkih točk znotraj sistema. Drevo odpovedi lahko izdelamo tudi za spremljanje varnosti ali zanesljivosti sistema. Z izdelavo takšnega drevesa lahko pridemo do različnih meril, ki nam pozneje služijo kot osnova za odločanje.

5.1 Vloga FTA

Razumevanje zaporedja dogodkov

FTA služi razumevanju zaporedja dogodkov, ki vodijo do glavnega dogodka. S kvalitativno analizo lahko določimo minimalne prekinitvene kombinacije. Te lahko uredimo glede na število dogodkov, kar nam da podatek o pomembnosti nekega zaporedja dogodkov.

Določanje pomembnosti dejavnikov

Najpomembnejša lastnost FTA je določanje pomembnosti dejavnikov, ki prispevajo h glavnemu dogodku. Pogosto samo od 10 % do 20 % osnovnih dogodkov pomembno vpliva na nastop glavnega dogodka. Pri dejavnikih, katerih vpliv na glavni dogodek je zanemarljiv, lahko optimiziramo sredstva z zanemarljivim vplivom na glavni dogodek. Verjetnost glavnega dogodka se pri tem ne spremeni, zmanjšajo pa se skupni viri.

Orodje za preprečevanje glavnega dogodka

FTA lahko uporabimo za odkrivanje šibkih točk v sistemu. Te lahko odpravimo ali vsaj omilimo, še preden odpoved nastopi. Izboljšave lahko nato objektivno ocenimo glede na zmanjšanje verjetnosti nastopa glavnega dogodka.

Načrtovanje sistemov

Eden izmed načinov uporabe FTA je pomoč pri preverjanju konstrukcijskih zahtev in pri načrtovanju (tudi ocenjevanju) alternativnih možnosti, ki še vedno zadostujejo zahtevam. FTA lahko uporabljamo skozi celoten življenjski cikel sistema – od načrtovanja skozi implementacijo in izboljšave.

Prepoznavanje in odpravljanje vzrokov glavnega dogodka

FTA lahko uporabimo tudi kot reaktivno metodo. Dogodki v drevesu odpovedi vsebujejo informacijo o tem, kaj je šlo narobe, pri čemer bomo odločujoči dogodek prepoznali s pomočjo vrednotenja po pomembnosti.

5.2 Kvalitativno vrednotenje

Kvalitativno vrednotenje drevesa odpovedi temelji na preoblikovanju v ekvivalentno enostavnejšo obliko, ki je primernejša za analiziranje. Rezultat tovrstnega analiziranja so minimalne prekinitvene kombinacije osnovnih dogodkov (v nadaljevanju MPKOD) (angl. minimal cut set), ki povzročijo glavni dogodek. Prekinitvena kombinacija osnovnih dogodkov (v nadaljevanju PKOD) (angl. cut set) je množica osnovnih dogodkov, ki povzroči nastop glavnega dogodka, kadar se sama izvrši. V množici POKD poiščemo podmnožico MPKOD. MPKOD je najmanjša kombinacija dogodkov, ki s svojim nastopom povzročijo nastop glavnega dogodka.

Pri transformaciji uporabljamo pravila Boolove algebre, ki so:

- komutativni zakon;

$$A \cup B = B \cup A \text{ in } A \cap B = B \cap A, \quad (5.1)$$

- asociativni zakon;

$$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C \text{ in } A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C \quad (5.2)$$

- distributivni zakon;

$$A \cap (B \cup C) = A \cap B \cup A \cap C \quad (5.3)$$

- absorpcijski zakon;

$$A \cap (A \cup B) = A \text{ in } A \cup (A \cap B) = A \quad (5.4)$$

- idempotentni zakon;

$$A \cap A = A \text{ in } A \cup A = A \quad (5.5)$$

PKOD najenostavneje določimo, kadar drevo odpovedi vsebuje samo logična vrata ALI. V takšnem primeru vsak osnovni dogodek povzroči nastop glavnega dogodka. Množice MPKOD lahko razvrstimo glede na njihovo pomembnost za nastop glavnega dogodka. Eden od kriterijev za ureditev je lahko število osnovnih dogodkov, ki jih vsebujejo. Pri tem so kombinacije z manj dogodki bolj pomembne kot kombinacije z več dogodki. Vsaka množica MPOKD z enim dogodkom, ki lahko povzroči glavni dogodek, je ena izmed šibkih točk v našem sistemu in zato le-te zahtevajo največ pozornosti.

5.3 Kvantitativno vrednotenje

Kvantitativna ocena drevesa odpovedi temelji na ovrednotenju verjetnosti nastanka vsakega od osnovnih dogodkov, z namenom določiti verjetnost nastanka glavnega dogodka. Verjetnost računamo z uporabo pravil Boolove algebre. Glede na opis glavnega dogodka lahko podamo verjetnost glavnega dogodka med časom izvajanja, verjetnost nastopa v danem časovnem obdobju, verjetnost glavnega dogodka. Vse, kar lahko izračunamo za glavni dogodek, lahko izračunamo tudi za vmesne dogodke.

Teorija verjetnosti je osnova za kvantitativno analiziranje drevesa odpovedi. Verjetnost je funkcija, ki vsakemu dogodku E priredi število $P(E) \in [0,1]$. V osnovi se teorija verjetnosti ukvarja z obravnavanjem situacij, ki jim pravimo poskusi, pri katerih je izid odvisen od naključja.

Najpreprostejša zakonitost verjetnosti je relativna frekvenca dogodka v opravljenih poskusih. Če smo poskus ponovili n -krat in se je k -krat zgodil dogodek E , potem je relativna frekvenca dogodka E enaka $f(E) = \frac{k}{n}$. Z vsako ponovitvijo se relativna frekvenca dogodka spreminja, vendar se bo pri vse večjem številu ponovitev vrednost približala nekemu konstantnemu številu (5.6).

$$P(E) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N} \quad (5.6)$$

Verjetnost nastopa dogodka E , ki je izhod iz logičnih vrat ALI, z vhodnima dogodkoma A in B izračunamo po enačbi:

$$P(E) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (5.7)$$

Verjetnost dogodka, ki je izhod iz logičnih vrat IN, izračunamo po enačbi:

$$P(E) = P(A) \cdot P(B|A) = P(B) \cdot P(A|B). \quad (5.8)$$

Glavni dogodek je unija MPKOD, zato je verjetnost glavnega dogodka enaka uniji verjetnosti MPKOD.

Za kvantitativno vrednotenje drevesa moramo najprej za osnovne dogodke zagotoviti osnovne podatke. V najpreprostejši obliki so to verjetnosti osnovnih dogodkov, iz katerih lahko nato izračunamo verjetnosti vseh dogodkov na višjem nivoju. Tovrstne podatke navadno dobimo iz baz podatkov o napakah v sistemu ali log datoteke aplikacij.

Merila pomembnosti so ena najpomembnejših rezultatov FTA. Z njimi ugotovimo, kateri dogodki so ključni za nastop glavnega dogodka. Glede pomembnosti lahko nato razporedimo sredstva, ne da bi pri tem vplivali na verjetnost glavnega dogodka. Za vsak dogodek v drevesu odpovedi lahko izračunamo:

- Fussell-Veselyjevo merilo pomembnosti: označuje prispevek dogodka k verjetnosti nastopa glavnega dogodka;
- zmanjšanje tveganja (angl. risk reduction worth) je verjetnost nastopa glavnega dogodka, če za dogodek E predpostavimo, da ne bo nastopil;
- doseganje vrednosti tveganja (angl. risk achievement worth) je povečanje verjetnosti glavnega dogodka, če se dogodek E vedno zgodi;
- Birnbaumovo merilo pomembnosti (angl. birnbaum's importance measure) je stopnja spremembe verjetnosti glavnega dogodka, če se spremeni verjetnost določenega dogodka.

Kvantitativno vrednotenje drevesa odpovedi je bolj natančno kot kvalitativno in omogoča, da:

- optimiziramo sredstva in aktivnosti;
- določimo pomembnost osnovnih dogodkov;
- določimo prispevek vsakega dogodka k nastopu glavnega dogodka;
- vplivamo na zmanjšanje verjetnosti glavnega dogodka;
- določimo pomembna merila za postavljanje prioritet, preventivne aktivnosti, aktivnosti vzdrževanja.

6 Analiza načina odpovedi in posledic

FMEA je sistematična metoda ugotavljanja in preprečevanja problemov v procesu in napak pri proizvodih, preden nastopijo. Osredotočena je na preprečevanje odpovedi, izboljšanje varnosti in povečanje zadovoljstva uporabnikov [5].

Metoda omogoča zgodnje odkrivanje vzrokov, ki lahko povzročijo odpovedi, zmanjšanje stroškov korektivnih aktivnosti, izboljšanje zanesljivosti izdelkov in s tem zmanjšanje tveganja izgube ugleda na trgu.

Metoda je bila razvita v štiridesetih letih prejšnjega stoletja v vojski ZDA kot orodje za izboljšanje zanesljivosti vojaške opreme. Danes metodo srečamo pri razvoju programske opreme v različnih industrijskih panogah, prehrabni industriji, zdravstvu itd. FMEA je danes sestavni del mnogih standardov za doseganje zanesljivosti in kakovosti.

FMEA lahko uporabimo za:

- analizo potencialnih napak, njihovih vzrokov, učinkov ter definicijo korektivnih ukrepov;
- predvidevanje zanesljivosti kompleksnih izdelkov in procesov;
- oceno učinka potencialnih napak na notranje in zunanje kupce;
- za identifikacijo možnih napak in posledic odpovedi v začetni fazi razvoja.

6.1 Tipi analize FMEA

Poznamo več tipov FMEA:

- sistemski tip se osredotoča na celoten sistem in obravnava delovanje sistemskih funkcij;
- konstrukcijski tip obravnava komponente in podsisteme;
- procesni tip obravnava izdelavo in sestavo procesa, kot so načrtovanje, proizvodnja, distribucija, storitve, podpora;
- servisni;

- programski tip analizira programske funkcije in z aplikacijo povezane odpovedi.

6.2 Izdelava analize FMEA

FMEA izhaja iz seznama vseh možnih načinov odpovedi, ki se lahko pojavijo pri proizvodnji ali uporabi izdelka ali procesa. Vsak od načinov odpovedi ima posledico, ki pa niso enako pomembne. Posledica za izdelek predstavlja določeno tveganje, zato za vsako posledico določimo oceno kritičnosti. FMEA bo prinesla največ koristi, če jo bomo izdelali že v načrtovanju izdelka ali procesa, vseeno pa lahko analizo izvajamo tudi na že obstoječih izdelkih ali procesih.

FMEA uporablja naslednje kriterije, ki sestavljajo oceno kritičnosti in se vrednotijo z ocenami od 0 do 10 [12]:

- resnost posledic (angl. severity of effects) – S;
- pogostost pojavitve (angl. occurrence of failures) – O;
- možnost pravočasnega zaznavanja (angl. detection of failures) – D.

Za vsako odpoved podamo kriterije in nato izračunamo faktor tveganja (6.1) RPN. Faktor tveganja se uporablja pri izdelavi prioritete lestvice za odpravo vzrokov odpovedi. To lahko prikažemo tabelarično tako, da načine odpovedi razvrstimo padajoče po velikosti faktorja tveganja. Uporabimo lahko tudi Paretovo načelo in faktor tveganja prikažemo grafično.

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (6.1)$$

Ocene zgoraj naštetih dejavnikov resnosti (S), pogostosti (O) in pravočasnosti zaznavanja (D) določimo na podlagi izkušenj s posameznimi komponentami v drugih napravah. Pri definiranju faktorjev pa je zaželeno tudi odločanje na podlagi dokazov.

Rezultat analize je opredeljen načrt za preprečitev odpovedi, odkrivanje ali zmanjševanje možnih odpovedi izdelka ali procesa. Dokument, ki ga izdelujemo tekom analize, je dinamičen. Ko naredimo kakšno spremembo v projektu ali programu, moramo v tej smeri posodobiti tudi dokument.

6.3 Prednosti analize FMEA

Prednosti metode FMEA:

- izboljšamo kakovost, zanesljivost, varnost izdelkov ali procesov;

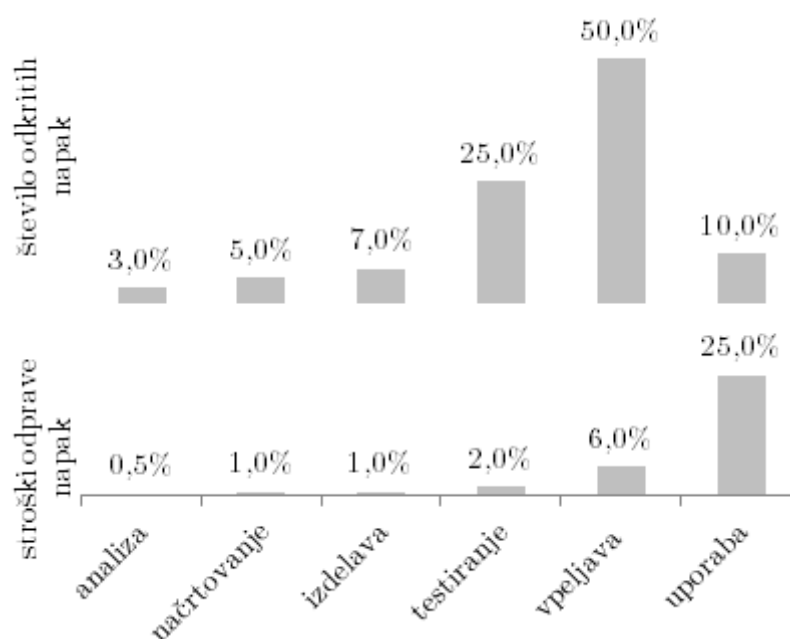
- izboljšamo podobo organizacije;
- povečamo zadovoljstvo uporabnika;
- zmanjšamo čas in sredstva razvoja izdelka ali procesa;
- zmanjšuje kasnejše spremembe in verjetnost za uveljavitev garancije.

6.4 Programska FMEA

FMEA, pri kateri je predmet preučevanja elektronska komponenta, je pogosto veliko lažja, kot če je to programska oprema. Navadno so vzroki za odpovedi komponent znani, prav tako njihove posledice. Pri analizi le-teh se lahko zanašamo na podatke, posredovane s strani proizvajalca komponent, rezultatov testiranj in razpoložljivih izkušenj.

Pri programski opremi je to drugače. Pogosto so nam vsi načini odpovedi programske opreme neznani. Pomembno je razumeti, da programska oprema v večini primerov ne odpove, ampak preide v nepričakovano stanje. Tovrstno odpoved je treba preučevati širše z obravnavo vseh vidikov nepravilnega obnašanja, ne samo možnih napak v programski kodi.

Vpeljava analize FMEA v začetnih fazah razvoja informacijskih sistemov je ključnega pomena. Spreminjanje specifikacij sistema v začetnih fazah razvoja je cenejše, prav tako pa tudi uspešnejše (Slika 6.1).



Slika 6.1: Primerjava števila odpovedi in stroškov glede na faze razvoja [12].

7 Informacijska orodja

V predhodnih poglavjih smo predstavili najpogosteje uporabljene analize s področja analiziranja problemov oziroma odpovedi. Danes si težko predstavljamo delo brez uporabe ustreznih informacijskih tehnologij. Količina podatkov je za ročno manipulacijo prevelika, pogosto se od nas zahteva zahtevnejše povzetke, pri tem pa smo še časovno omejeni.

Na podlagi izkušenj, ki sem jih pridobil pri sodelovanju s podjetjem Demetra, ugotavljam, da danes pri nas še vedno večina podjetij za tovrstne analize uporablja pripravljene Wordove in Excelove predloge ali le papir. Slabost tovrstnih pristopov se kaže sama po sebi. Kontrola vnosa podatkov je slaba, na analize se po predstavitvi pozabi, sledljivost analiz je slaba, prav tako pa je izredno težko izdelati nadaljnje analize in poročila. Tudi na področju analiziranja napak in odpovedi smo prerasli tovrsten način analiziranja odpovedi in izdelave poročila o nezgodi. Na trgu najdemo kar nekaj aplikacij, ki so nam v podporo pri izdelavi analiz, kot so RCA, FTA in FMEA.

Prednosti uporabe takšnih aplikacij so:

- uporaba enotnih podatkov in šifrantov, kot so delavci, delovna mesta, procesi itd.;
- pri vnosu se veliko podatkov pridobiva in vnaša dinamično na osnovi prepoznanih relacij;
- kontrola dostopa;
- obveščanje udeležencev;
- odprava papirnatih analiz;
- vse informacije na enem mestu;
- izdelava nadaljnjih analiz in poročil;
- povezovanje z drugimi sistemi.

7.1 Primerjava orodij

V tabeli 7.1 primerjamo različne aplikacije s področja analiziranja napak in odpovedi. Večina aplikacij sledi uveljavljenim standardom s področja analiziranja. Številna podjetja so razvila lastne aplikacije za te namene, saj jim razpoložljiva orodja zaradi specifik v procesu niso zadostovala. Iz istega razloga so zato razvili tudi lastne procese analiziranja, ki pa v večini predstavljajo nadgradnjo zgoraj omenjenih metod.

Orodje	Opis orodja
NASA Root Cause Analysis Tool	Aplikacija temelji na uporabi standardov s širšega področja analiziranja odpovedi in napak. Omogoča hitro in enostavno izdelavo analize in dokumentiranje temeljnih vzrokov, opredelitev korektivnih aktivnosti, analizo trendov, pridobivanje podatkov iz predhodnih analiz za analizo verjetnosti in tveganja. Aplikacijo je mogoče uporabiti na številnih področjih, kjer se srečujemo z odpovedmi.
TapRoot Software	Aplikacija TapRoot Software je namenjena podpori pri izvajanju lastnega procesa iskanja temeljnih vzrokov TapRoot System. Proces, ki zajema preiskovanje, analiziranje in določanje korektivnih aktivnosti, lahko uporabimo reaktivno ali proaktivno. Aplikacija je primerna tako za preproste kot kompleksne probleme. Analiza temelji na izdelavi diagrama ShapCharT, ki omogoča razumevanje nastalega dogodka in diagrama Root Cause Tree za analizo temeljnih vzrokov. TapRoot uporabljajo številne večje organizacije po svetu.
RealityCharting	RealityCharting temelji na uporabi metode Appolo RCA. Čarovnik nas vodi skozi korake analize, ki temelji na izdelavi diagrama. Diagram Reality Chart prikazuje odnos vzrok-posledica. Aplikacija omogoča definiranje in vrednotenje rešitev.
PROACT RCA	PROACT RCA je spletna aplikacija za analiziranje napak. Analiza temelji na izdelavi logičnega drevesa, ki prikazuje odnos vzrok-posledica. Uporabimo lahko predloge oz. informacije iz predhodnih analiz (npr. aplikacija nam ponudi vse vzroke, ki so se za določeno posledico že pojavili). Aplikacija ponuja dva različna modula, primerna za uporabo na področju zdravstva oziroma industrije.
PathMaker	PathMaker združuje različna orodja s področja izboljšanja kakovosti. Omogoča izdelavo RCA z uporabo metode diagrama vzrok-posledica in diagrama Pareto. Prikaz diagrama vzrok-posledica je prilagojen zaradi lažje izdelave in branja. Pri izdelavi lahko uporabimo tehniko iskrenja idej, ki jo omenjena aplikacija prav tako podpira. Aplikacijo bomo uporabili, ko bomo imeli izkušeno ekipo analitikov.

OpenFTA	OpenFTA je eno od naprednih orodij, ki omogoča konstrukcijo in analizo drevesa odpovedi. Orodje vključuje zmogljiv algoritem za določanje MPKOD in njihove verjetnosti. Omogoča izdelavo simulacije Monte Carlo, pri čemer določimo izide, v tem primeru nastop MPOKD, z naborom slučajnih vrednosti v mnogih poskusih. Aplikacija je primerna za izdelavo preprostejših dreves in analiz.
RAM Commander	RAM Commander omogoča izdelavo analiz s področja zanesljivosti, razpoložljivosti in varnosti. Omogoča izdelavo analize FMEA, FTA in ostalih s področja analiziranja odpovedi. Analize temeljijo na upoštevanju standardov s tega področja.
XFMEA	XFMEA je orodje, namenjeno izdelavi analize FMEA. Omogoča uporabo informacij že opravljenih analiz, s čimer skrajšamo čas izdelave, sledenje izvajanju preventivnih aktivnosti, izdelavo poročil itd. Aplikacija vključuje privzete nastavitve za glavne standarde, ki vključujejo FMEA in omogoča izdelavo vseh tipov FMEA.
Byteworx FMEA	Byteworx FMEA je namenjena izdelavi vseh tipov analize FMEA. Aplikacija nas vodi skozi proces, ki se razlikuje od klasičnih analiz FMEA, saj predpisuje korake, ki jih moramo opraviti, preden začnemo s samo analizo. Pri analizi lahko uporabimo podatke iz obstoječih analiz, kar vpliva na čas izdelave. Izdelamo lahko poročila, urejena po različnih kriterijih, spremljamo aktivnost za preprečitev odpovedi itd. Največji uporabnik aplikacije je Ford Motor Company.
FavoWeb FRACAS	FavoWeb FRACAS je spletna aplikacija za izdelavo analiz in poročil o odpovedih, spremljanje izvajanja korektivnih aktivnosti skozi celoten življenjski cikel izdelka. Aplikacija omogoča povezovanje z drugimi sistemi, izdelavo lastnih poizvedb in izdelavo statističnih analize. Namenjena je uporabi pri kompleksnejših analizah.
ACF	ACF je spletna aplikacija, ki omogoča analizo že nastalih odpovedi v proizvodnem podjetju. Analiza odpovedi zajema opredelitev osnovnih podatkov o odpovedi, definiranje aktivnosti odprave okvare, definiranje aktivnosti za optimizacijo časa in grobo analizo stroškov. Prednost uporabe aplikacije je uporaba enotnih podatkov, kar omogoča izdelavo nadaljnjih analiz in poročil.

Tabela 7.1: Primerjava orodij za izdelavo analiz odpovedi in napak.

V nadaljevanju sta podrobneje predstavljeni aplikaciji RealityCharting RCA in ACF. Prva, po mojem mnenju, zaradi preprostega procesa in enostavne uporabe aplikacije, ki nam pomaga pri izdelavi kakovostne analize temeljnih vzrokov, slednja pa, ker je

rezultat mojega sodelovanja s podjetjem Demetra. Aplikacija ACF je namenjena izdelavi istoimenske analize odpovedi, ki je plod dolgoletnih izkušenj s tega področja.

7.2 Aplikacija RealityCharting RCA

RealityCharting je ena izmed komercialnih aplikacij, ki so namenjene razumevanju problemov in prepoznavanju učinkovitih rešitev po metodi RCA. Uporaba aplikacije RealityCharting poveča kakovost analize problema z zagotavljanjem smernic in strukture analize. Aplikacija omogoča:

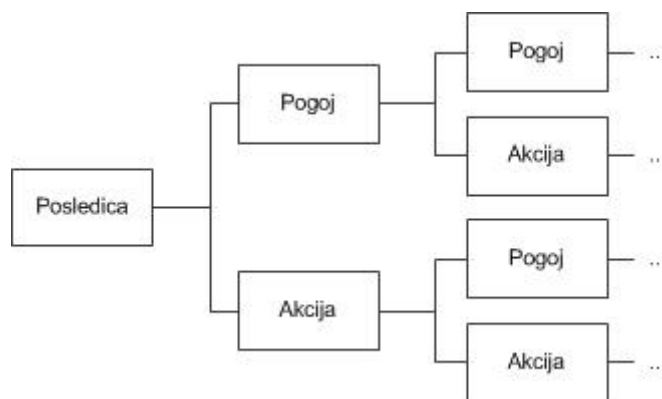
- analiziranje po metodi Apollo RCA;
- podroben opis problema;
- grafično predstavitev med seboj povezanih vzrokov;
- učinkovito generiranje rešitev;
- izdelavo jedrnatega poročila.

7.2.1 Apollo RCA

Dean L. Gano je leta 1987 po letih izkušenj z analiziranjem problemov v nuklearni industriji ustanovil organizacijo Apollo. Zaradi poznanih pomanjkljivosti obstoječih metod analiziranja problemov je Gano postavil temelje nove metode Apollo RCA.

ARCA temelji na štirih pravilih odnosa vzrok-posledica (Slika 7.1) [3]:

- vzrok in posledica sta ista stvar;
- vzrok in posledica sta del neskončne nepretrgane poti vzrokov;
- vsaka posledica ima vsaj dva vzroka: akcijo in pogoj;
- posledica obstaja, če obstaja vzrok na istem mestu ob istem času.



Slika 7.1: ARCA diagram.

7.2.2 Uporaba

Uporaba aplikacije RealityCharting temelji na čarovniku [16]. Ta nas vodi skozi pet korakov:

- opredelitev problema;
- izdelava diagrama;
- definiranje rešitev;
- priprava poročila o problemu;
- zaključevanje poročila o problemu.

V prvi fazi zapišemo naše vedenje o problemu; kratek opis problema, kdaj se je problem zgodil, kje in kakšne so bile posledice. Zapišemo tudi člane skupine (Slika 7.2).

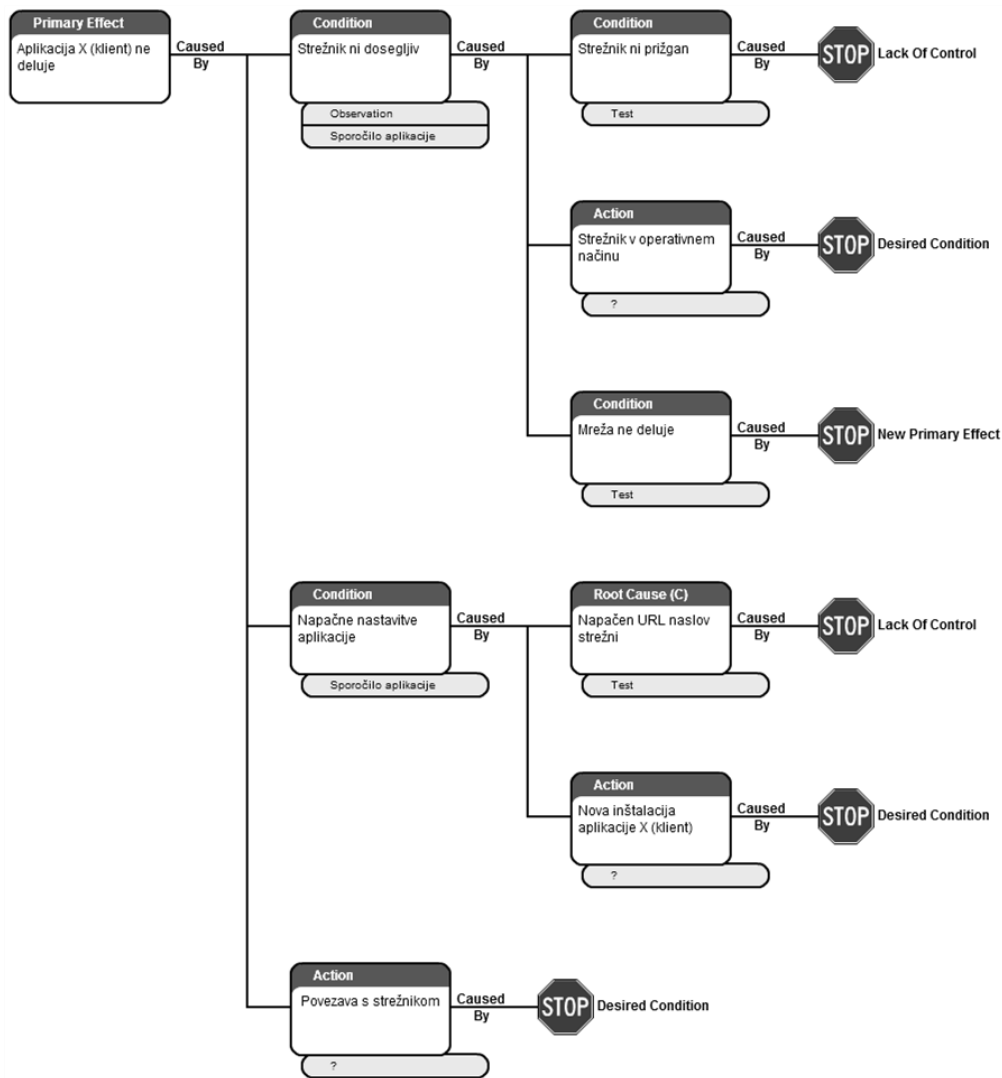
The screenshot shows a window titled "Odpoved-aplikacije.arca - Information". It has a tabbed interface with the following tabs: "Problem Definition" (selected), "Team Members", "Notes", "References", and "Rules Check". The "Problem Definition" tab contains several input fields:

- What:** Aplikacija X (klient) ne deluje
- When:** 18.7.2011
- Time:** 9:00
- Where:** Služba za izvoz
- Significance:** zastoj v procesu izvoza
- Environmental:** (empty)
- Cost:** < 5000 EUR / zastoj
- Frequency:** (empty)

At the bottom of the window, there are two buttons: "Minimize" and "Edit Preferences".

Slika 7.2: RealityCharting – opredelitev problema.

V naslednjem koraku izdelamo grafični prikaz razmerja med vzroki in posledicami (Slika 7.3). Za vsako prepoznano posledico (vzrok) definiramo vsaj dva vzroka – akcijo in pogoj in določimo dokaz, s katerim potrdimo naše vedenje o obstoju tega vzroka. Nekaj splošnih dokazov je že definiranih v šifrantu, lahko pa dodamo tudi lastne. Kot dokaz lahko priložimo tudi zunanji dokument, datoteko ... Možnost »Preveri prostor in čas« (angl. space time logic check) nas vodi po vseh prepoznanih vzrokih do predzadnjega nivoja, pri tem pa od nas zahteva informacijo, ali vzroka za to posledico obstajata ob istem času in na istem mestu. Aplikacija podpira tudi tehniko iskrenja idej. Preprost način vnosa omogoča, da hitro zabeležimo vse ideje, ki jih lahko nato uporabimo pri izdelavi diagrama.



Slika 7.3: Primer RealityChart diagrama.

Ko smo našli vse možne vzroke, sledi definiranje rešitev za vsak vzrok. Za vsako od predlaganih rešitev nato preverimo, ali izpolnjuje pogoje, ki so predhodno nastavljeni. Ti pogoji so:

- Ali rešitev prepreči ponovitev problema?
- Ali lahko nadzorujete rešitev?
- Ali rešitev izpolnjuje vaše cilje?
- Ali rešitev povzroči druge probleme, ki se jih zavedamo?

Rešitev je ustrezna, če na prva tri vprašanja odgovorimo pritrdilno, na zadnjega pa negativno. Za vsako od rešitev nato definiramo odgovorno osebo in pričakovan datum implementacije (Slika 7.4).

Predlagane rešitve ovrednotimo glede na različne kriterije, ki jih lahko sami urejamo in dodajmo. Vsakemu od kriterijev lahko določimo tudi težo oziroma pomembnost.

Skupna ocena rešitve je vsota posameznih kriterijev, pomnoženih s težo. Prednastavljeni kriteriji so:

- stroški implementacije;
- stopnja težavnosti;
- verjetnost ponovitve;
- učinkovitost.

Criteria	Cause	Possible Solution	Implement	Owner	Due Date	Comment	Rank	Delete
Passed	Strežnik ni prižgan	Spremljanje delo	<input type="checkbox"/>	Enter Owner	Enter Date			X
Passed	Mreža ne deluje	Stalna kontrola de	<input type="checkbox"/>	Enter Owner	Enter Date			X
Passed	Napačen URL naslov strežni	Prave nastavitve i	<input type="checkbox"/>	Enter Owner	Enter Date			X
Passed	Napačen URL naslov strežni	Temeljita navodil	<input checked="" type="checkbox"/>	Ivan Kranjski	2011-07-29	Potrebna izelava natančnih navodila		X
Passed	Nova inštalacija aplikacije X	Navodila za nam	<input type="checkbox"/>	Enter Owner	Enter Date			X
Passed	Strežnik ni dosegljiv	Kontrola in sprem	<input type="checkbox"/>	Enter Owner	Enter Date			X
Passed	Napačne nastavitve aplikaci	Navodila za nam	<input type="checkbox"/>	Enter Owner	Enter Date			X

Slika 7.4: RealityCharting – izbira rešitve.

V zadnjih dveh korakih izdelamo poročilo o problemu. Poročilo lahko izvozimo v datoteko formata PDF, ki je primerna za pošiljanje po elektronski pošti ali za tiskanje. Prav tako lahko po elektronski pošti pošljemo celotno datoteko z analizo.

7.3 Aplikacija ACF

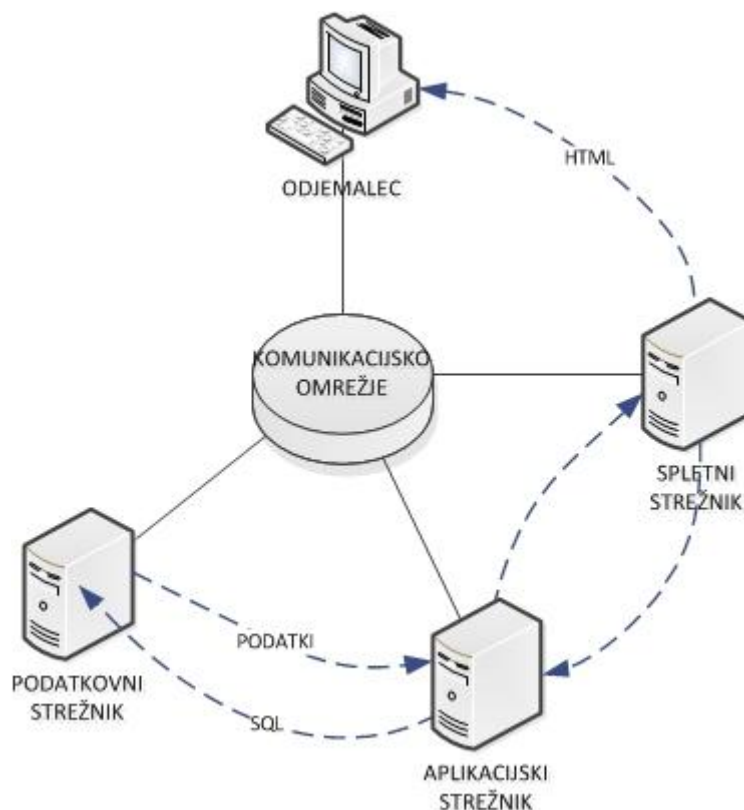
7.3.1 Opis problema

Ob odpovedi nadrejeni od nas zahtevajo analizo dogodka. Ta v ožjem smislu zajema razlog, torej vzrok za dogodek, kakšne so posledice in kakšne aktivnosti smo sprejeli, da v bodoče do odpovedi ne bi več prihajalo. Izdelava poročila v katerem od pisarniških programov je razmeroma enostavna in kratkotrajno smotrna, vendar pa s tovrstnim pristopom težko odgovorimo na druga vprašanja. Možnost za napake je visoka, motivacija zaposlenega pri izdelavi poročil pa nizka, zaradi česar se pojavi dvom o kakovosti tako opravljene analize. Že pri sami analizi se pogosto pojavi vprašanje: »Ali smo se že srečali s tovrstnim problemom?« Na takšno vprašanje bomo zelo težko odgovorili brez ustrezne sledljivosti opravljenih analiz. Izdelava nadaljnjih poročil, primerjanje glede na preteklo obdobje, statistični podatki, spremljanje stanja

napredka, itd. je brez velikih dodatnih vložkov dela nemogoče. V nadaljevanju bomo predstavili aplikacijo z razvojnim imenom ACF, ki je namenjena izdelavi analize odpovedi in rešuje predhodno opisan problem.

7.3.2 Arhitektura sistema

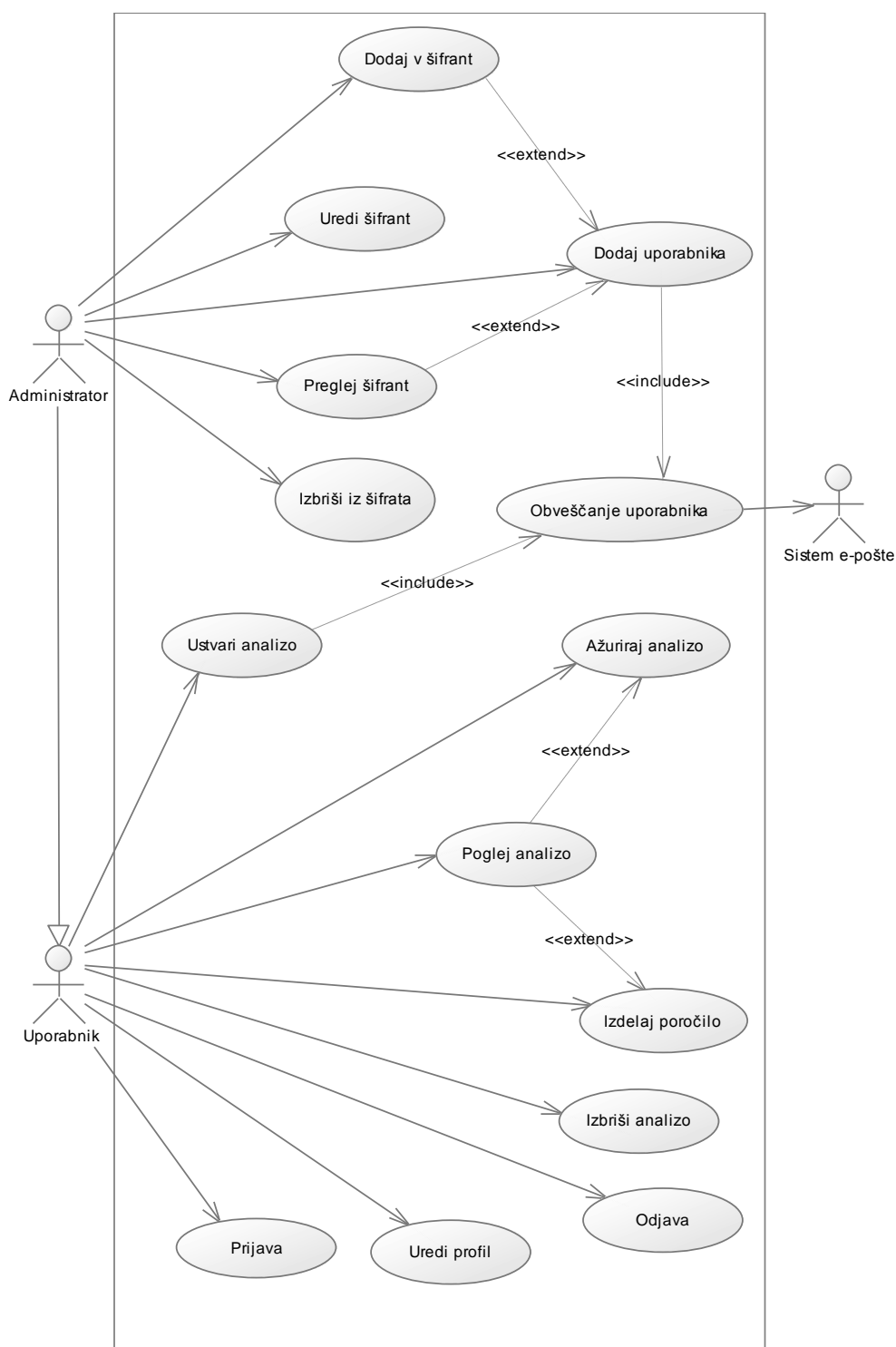
ACF je zasnovana kot večuporabniška spletna aplikacija. Za razvoj smo uporabili odprtokodne programske rešitve, ki zagotavljajo dostopno ceno aplikacije. Aplikacija sloni na uporabi nivojske arhitekture odjemalec-strežnik (Slika 7.5). Aplikacija se nahaja na spletnem strežniku, ki je hkrati tudi aplikacijski strežnik. Podatki se nahajajo na podatkovnem strežniku. Odjemalčev sistem je tako maksimalno razbremenjen, okolje uporabnika pa je poljubno. Za dostop do aplikacije uporablja spletni brskalnik.



Slika 7.5: Nivojska arhitektura odjemalec-strežnik.

7.3.3 Primeri uporabe

Funkcionalnosti informacijskega sistema, okolje in relacije bomo najlažje prikazali z diagramom primerov uporabe (angl. use case). Z diagramom povežemo uporabnike sistema in procese v sistemu (Slika 7.6).



Slika 7.6: Diagram primerov uporabe, uporabljen pri načrtovanju aplikacije.

Uporabnik

Uporabnik je glavni akter sistema in lahko v sistemu uporablja naslednje funkcionalnosti:

- kreira analizo;
- ureja analizo;

- izbriše analizo;
- gleda analize;
- izdelava poročilo;
- uredi profil;
- prijavi v sistem – uporabnik za prijavo v sistem potrebuje uporabniško ime in geslo, ki ga pridobi od administratorja aplikacije.

Administrator

Administrator je primerek uporabnika, zato podeduje funkcionalnosti uporabnika, poleg tega pa lahko še:

- ureja šifrance;
- dodaja uporabnike;
- ureja uporabnike.

E-poštni sistem

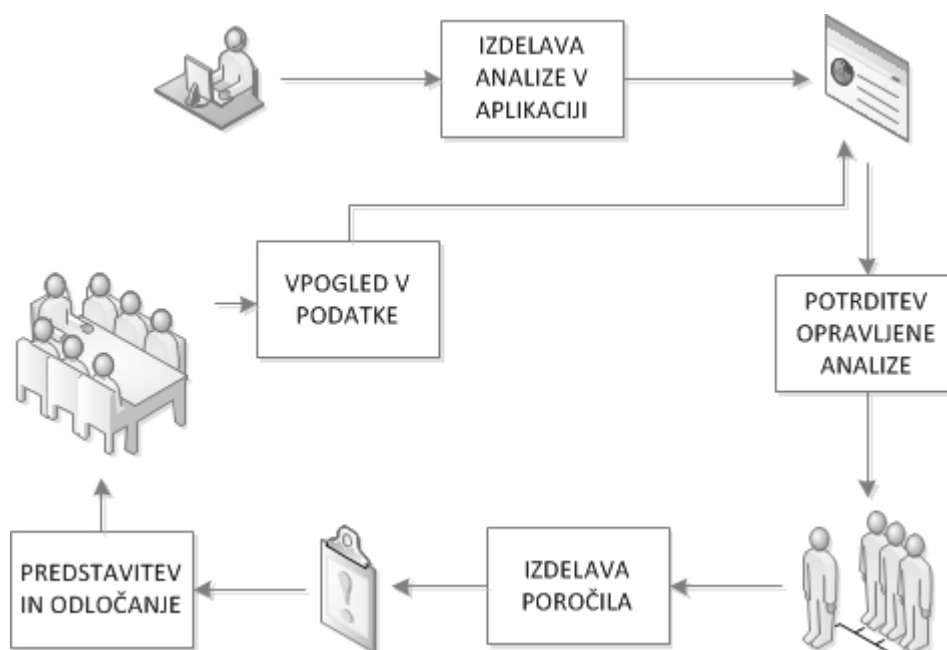
Sistem za pošiljanje elektronskih sporočil. Uporabnik je obveščen o kreiranju uporabnika – o podatkih za dostop, zahtevku za potrditev analize.

7.3.4 Opis aplikacije

Aplikacija je namenjena izdelavi analiz nastalih odpovedi v poslovnem, predvsem proizvodnem procesu. Namen aplikacije ni le hranjenje podatkov, temveč tudi prenos pridobljenega znanja na vse udeležence v procesu. Aplikacija omogoča izdelavo statističnih analiz, ki so lahko vir pri odločanju (Slika 7.7).

Uporabo aplikacije lahko razdelimo na več delov:

- delo z analizami;
- administracija aplikacije;
- administracija šifrantov;
- izdelava poročila.



Slika 7.7: Primer dobre prakse z uporabo aplikacije.

Uporabnik do aplikacije dostopa (Slika 7.8) s svojim uporabniškim imenom in geslom. Uporabniško ime in geslo posreduje uporabniku administrator aplikacije ob kreiranju.

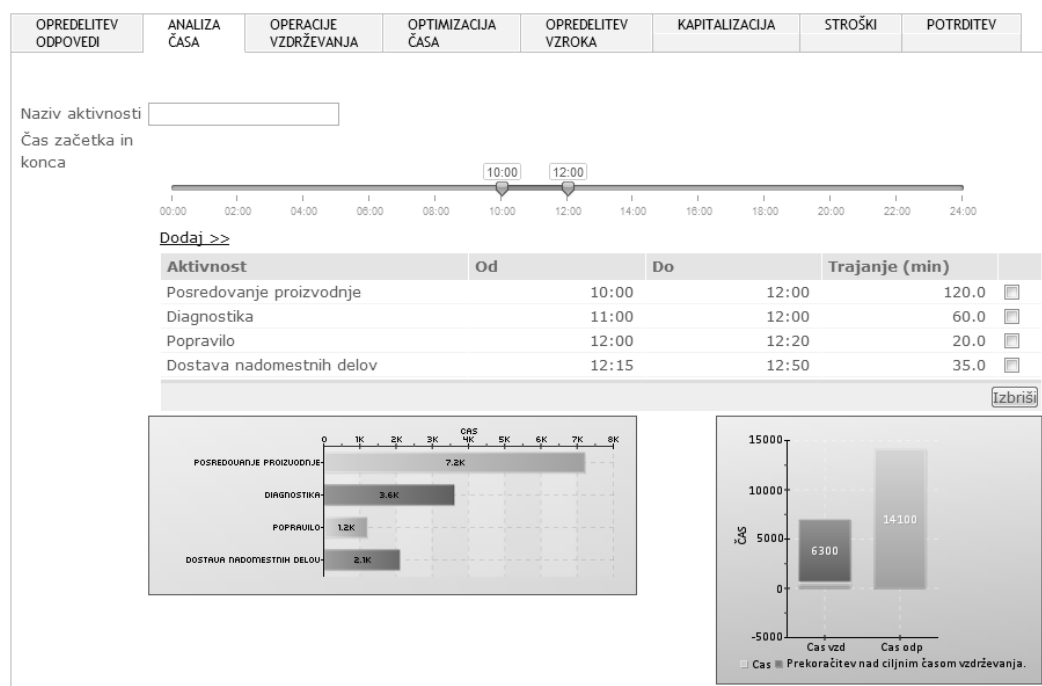
Slika 7.8: Posnetek zaslona obrazca za prijavo v aplikacijo.

Delo z analizami

Jedro aplikacije predstavlja obrazec (Slika 7.9) za vnos in urejanje analiz. Postopek vnosa je razdeljen na osem korakov:

- opredelitev odpovedi;
- analiza časa;
- aktivnosti odprave odpovedi (vzdrževanje);
- aktivnosti za optimizacijo časa vzdrževanja;
- opredelitev vzroka;
- izkušnje in ugotovitve;
- stroški odpovedi;
- potrditev.

Uporabnik opredeli odpoved z vnosom osnovnih podatkov o odpovedi; kratek opis, datum odpovedi in analize, čas in mesto odpovedi, definiranje oseb, vključenih v analizo, umestitev odpovedi v področje. Pri analizi časa z intervali opredelimo posamezne korake, ki so bili potrebni za odpravo okvare. Aktivnosti podrobneje razdelamo v koraku opredelitev aktivnosti vzdrževanja. Z optimizacijo časa izberemo nekatere aktivnosti vzdrževanja, za katere smo se odločili, da jih je treba optimizirati, npr. zmanjšati potrebni čas. Opredelitev vzroka je namenjen definiranju vzroka, pri čemer lahko izdelamo analizo »5-krat zakaj?«. Vzrok umestimo v skupino ter predlagamo ustrezno aktivnost za odpravo vzroka. Analiza stroškov vzdrževanja služi kot podlaga pri odločanju o nadaljnjih aktivnostih. Definiramo strošek delovne sile, storitev in izgubo proizvodnje zaradi odpovedi. V potrditvi definiramo zaposlene, ki so odgovorni za pregled in potrditev opravljene analize.



Slika 7.9: Posnetek zaslona obrazca za delo z analizami.

Administracija aplikacije

Administrator preko obrazca (Slika 7.10) ureja privzete lastnosti aplikacije, ki so:

- oblika zapisa datuma;
- osnovna časovna enota (sekunda, minuta, ura);
- časovni korak;
- vsebinske nastavitve za samodejno izpolnitev polj.

Administracija aplikacije vključuje tudi dodajanje novih uporabnikov. Nov uporabnik se doda iz šifrantov zaposlenih oseb.

OBLIKA ZAPISA DATUMA	yyyy-mm-dd
ČASOVNA ENOTA	minuta ▼
ČASOVNI KORAK	10
CILJNI ČAS ODPRAVE OKVARE	100
VODJA VZDRŽEVANJA	ACF3 Janez Novak ▼
VODJA PROIZVODNJE	ACF4 Janez Krajnski ▼

Slika 7.10: Posnetek zaslona obrazca za administracijo aplikacije.

Administracija šifrantov

Administrator preko obrazca (Slika 7.11) ureja šifrante. Delo s šifranti zajema dodajanje novih zapisov, urejanje in brisanje obstoječih zapisov. Brisanje je dovoljeno, le če zapis še ni bil uporabljen. S šifranti zagotovimo enotnost podatkov, na podlagi katerih lahko izdelujemo ter analiziramo odnose med podatki.

Nov				
ID	OZNAKA	NAPAKA	STATUS	
	<input type="text"/>	<input type="text"/>		Shrani
1	N01	PREKINJANJE	<input type="radio"/> Aktiven <input checked="" type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
2	N02	ZLROM	<input type="radio"/> Aktiven <input checked="" type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
3	N03	RAZPOKA	<input type="radio"/> Aktiven <input checked="" type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
4	N04	POMANJKANJE	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
5	N05	OVIRANJE	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
6	N06	POČENO	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
7	N07	DEFORMIRANO	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
8	N08	IZGORJENO	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
9	N09	UMAZANJA	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
10	N10	OBRABA	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi X
11	N11	ZLEPLJENO	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
12	N12	ODPETO	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>
13	N13	KOMBINACIJA	<input checked="" type="radio"/> Aktiven <input type="radio"/> Neaktiven	uredi <input type="checkbox"/>

Slika 7.11: Posnetek zaslona obrazca za administracijo šifrantov napak.

Izdelava poročil

Uporabnik lahko izdelava različna poročila, ki so predhodno nastavljena v aplikaciji. Poročila zajemajo različne statistične analize, ki uporabljajo podatke iz baze podatkov.

Nastalo dokumentacijo in informacije, ki nastajajo, je možno enostavno posredovati inšpekcijskim službam in drugim ustanovam, dostop do nje pa imajo vsi zaposleni v podjetju. Poročilo se lahko vsak trenutek natisne in opremi s potrebnimi potrditvami oz. odobritvami odgovornih oseb.

Sklepne ugotovitve

Vsakodnevno se srečujemo z najrazličnejšimi problemi, pri iskanju rešitve pa smo bolj ali manj uspešni. Pogosto iščemo rešitev v obsegu trenutnega znanja; ukvarjamo se samo s tistim, kar nam je poznano in pri tem spregledamo neočitne vzroke. Namesto učinkovite rešitve najdemo enostavno in takšno, ki pogosto odpravi le simptome, ne pa tudi vzroka.

V diplomski nalogi smo predstavili različne pristope za odkrivanje in reševanje takšnih problematičnih situacij. Predstavili smo analizo in različna orodja za odkrivanje temeljnih vzrokov. Splošno priporočilo o uporabi orodij težko podamo, saj se prednosti metod razlikujejo glede na kompleksnost problema, poznavanje celotnega procesa, sestavo skupine ljudi, ki se ukvarja s problemom itd. Izpostavili smo pomembnost razmišljanja o možnih odpovedih, ki jih lahko z uporabo primernih pristopov, kot je analiza FMEA, pravočasno obravnavamo že v začetnih fazah razvoja in s tem pomembno vplivamo na stroške. Kompleksnejša analiza drevesa odpovedi poleg poznavanja procesa zahteva tudi nekaj znanja iz statistike. FTA je zato primerna za analiziranje kompleksnejših situacij, na primer pri razvoju informacijskih sistemov. S FTA pridemo do pomembne informacije o zanesljivosti izdelka.

Kot na ostala področja je informacijska tehnologija vstopila tudi na področje analiziranja odpovedi in napak. Na trgu zasledimo nekaj komercialnih aplikacij, ki so namenjene iskanju vzroka, manj pa takih, ki bi omogočale izdelavo analize odpovedi, torej hranjenje informacij, ki smo jih pridobili z nastalo odpovedjo. Kot ena od možnih rešitev je v zaključku dela predstavljen prototip aplikacije, ki omogoča ravno to. Z izdelavo analize odpovedi naše ugotovitve o odpovedi shranimo in jih damo na voljo svojim sodelavcem. Hranjenje tovrstnih podatkov nam z uporabo podatkovnega rudarjenja omogoča iskanje vzorcev in odnosov v podatkih. To nam približa razmišljanje o možnih odpovedih ali napovedovanju le-teh.

Slike

Slika 4.1: Primer vrtanja v globino.....	19
Slika 4.2: Zgradba diagrama vzrok-posledica.	20
Slika 4.3: Primer diagrama odnosov.	21
Slika 4.4: Graf Pareto.....	22
Slika 5.1: Simbol logičnih vrat.....	26
Slika 5.2: Primer drevesa odpovedi.....	27
Slika 6.1: Primerjava števila odpovedi in stroškov glede na faze razvoja [12].....	35
Slika 7.1: ARCA diagram.....	40
Slika 7.2: RealityCharting – opredelitev problema.....	41
Slika 7.3: Primer RealityChart diagrama.....	42
Slika 7.4: RealityCharting – izbira rešitve.	43
Slika 7.5: Nivojska arhitektura odjemalec-strežnik.....	44
Slika 7.6: Diagram primerov uporabe, uporabljen pri načrtovanju aplikacije.	45
Slika 7.7: Primer dobre prakse z uporabo aplikacije.....	47
Slika 7.8: Posnetek zaslona obrazca za prijavo v aplikacijo.....	47
Slika 7.9: Posnetek zaslona obrazca za delo z analizami.	48
Slika 7.10: Posnetek zaslona obrazca za administracijo aplikacije.....	49
Slika 7.11: Posnetek zaslona obrazca za administracijo šifrant napak.	49

Tabele

Tabela 5.1: Simboli dogodkov [8].....	26
Tabela 5.2: Simboli logičnih vrat [8].....	27
Tabela 7.1: Primerjava orodij za izdelavo analiz odpovedi in napak.....	39

Literatura

- [1] M. Ammerman, *Root Cause Analysis Handbook*, New York: Productivity Press, 1998.
- [2] M. Berry, G. Linoff, *Data Mining techniques: For marketing, Sales, and Customer Relationship Management*, New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [3] D. L. Gano, *Apollo Root Cause Analysis: A New Way of Thinking*, Washington: Apollonian Publications, 2007, pogl. 1.
- [4] Hoyland A., Rausand M., *System reliability theory: models, statistical methods, and applications*, New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [5] E. McDermott, Raymond J. Mikulak, Michael R. Beauregard, *The basics of FMEA*, Združene države Amerike, 1996, str. 1–8.
- [6] M. Mihelčič, *Analiziranje kot pogoj oziroma temeljna sestavina »poslovne inteligence«*, v zborniku 14. Strokovnega posvetovanja o sodobnih vidikih analize poslovanja in organizacije, Ljubljana, oktober 2008, str. 161–166.
- [7] W. E. Vesely, N. H. Roberts, *Fault tree handbook*, Washington, 1981.
- [8] D. Pučko, *Analiza poslovanja*, Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 2011.
- [9] (2011) Soft system methodology. Dostopno na:
<http://www.kapiti.co.nz/bobwill/ssm.pdf>
- [10] (2011) Module 2: Brainstorming. Dostopno na:
http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/navy/bpi_manual/mod2-brainstm.pdf
- [11] (2011) Module 5: Cause and effect diagram. Dostopno na:
http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/navy/bpi_manual/mod5-c-ediag.pdf
- [12] (2011) FMEA Info Centre. Dostopno na:
<http://www.fmeainfocentre.com>

- [13] (2011) Inoviranje, kakovost in Lean Six Sigma v proizvodnem procesu. Dostopno na: <http://www2.fm-kp.si/zalozba/ISBN/978-961-266-055-0.pdf>
- [14] (2011) Problem Solving Skills – Start Here!. Dostopno na: http://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_00.htm
- [15] (2011) Root Cause Analysis. Dostopno na: <http://process.nasa.gov/documents/RootCauseAnalysis.pdf>
- [16] (2011) The Cause and Effect Principle. Dostopno na: http://www.realitycharting.com/_public/site/files/pdf/CE-Principle.pdf