

„...Недостатак публикација на српском језику које се баве методама за процену ризика је, вероватно, иницирао идеју да аутори предметног рукописа своја дугогодишња истраживања у овој области уграде у корисну, значајну и на научним принципима засновану публикацију...Рукопис даје јасне одговоре на питања у вези са методологијама примене, могућностима и ограничењима метода које се користе у процесу процене ризика и, што је још значајније, упућује на њихову синергијску примену...Рукопис је методолошки коректан и представља допринос науци у области развоја и примене метода за процену ризика, а шире у области управљања ризиком...“

Проф. др Сузана Савић,
Факултет заштите на раду у Нишу

„...Рукопис пружа одговоре на нека, по мом мишљењу, суштинска, теоријско-методолошка и практична питања у области процене ризика у систему радне и животне средине, и са научно-стручног становишта разматра ову проблематику...Презентована материја обрађена је на детаљан начин, са свежим и релевантним информацијама, прикупљеним на основу међународних и сопствених истраживања аутора, што даје посебну вредност и употребљивост овој публикацији...“

Проф. др Славко Арсовски,
Универзитет у Крагујевцу, Факултет Инжењерских наука

„...Рецензирано дело представља свеобухватан и оригиналан приступ у разматрању процене и управљања ризиком комплексних система. Рукопис је написан јасним стилем на завидном стручном и научном нивоу и веома је интересантан за широки круг читалаца. Према структури садржаја, обиму и броју аутоцитата ово дело одговара захтевима Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС“, бр. 38/2008)...“

Проф. др Војислав Милтеновић,
Машински факултет у Нишу

„...Квалитет, садржајност и комплексност публикације је одраз научно-стручних и истраживачких компетенција аутора у области безбедности и ризика система. Ова обимна, свеобухватна, професионално и на научним принципима обрађена публикација представља вредан извор сазнања свим професионалцима из области инжењерства заштите радне и животне средине и сродних области. Узевши у обзир хронични недостатак квалитетних публикација у области процене и управљања ризиком на нашим образовним просторима, реално је очекивати да ће припремљена публикација бити широко прихваћена...“

Проф. др Срђан Глишовић,
Факултет заштите на раду у Нишу



9 786660 930493 >

МЕТОДЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА

Мирољуб Д. Гроздановић
Евица И. Стојиљковић

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ

Мирољуб Д. Гроздановић
Евица И. Стојиљковић

МЕТОДЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА

Ниш, 2013. године

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ

Мирољуб Д. Гроздановић
Евица И. Стојиљковић

МЕТОДЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА

Ниш, 2013. године

др Мирољуб Д. Гроздановић, ред. проф.
др Евица И. Стојиљковић, доцент

МЕТОДЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА
RISK ASSESSMENT METHODS

Прво издање/The First Edition
2013. године

Издавач/Publisher
Факултет заштите на раду у Нишу
www.znrfak.ni.ac.rs

За издавача/For the Publisher
Проф. др Љиљана Живковић

Рецензенти/Reviewers
Проф. др Сузана Савић
Проф. др Славко Арсовски
Проф. др Војислав Милтеновић
Проф. др Срђан Глишовић

Лектор/Lector
Марина Савић, дипл. филолог за српски језик и књиж.

Прелом и слог/Layout Editor
Миодраг Антић, дипл. физ.

Дизајн корица/Cover Design
Родољуб Аврамовић, дипл. инж.

Штампа/Print
Графика „Галеб“ Ниш

Тираж/Printing
200 примерака

Одлуком Наставно-научног већа Факултета заштите на раду у Нишу бр.03-87/4 од 31. 01. 2013. године, публикација *Методe проценe ризика* сврстана је у категорију *монографија националног значаја*.

Сва права аутора су задржана. Ниједан део ове књиге не сме се умножавати, фото-копирати нити на било који начин репродуковати без писаног одобрења аутора.

ISBN 978-86-6093-049-3

ПРЕДГОВОР

Последњих деценија XX века технолошки развој и модернизација донели су, поред позитивних ефеката, и бројне негативне последице по квалитет радне и животне средине. Потенцијалне опасности услед истраживања природних ресурса, отказа техничко-технолошких система, људских и организационих грешака могу на различите начине да угрозе безбедност и здравље људи и радну и животну средину. Због тога, за остваривање безбедних услова живота и рада људи, очување материјалних и природних добара процена ризика и унапређење квалитета радне и животне средине представља неопходност.

Процена ризика има за циљ да идентификује и квантификује делатности при којима може доћи до настанка многобројних опасности и штетности у радној и животној средини. Добро изведена процена ризика пружа довољно релевантних података за процес управљања ризиком, јер са једне стране указује на стање заштите у посматраном систему, а са друге упућује на опције за третирање ризика и на потребу унапређења система заштите радне и животне средине у оквиру контроле ризика. Проценом вероватноће и последица ризика долази се до закључка да ли је ризик од опасних активности на одређеном простору прихватљив. Дакле, остваривање безбедних услова рада, унапређење квалитета радне и животне средине и управљање ризицима могуће је уколико се познају феномени којима се управља и одговарајуће методе управљања. С обзиром да је процена ризика основ за управљање ризиком, неопходно је познавање метода које се у ову сврху могу користити.

Анализа релевантне литературе показује да се велики број истраживача бави проучавањем метода за процену ризика, тако да постоји одређен број радова, књига и приручника из ове области. Међутим, ниједна од поменутих публикација не обједињује ову материју у јединствен садржај, па је употребљивост литературе ограничена, јер се промовисана проблемска подручја разрађују неравномерно – за један сегмент прикупљен је обиман материјал и формулисани су општи ставови, а у испитивањима других проблема тек се праве први кораци. Због свега наведеног, основни циљ ове публикације јесте да читаоцима пружи одговоре на нека, по мишљењу аутора, фундаментална питања и проблеме у овој области, да пружи обједињен приказ метода, алата и техника за процену ризика, укаже на предности и ограничења у примени описаних метода и истакне значај синергије метода за процену ризика, тако да целокупна материја читаоцу може да обезбеди директну примену усвојених знања у пракси.

Публикација *Методe проценe ризика* представља резултат вишегодишњих истраживања аутора на пољу унапређивања безбедности радне и животне средине и управљања ванредним ситуацијама, тј. у публикацији су обједињена стечена теоријска и практична знања аутора из ових области. У публикацији су делом представљени и резултати аутора који су настали у оквиру истраживачких активности на пројектима финансираним од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Због тога садржај ове публикације делом чине и објављени радови који изражавају интересовање аутора за процену ризика техничких система, за процену људских грешака и ергономских фактора, за поузданост и безбедност система, тј. за различите сегменте безбедности и ризика радне и животне средине.

Изложене методолошке оријентације, практична примена метода за процену ризика и приказ бројних библиографских података могу бити од користи многим истраживачима техничке, медицинске, друштвене и других одређености, али и свима онима који се у свом стручном и професионалном раду, посредно или непосредно, сусрећу са овом проблематиком. Концепцијски и садржајно, ова публикација може бити од користи и свим студентима високошколских институција које се баве проблемима безбедности радне и животне средине и управљања ванредним ситуацијама.

Посебно поштовање и захвалност дугујемо рецензентима – проф. др Сузани Савић, проф. др Славку Арсовском, проф. др Војиславу Милтеновићу и проф. др Срђану Глишовићу, на корисним сугестијама и саветима при завршном уобличавању садржаја ове публикације.

У Нишу, 2013. године

Аутори

МЕТОДЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА

РЕЗИМЕ

Остваривање безбедних и квалитетних услова живота и рада (смањење повреда, професионалних обољења и инвалидности запослених, елиминисање и спречавање пожара, управљање ванредним ситуацијама, заштита животне средине и сл.) врши се применом разноврсних и комплексних превентивних мера и активности које утичу на спречавање и елиминисање ризика различите природе и карактера у радној и животној средини.

Најважнији методолошки корак за адекватно управљање ризиком јесте процена ризика. Процена ризика представља аналитичко средство за утврђивање фактора ризика по здравље људи, материјална и природна добра, као и за одређивање приоритета за предузимање мера како би се смањио ризик.

Анализа овако сложене проблематике неминовно води до формирања многих подручја истраживања, како у свету, тако и код нас. Правилно разматрање проблематике тих подручја довешће до оптималних решења. Међутим, неки у свету веома развијени приступи код нас се мало употребљавају, па чак и општеприхваћен системски приступ истраживањима не користи се у одговарајућој мери код нас, што нужно намеће методолошке преоријентације у нашим истраживањима како бисмо се приближили светским развојним тенденцијама. Због тога се у изучавању ризика комплексних система захтева синергетски приступ заснован на мултидисциплинарним начелима, јер се ради о сложеној проблематици која захтева свеобухватну аналитичку и прогностичку оцену нађеног и очекиваног стања у области управљања ризиком у радној и животној средини.

Основна идеја при конципирању садржаја ове публикације била је да се презентују вишегодишња истраживања аутора у области безбедности и ризика система и да се на једном месту обједине и систематизују најзначајније методе, алати и технике за процену ризика у радној и животној средини. Следећи основну идеју, материја је приказана кроз десет поглавља.

У првом поглављу, *Основне термилошке одреднице у вези са ризиком*, истраживачка интересовања аутора фокусирана су на одређивање и дефинисање основних појмова и термина који се користе у теорији ризика. Представљене су основне термилошке одреднице ризика: опасност, ризик, хазард, ванредна ситуација, удес, несрећа, као и дефиниције и класификације ризика, ванредних ситуација и удеса. Без претензија свеобухватности, аутори су настојали да укажу на основне дистинкције међу

поменути појмовима, како би утемељили неопходну теоријску платформу за следећи део публикације који се односи на управљање ризиком.

У другом поглављу, *Управљање ризиком – приступи и одреднице*, развија се концепт управљања ризиком у радној и животној средини и детаљно се анализирају приступи (контексти, оквири) управљања ризиком у свету и код нас. Како литература указује, почетне кораке у истраживању и решавању управљања ризиком налазимо у Аустралији, САД и Великој Британији. Последњи корак ових истраживања јесте сагледавање управљања ризиком кроз стандард *ISO 31000:2009*. Свакако, системи управљања ризиком рефлектују друштвене и економске услове заједница унутар којих се имплементирају. Отуда су варијације између система управљања ризиком у различитим државама знатне и очекиване. Условљене су економским развојем, правним системима, политичко-територијалном организацијом, друштвеним уређењима, природним појавама, али и другим објективним и субјективним потребама и могућностима.

Трећи део публикације, *Основне фазе управљања ризиком*, елаборира основне теоријске и методолошке поставке управљања ризиком. Заправо, аутори разматрају и концепцијски обликују основне фазе управљања ризиком, које доприносе процесу дефинисања и успостављања јединствене методологије за процену и управљање ризиком, а приказане су кроз алгоритам који је формиран на основу дугогодишњег рада на овој проблематици.

Управљање ризиком у радној и животној средини заснива се на сталној примени аналитичко-синтетичког методолошког приступа, јер он омогућава одржавање стабилне равнотеже система, изложеног сталним променама услова функционисања и бројним утицајима. Како процена ризика представља основ за управљање ризиком, неопходно је познавање метода које се у ову сврху могу користити.

Методе за процену ризика, с обзиром на податке које користе, могу бити квалитативне, квантитативне и комбиноване. Деле се на методе за процену вероватноће и методе за процену последица. Методе за процену вероватноће имају за циљ да идентификују и квантификују подручја где потенцијално може доћи до ризика, а методе за процену последица имају за циљ процену негативних последица, њихових потенцијалних ефеката, као и опис могућих мера заштите за елиминацију тих ефеката.

Према стандарду *ISO 31010:2009*, а с обзиром на кораке у процесу процене ризика, методе се могу класификовати на методе за идентификацију ризика, методе за анализу ризика и методе за процену ризика. Избор методе за процену ризика зависи од могућности саме методе, комплексности процеса, степена организације и количине искустава у вези са тим процесом, степена неодређености проблема, тј. квалитета расположивих

информација, ресурса који су неопходни за спровођење анализе и процене ризика, дубине анализе и сл.

С обзиром на аспект примене, методе за процену ризика могу бити методе за процену ризика техничких система, за процену људске поузданости, за анализу акцидента и за анализу управљачке делатности (менаџмента). Свака од ових група метода детаљно је опсервирана у засебним поглављима.

У четвртом поглављу, *Методе за процену ризика техничких система*, представљене су методе које се користе за идентификацију енергије у анализираним системима, идентификацију опасности и њихово оперативно отклањање, идентификацију начина отказа и потенцијалних ефеката на систем, формирање графоаналитичког модела отказа техничких система или моделирање нежељеног догађаја кроз идентификацију секвенци догађаја. Методе из ове групе које посебно фокусирају истраживачку пажњу аутора ове публикације јесу анализа енергије, анализа опасности и операбилности, анализа начина и ефеката (и критичности/детекције) отказа, анализа стабла отказа и анализа стабла догађаја.

Анализа релевантне литературе упућује на закључак да је људски фактор доминантан као узрочник ризичних догађаја. Међутим, и када људски фактор није доминантан, аутори су сагласни у погледу улоге и значаја људских грешака у процењивању опасности и ризика у системима за које се уобичајено и везују ови појмови (у индустријским системима високе технологије, укључујући нуклеарна, хемијска, електроенергетска и слична постројења). Полазећи од ових чињеница и сазнања, у петом поглављу, *Методе за процену људске поузданости*, извршена је анализа људских грешака, приказ метода за процену људске поузданости, са циљем класификације, идентификације, квантификације и редукције људских грешака, као и детаљан приказ методе процене и редукције људске грешке.

Традиционалне методе за анализу акцидента анализирају само извештаје о акцидентима, без успостављања корелационих односа између релевантних фактора узрока и последица акцидента, и не могу предложити адекватна решења за обезбеђивање поузданог рада човека-оператера. Због тога су у шестом поглављу, *Методе за анализу акцидента*, представљене напредне методе за анализу акцидента, и то: анализа функције безбедности, анализа одступања, анализа промена, анализа безбедности рада и комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента. Ове методе имају за циљ да идентификују и анализирају одступања која могу довести до акцидента, да идентификују параметре који одређују нивое безбедности система, као и промене које могу повећати ризик система и да изврше прорачун опасности од акцидента које су изазване деловањем технолошких процеса, људског фактора и окружења.

Организационо-управљачке активности у комплексним системима нису увек правилно координисане и њихово усклађивање представља велики проблем. Методе које су оријентисане ка организационо-управљачким делатностима утврђују како је систем пројектован, како се спроводе радне активности, ко ради на постројењима, како се системом управља, које заштитне мере постоје и сл. Квалитет и правилно усмерење ових активности имају пресудну важност за анализу и процену опасности и начине контроле ризика. Поглавље *Методe за процену ризика управљачке делатности* седмо је поглавље ове публикације. У њему су представљене методе за процену ризика управљачких делатности (менаџмента), које имају за циљ спровођење објективне провере да ли су активности примене система менаџмента квалитетом, заштитом животне средине, безбедношћу и здрављем на раду извршене ефикасно и да ли су усаглашене са међународним стандардима. Ове методе такође служе за откривање организационих и управљачких грешака анализирањем акцидентата применом логичких дијаграма и интегрисањем парцијалних система управљања у јединствен систем управљања. У сагледавању ове сложене организационо-управљачке проблематике користе се различите технике, алати или системи, а аутори су се определили за свеобухватно одређење и приказ следећих: систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине, аудит и пропуст менаџмента и стабло ризика.

Заштита животне средине постаје приоритет скоро сваке организације. Примена система екоменаџмента и легислатива развијених земаља захтева проактивни приступ заштити животне средине у свим аспектима деловања. Значајан алат примене ефикасног и ефективног система екоменаџмента јесте анализа животног циклуса и ексергетска анализа животног циклуса, које представљају *методe за анализу еколошких ризика* (осмо поглавље). Ове методе имају за циљ оцењивање еколошких својстава производа и процеса и сумирање њихових могућих утицаја на животну средину у свим фазама животног циклуса, од екстракције сировина, кроз производњу, дистрибуцију, примену и ликвидацију.

Поглавље *Студије случаја*, девето у публикацији, има за циљ да прикаже практичну примену најчешће коришћених метода за процену ризика. За сваку од представљених метода важи да се применом адекватне информационе подршке повећава ефикасност примене, транспарентност процеса и генерисање одговарајућих информација за тимове у циљу адекватне процене ризика и подршке одлучивања о заштити и унапређењу радне и животне средине.

У десетом, завршном поглављу, под називом *Закључна разматрања*, аутори наглашавају значај анализираних метода и њихов допринос у процени ризика и истичу вредност синергије приказаних метода кроз раз-

личите фазе процеса процене ризика. На основу дугогодишњих истраживања аутора неспоран је закључак да само синергетска примена метода за процену ризика може омогућити идентификацију опасности у истраживаним системима, процену ризика комплексних система и увођење адекватних мера за редукцију ризика на прихватљив ниво.

На крају публикације дат је збирни преглед коришћене литературе, подељен у две засебне целине: књиге, чланци из часописа и зборника радова, и стандарди, директиве, закони, правилници и интернет адресе. Референце аутора нису посебно издвојене, већ су дате у првом делу литературе.

Кључне речи: опасност, ризик, удес, ванредна ситуација, људска грешка, процена ризика, управљање ризиком, методе за процену ризика техничких система, методе за процену људске поузданости, методе за анализу акцидената, методе за процену ризика управљачке делатности (менаџмента), методе за анализу еколошких ризика, синергија, студија случаја.

RISK ASSESSMENT METHODS

SUMMARY

Creation of safe and good living and working conditions (reduction of injuries, professional diseases and disabilities, fire elimination and prevention, emergency management, environmental protection, etc.) is accomplished through application of diverse and complex preventive measures, which help prevent and eliminate occupational and environmental risks of different nature and character.

The most important methodological step for adequate risk management is risk assessment. Risk assessment is an analytical instrument for designating risk factors to human health or material and natural resources, as well as for determining priorities for risk-reducing measures.

An analysis of such a complex issue inevitably leads to the emergence of numerous fields of research, both in our country and in the rest of the world. Proper consideration of the issues in these fields will result in optimal solutions. Nevertheless, some globally very highly developed approaches are underutilized in our country and even the widely accepted systemic approach to research is insufficiently used, which necessarily entails methodological reorientation in domestic research in order for it to get closer to global developmental tendencies. Therefore, the study of risk in complex systems requires a synergetic approach based on multidisciplinary principles as this is a complex issue that requires a comprehensive analytical and prognostic assessment of the actual and expected state in occupational and environmental risk management.

The basic idea in conceiving the content of this publication was to present years of research by the authors in the field of system safety and risk and to gather and systematize in one place the most significant methods for occupational and environmental risk assessment. In keeping with this idea, the content is presented through ten chapters.

In the first chapter, *Basic Risk Related Terminology*, the authors' research interests are focused on determining and defining basic terms and concepts used in risk theory. The basic risk terminology – hazard, risk, emergency, accident – is presented, as well as definitions and classifications of risks, emergencies and accidents. Without any pretension of being overly comprehensive, the authors' intention was to show the fundamental distinctions between the aforementioned terms in order to establish a necessary theoretical background for the subsequent part of the publication, which pertains to risk management.

Chapter Two, *Risk Management – Approaches and Characteristics*, develops the concept of occupational and environmental risk management and ana-

lyzes in detail the approaches (contexts, frameworks) of risk management globally and domestically. As indicated by the literature, the initial steps for studying and implementing risk management were made in Australia, the USA, and the UK. The final step of this research is the analysis of risk management based on the *ISO 31000:2009* standard. Risk management systems by all means reflect the socio-economic conditions of communities in which they are implemented, which is why variations among risk management systems in different countries are considerable but expected. The variations are caused by economic development, legal systems, political and territorial organization, social systems, and natural features, but also by other objective and subjective needs and possibilities.

The third part of the publication, *Basic Stages of Risk Management*, elaborates on the fundamental theoretical and methodological postulations of risk management. In fact, the authors consider and conceptually shape the basic stages of risk management, which aid the process of defining and establishing a unified methodology for risk assessment and management. The stages are presented by means of an algorithm designed as a result of years of work on this issue.

Occupational and environmental risk assessment is based on continual application of the analytic-synthetic methodological approach because it provides stable balance of the system, which is exposed to constant changes in operating conditions and numerous other influences. Since risk assessment is the foundation of risk management, it is necessary to be acquainted with the methods that can be used for this purpose.

According to the data they use, risk assessment methods can be qualitative, quantitative, and combined. They are divided into probability assessment and consequence assessment methods. The purpose of probability assessment methods is to identify and quantify areas where risk can potentially occur, whereas the purpose of consequence assessment methods is to assess negative consequences and their potential effects, as well as to describe possible safety measures for eliminating those effects.

According to the *ISO 31010:2009* and considering the steps involved in risk assessment, the methods are classified into methods for risk identification, methods for risk analysis, and methods for risk assessment. The choice of risk assessment method depends on: the capabilities of the method itself; the complexity of the process; organizational level and amount of experience related to the process; the degree of indeterminacy of the problem, i.e. the quality of available information; the resources necessary for the implementation of risk analysis and assessment; the depth of analysis; etc.

According to the aspect of application, risk assessment methods are classified into methods for risk assessment of technical systems, methods for human reliability assessment, and methods for accident analysis, and methods

for management analysis. Each of these groups of methods is elaborated in more detail in separate chapters.

The fourth chapter, *Methods for Risk Assessment of Technical Systems*, covers methods used to identify energy in analyzed systems, to identify hazards and their operational elimination, to identify the type of failure and potential effects on the system, to design a graphoanalytic model of technical system failure, or to model an undesired event through event sequence identification. The methods in this group on which the authors are especially focused are the following: *Energy Analysis*, *Hazard and Operability Analysis*, *Failure Mode and Effects (and Criticality/Detection) Analysis*, *Fault Tree Analysis*, and *Event Tree Analysis*.

Analysis of referent literature suggests a conclusion that the human factor is the dominant cause of risk events. Yet, even when the human factor is not dominant, the authors agree on the role and importance of human errors in assessing hazards and risks in those systems to which these terms usually pertain (in hi-tech industrial systems, including nuclear, chemical, electric power, and similar plants). Beginning with these facts and findings, the fifth chapter, *Methods for Human Reliability Assessment*, contains human error analysis and an overview of methods for human reliability assessment with the purpose of classifying, identifying, quantifying, and reducing human errors. The chapter also contains a detailed description of the *Human Error Assessment and Reduction Technique*.

Traditional methods for accident analysis analyze only accident reports, without establishing any correlations between relevant factors of accident causes and effects, and therefore cannot propose adequate solutions for the provision of safe work of man-operator. Accordingly, the sixth chapter, *Methods for Accident Analysis*, deals with modern methods for accident analysis: *Safety Function Analysis*, *Deviation Analysis*, *Change Analysis*, *Job Safety Analysis*, and *the Complex Method for Assessment of Overall Hazard of an Accident*. The purpose of these methods is to identify and analyze deviations that may lead to accidents, to identify parameters that determine safety levels and changes that may increase system risk, and to calculate hazards of accidents caused by the operation of technological processes, by the human factor, and by the environment.

Organizational and management activities in complex systems are not always properly coordinated and their harmonization poses a big problem. The methods oriented towards organizational and management activities determine e.g., how a system is designed, how operational activities are being implemented, who works in the plants, how a system is managed, and which safety measures are in place. The quality and proper orientation of these activities is of paramount importance for the analysis and assessment of hazards and the ways of risk control. The chapter *Methods for Management Risk Assessment* is the

seventh chapter of the publication. It describes methods for risk assessment of management activities, whose aim is to objectively verify whether the implementation of management systems for quality, environmental protection, and occupational safety and health complies with international standards. These methods are also used to identify organizational and management errors by analyzing accidents with logical diagrams and by integrating partial management systems into a single management system. Analysis of this complex organizational and management issue employs a variety of techniques, tools, and systems, and the authors opted for a comprehensive definition and review of the following ones: *Safety, Health and Environmental Management System, Audits, Management Oversight, and Risk Tree*.

Environmental protection is becoming a priority of almost every organization. Implementation of the eco-management system and of the legislation of developed countries requires a proactive approach to environmental protection in all its aspects. Important tools for the implementation of an efficient and effective eco-management system are *Life Cycle Analysis* and *Exergetic Life Cycle Analysis*, which represent *methods for environmental risk analysis* (Chapter Eight). The purpose of these methods is to assess the environmental properties of products and processes and to summarize their possible environmental impact in each life-cycle stage, from the extraction of raw materials, through production, distribution, and use to their disposal.

The ninth chapter, *Case Studies*, covers the practical application of the most frequently used risk assessment methods. The common feature of each of the methods presented is that the use of adequate information support increases implementation efficiency, process transparency, and generation of relevant information for teams, all for the purpose of adequate risk assessment and support of decision making regarding occupational and environmental safety and improvement.

In the tenth, and final, chapter, entitled *Concluding Remarks*, the authors emphasize the importance of the analyzed methods and their contribution to risk assessment and also highlight the value of the synergy of those methods through various stages of risk assessment. Based on years of research, the authors reach an undeniable conclusion that only synergetic implementation of risk assessment methods can provide hazard identification in the studied systems, risk assessment of complex systems, and introduction of adequate measures to reduce risk to an acceptable level.

The final part of the publication provides all the references used, divided into two separate parts: books and articles from journals or proceedings on the one hand; and standards, directives, laws, regulations, and web addresses on the other hand. References by the authors are included within the first part.

Key words: hazard, risk, accident, emergency, human error, risk assessment, risk management, methods for risk assessment of technical systems, methods for human reliability assessment, methods for accident analysis, methods for management risk assessment, methods for environmental risk analysis, synergy, case study.

СПИСАК СЛИКА

- Слика 1.1. Узроци који доводе до несрећа према теорији Ледени брег
- Слика 2.1. Приступ *NRC* за управљање ризиком
- Слика 2.2. Приступ *HPB* за управљање ризиком
- Слика 2.3. Приступ *CSA-Q850-97* за управљање ризиком
- Слика 2.4. Алгоритам британске методологије за процену професионалног ризика
- Слика 2.5. Приступ за управљање ризиком у Аустралији
- Слика 2.6. Веза између анализе ризика, оцењивања ризика и управљања ризиком
- Слика 2.7. Процесни елементи процеса за управљање ризиком
- Слика 2.8. Информациони систем за управљање ризиком радне и животне средине
- Слика 2.9. Приступ управљања ризиком према *ISO 31000:2009*
- Слика 2.10. Елементи приступа за управљање ризиком према *ISO 31000:2009*
- Слика 3.1. Алгоритам за процену и управљање ризиком
- Слика 3.2. Основни кораци принципа заштите по нивоима
- Слика 3.3. Контролно-управљачки модел процене ризика посредством стандарда и препорука
- Слика 3.4. Модел интеграције здравствених, безбедносних и еколошких ризика
- Слика 3.5. Процена ризика по *ALARP* принципу
- Слика 4.1. Процедура за анализу енергије
- Слика 4.2. Процедура спровођења *HAZOP*
- Слика 4.3. Дијаграм тока за *HAZOP* поступак
- Слика 4.4. Алгоритам „поједностављеног“ одвијања *FMECA*
- Слика 4.5. Хијерархијска организација система
- <п>Слика 4.6. Методологија анализе стабла отказа
- п
- Слика 4.7. Симболи који се користе у анализи стабла отказа
- Слика 4.8. Основни кораци у формирању стабла отказа
- Слика 4.9. Нивои стабла отказа
- Слика 4.10. Процедура формирања минималног скупа пресека
- Слика 4.11. Примена минималног скупа пресека за евалуацију вероватноће *TOP* догађаја
- Слика 4.12. Примена минималног скупа пресека за евалуацију важности (квантитативна евалуација)
- Слика 4.13. Процедура формирања минималног скупа стаза
- Слика 4.14. Израда студије изводљивости на основу минималног скупа стаза
- Слика 4.15. Различити начини описивања логичких веза
- Слика 4.16. Пример иницијалног и утицајног догађаја
- Слика 4.17. Утицајни догађај – анализа последица
- Слика 4.18. Фокус *ETA/FTA* и заштитни слојеви
- Слика 4.19. Пример одређивања вероватноће крајњег исхода
- Слика 4.20. Пример стабла догађаја
- Слика 4.21. Матрица ризика *ANSI/ISA-84.01-1996* у коме не постоји категорија *SIL4*

- Слика 4.22. График ризика
Слика 4.23. Радни образац за LOPA
- Слика 5.1. Кораци у процени људске поузданости
Слика 5.2. Процедурални кораци *HEART* методе
- Слика 6.1. Процедура анализе функције безбедности
Слика 6.2. Процедура анализе одступања
Слика 6.3. Дијаграм анализе промена
- Слика 7.1. Интегрисани систем менаџмента
Слика 7.2. *PDCA* систем менаџмента
Слика 7.3. Фокус интересних група у стандардима
Слика 7.4. *SHE* систем управљања и *HEMP*
Слика 7.5. Симболи који се користе у *MORT* анализи
Слика 7.6. Део стабла *MORT* методе
Слика 7.7. Кодирање у боји приликом извођења *MORT* анализе
- Слика 8.1. Животни циклус производа
Слика 8.2. Системски модел производа за оцењивање животног циклуса
Слика 8.3. Фазе *LCA* и њихове узајамне зависности
Слика 8.4. Пример формирања инвентара животног циклуса (кућног апарата за кафу)
Слика 8.5. Пример карактеризације утицаја папирне и пластичне кесе на животну средину
Слика 8.6. Елементи *LCIA*
Слика 8.7. Дијаграм општих материјално-енергетских токова у животном циклусу производа
Слика 8.8. Дијаграм масених токова
Слика 8.9. *Sankey* дијаграм
Слика 8.10. Облици енергије у систему
Слика 8.11. Пример протицања енергије и ексергије кроз термоелектрану
Слика 8.12. Ексергетски дијаграм
Слика 8.13. Методологија *ELCA*
- Слика 9.1. Пример модела аутоматског система заштите
Слика 9.2. Стабло отказа за модел аутоматског система заштите
Слика 9.3. Матрица за процену ризика
Слика 9.4. Дијаграм ризика радног места
Слика 9.5. *SHE* управљачка структура *Shell* групе
Слика 9.6. Веза између *SHE-MS* и *SHE* алата
Слика 9.7. *Bow tie* модел управљања ризицима: везе између контроле и задатака
Слика 9.8. Систем процене ризика у компанији *Shell*
Слика 9.9. Део програма процене ризика по здравље у компанији *Shell*
Слика 9.10. Који производ је еколошки подобнији?
Слика 9.11. Процена утицаја на животну средину 3000 пластичних чаша и керамичке шоље применом *Eco indicator 95*
Слика 9.12. Ексергетски дијаграм животног циклуса 3000 пластичних чаша
Слика 9.13. Ексергетски дијаграм животног циклуса керамичке шоље

LIST OF FIGURES

- Figure 1.1. Accident causes according to the Iceberg Theory
- Figure 2.1. The NRC risk management approach
- Figure 2.2. The HPB risk management approach
- Figure 2.3. The CSA-Q850-97 risk management approach
- Figure 2.4. Algorithm of the British methodology for professional risk assessment
- Figure 2.5. Risk management approach in Australia
- Figure 2.6. Connection between risk analysis, risk assessment, and risk management
- Figure 2.7. Elements of the risk management process
- Figure 2.8. Information system for occupational and environmental risk management
- Figure 2.9. Risk management approach according to ISO 31000:2009
- Figure 2.10. Risk management approach elements according to ISO 31000:2009
- Figure 3.1. Algorithm for risk assessment and risk management
- Figure 3.2. Basic steps of the principle of safety by levels
- Figure 3.3. Control and management model of risk assessment by means of standards and recommendations
- Figure 3.4. Model of integration of health, safety, and environmental risks
- Figure 3.5. Risk assessment according to the ALARP principle
- Figure 4.1. Energy analysis procedure
- Figure 4.2. HAZOP implementing procedure
- Figure 4.3. Flow diagram for the HAZOP procedure
- Figure 4.4. Algorithm of a “simplified” performance of FMECA
- Figure 4.5. Hierarchic organization of a system
- Figure 4.6. Methodology of fault tree analysis
- Figure 4.7. Symbols used in fault tree analysis
- Figure 4.8. Basics steps for fault tree formation
- Figure 4.9. Fault tree levels
- Figure 4.10. Formation of a minimal cut set
- Figure 4.11. Use of a minimal cut set to evaluate probability of a TOP event
- Figure 4.12. Use of a minimal cut set to evaluate importance (quantitative evaluation)
- Figure 4.13. Formation of a minimal set of paths
- Figure 4.14. Design of a feasibility study based on a minimal set of paths
- Figure 4.15. Different ways of describing logical connections
- Figure 4.16. Example of initiating event and impact event
- Figure 4.17. Impact event – consequences analysis
- Figure 4.18. ETA/FTA focus and layers of protection
- Figure 4.19. Example of determining and outcome probability
- Figure 4.20. Example of event tree
- Figure 4.21. Risk matrix ANSI/ISA-84.01-1996 with no SIL4 category
- Figure 4.22. Risk graph
- Figure 4.23. Worksheet template for LOPA
- Figure 5.1. Human reliability assessment steps
- Figure 5.1. HEART method procedural steps

- Figure 6.1. Safety function analysis - procedural steps
- Figure 6.2. Deviation analysis - procedural steps
- Figure 6.3. Change analysis diagram

- Figure 7.1. Integrated management system
- Figure 7.2. PDCA management system
- Figure 7.3. Focus of stakeholders in standards
- Figure 7.4. SHE management system and HEMP
- Figure 7.5. Symbols used in MORT analysis
- Figure 7.6. MORT method – part of the tree
- Figure 7.7. Colour-coding during MORT analysis

- Figure 8.1. Product life cycle
- Figure 8.2. Systemic model of products for life cycle assessment
- Figure 8.3. LCA stages and their interdependence
- Figure 8.4. Example of life cycle inventory formation (household coffee machine)
- Figure 8.5. Example of the characterization of environmental impact of paper and plastic bags
- Figure 8.6. LCIA elements
- Figure 8.7. Diagram of general material and energy flows in a product's life cycle
- Figure 8.8. Mass flow diagram
- Figure 8.9. Sankey diagram
- Figure 8.10. Forms of energy in a system
- Figure 8.11. Example of energy and exergy flow through a heat power plant
- Figure 8.12. Exergy diagram
- Figure 8.13. ELCA methodology

- Figure 9.1. Example of an safety instrumented system model
- Figure 9.2. Fault tree for an safety instrumented system model
- Figure 9.3. Risk assessment matrix
- Figure 9.4. Workplace risk diagram
- Figure 9.5. SHE management structure of the Shell group
- Figure 9.6. Connection between SHE-MS and SHE tools
- Figure 9.7. Bow Tie model of risk management: connections between control and tasks
- Figure 9.8. System for risk assessment in Shell company
- Figure 9.9. Part of the program for health risk assessment in Shell company
- Figure 9.10. Which product is environmentally more adequate?
- Figure 9.11. The evaluated environmental effects of 3000 plastic cups and porcelain mug according to the Eco-indicator 95
- Figure 9.12. Exergy diagram of the life cycle of the 3000 plastic cups
- Figure 9.13. Exergy diagram of the life cycle of the porcelain mug

СПИСАК ТАБЕЛА

- Табела 2.1. Преглед развоја у управљању пројектима и ризиком
Табела 2.2. Међусобна веза активности у оквиру менаџмента ризиком
- Табела 3.1. Методе за процену ризика
Табела 3.2. Критеријуми за величину последица (матрица последица)
Табела 3.3. Матрица ризика
Табела 3.4. Прихватљивост ризика
Табела 3.5. Оцена професионалног ризика
Табела 3.6. Прихватљивост професионалног ризика
Табела 3.7. Нивои, оцене и опис вероватноће
Табела 3.8. Нивои, оцене и опис последица
Табела 3.9. Матрица рангирања ризика
Табела 3.10. Нивои, оцене ризика и предлог мера за контролу ризика
Табела 3.11. Критеријуми за процену вероватноће настанка удеса
Табела 3.12. Критеријуми за процену могућих последица
Табела 3.13. Критеријуми за процену ризика
Табела 3.14. Државне смернице за контролу ризика
- Табела 4.1. Чек-листа за анализу енергије
Табела 4.2. Пример скале за процену ризика
Табела 4.3. Мере заштите и одговарајућа алтернативна решења
Табела 4.4. Радни образац за анализу енергије
Табела 4.5. Основне водеће речи и њихово генеричко значење
Табела 4.6. Водеће речи везане за временско одвијање активности
Табела 4.7. Процесна одступања и примена водећих речи
Табела 4.8. Основне генеричке *HAZOP* водеће речи за процесну, хемијску индустрију и производњу енергије
- Табела 4.9. Пример *HAZOP* радног листа
Табела 4.10. Пример скале (1–5) за оцену учесталости отказа
Табела 4.11. Пример скале (1–10) за оцену учесталости отказа
Табела 4.12. Пример скале за озбиљност отказивања
Табела 4.13. Пример скале за оцену ефеката (последица) отказивања
Табела 4.14. Пример скале за оцену нивоа критичности
Табела 4.15. Пример скале за детекцију отказа
Табела 4.16. Приказ подлога за оцену приоритета ризика
Табела 4.17. Радни образац за *FMEA*
Табела 4.18. Минимални скупови пресека
Табела 4.19. Теореме и аксиоме Булове алгебре
Табела 4.20. Таблица истинитости за логичке капије са три елемента
Табела 4.21. Типичне категорије последица које се примењују у матрицама ризика
Табела 4.22. Типичне категорије вероватноће за примену у матрицама ризика
Табела 4.23. Типичне категорије последица изражене путем вероватноће губитка живота
Табела 4.24. Типичне категорије последица изражене у облику величине угрожавања околине
Табела 4.25. Типичне категорије запоседнутости простора

- Табела 4.26. Типичне категорије вероватноће избегавања опасности
Табела 4.27. Типичне категорије учесталости догађаја
- Табела 5.1. Оцена постојећих метода за процену људских грешака
Табела 5.2. Класификација задатака
Табела 5.3. *HEART EPC*
Табела 5.4. Процене утицаја важне за редукцију грешака
- Табела 6.1. Класификација последица одступања
Табела 6.2. Листа провере функције система и одступања
Табела 6.3. Радни образац у анализи одступања
Табела 6.4. Радни образац за анализу промена
Табела 6.5. Процена нивоа укупне опасности од акцидента
- Табела 7.1. Заједнички захтеви који се реализују у *PLAN* фази
Табела 7.2. Заједнички захтеви који се реализују у *DO* фази
Табела 7.3. Заједнички захтеви који се реализују у *CHECK* фази
Табела 7.4. Заједнички захтеви који се реализују у *ACT* фази
Табела 7.5. Критеријуми за аудит
- Табела 8.1. *LCA* кроз *ISO* стандарде
Табела 8.2. Систем бодова 0–4
Табела 8.3. *MEW* матрица за спровођење *LCA* индустријских производа
Табела 8.4. Ексергетски фактор за поједине облике енергије
Табела 8.5. Ексергетски фактор неких материјала
- Табела 9.1. Матрица минималних скупова пресека за систем $P_0 = P_1 \cdot P_{24}$
Табела 9.2. *HAZOP* студија: резултати за напојну секцију претпостављених погона димеризације, од складишта међупроизвода до *Buffer* таложног резервоара
Табела 9.3. Пример *FMECA* за оцену пожарне опасности електромотора
Табела 9.4. Радни образац за идентификацију опасности и штетности
Табела 9.5. Критеријуми за одређивање нивоа ризика
Табела 9.6. Ранг ризика
Табела 9.7. Резултати процене нивоа укупне опасности од акцидента
Табела 9.8. Количине улазних ресурса (оба животна циклуса) (*kg*)
Табела 9.9. Емисије током животног циклуса керамичке шоље
Табела 9.10. Емисије током животног циклуса 3000 пластичних чаша
Табела 9.11. Емисија у земљиште (оба животна циклуса) (*kg*)
Табела 9.12. *ELCA* укупни улази (*kg*)
Табела 9.13. *ELCA* укупни излази (*kg*)
Табела 9.14. *ZERO–ELCA* (смањење ексергије главних емисија у *MJ*)
- Табела 10.1. Примена метода за процену ризика

LIST OF TABLES

Table 2.1.	Overview of development in project and risk management
Table 2.2.	Interrelation of activities within risk management
Table 3.1.	Risk assessment methods
Table 3.2.	Criteria for the scope of consequences (consequence matrix)
Table 3.3.	Risk matrix
Table 3.4.	Risk acceptability
Table 3.5.	Assessment of professional risk
Table 3.6.	Acceptability of professional risk
Table 3.7.	Levels, assessments, and description of probability
Table 3.8.	Levels, assessments, and description of consequences
Table 3.9.	Risk ranking matrix
Table 3.10.	Risk levels and assessments, and proposed measures for risk control
Table 3.11.	Criteria for accident probability assessment
Table 3.12.	Criteria for assessment of potential consequences
Table 3.13.	Criteria for risk assessment
Table 3.14.	State guidelines for risk control
Table 4.1.	Energy analysis checklist
Table 4.2.	Example of a risk assessment scale
Table 4.3.	Protective measures and corresponding alternative solutions
Table 4.4.	Worksheet template for energy analysis
Table 4.5.	Basic guide words and their generic meanings
Table 4.6.	Guide words related to activity time frame
Table 4.7.	Process deviations and use of guide words
Table 4.8.	Basic HAZOP generic guide words for processing, chemical, and manufacturing industry
Table 4.9.	Example of a HAZOP worksheet
Table 4.10.	Example of a scale (1-5) for failure frequency assessment
Table 4.11.	Example of a scale (1-10) for failure frequency assessment
Table 4.12.	Example of a scale for failure severity
Table 4.13.	Example of a scale for effects (consequences) assessment
Table 4.14.	Example of a scale for criticality level assessment
Table 4.15.	Example of a scale for failure detection
Table 4.16.	Overview of the bases for risk priority assessment
Table 4.17.	Worksheet template for FMEA
Table 4.18.	Minimal cut sets
Table 4.19.	Theorems and axioms of Boolean algebra
Table 4.20.	Truth table for logic gates with three elements
Table 4.21.	Typical consequence categories used in risk matrices
Table 4.22.	Typical probability categories used in risk matrices
Table 4.23.	Typical consequence categories expressed as Probability of Life Loss - PLL
Table 4.24.	Typical consequence categories expressed as environmental threat quantity
Table 4.25.	Typical categories of possession of space

Table 4.26.	Typical categories of hazard avoidance probability
Table 4.27.	Typical categories of event frequency
Table 5.1.	Assessment of existing methods for human error assessment
Table 5.2.	Task classification
Table 5.3.	HEART EPC
Table 5.4.	Impact assessment relevant for error reduction
Table 6.1.	Classification of deviation consequences
Table 6.2.	Checklist for system function and deviation
Table 6.3.	Worksheet template for deviation analysis
Table 6.4.	Worksheet template for change analysis
Table 6.5.	Assessment of the level of overall hazard of an accident
Table 7.1.	Joint requirements realized in the PLAN stage
Table 7.2.	Joint requirements realized in the DO stage
Table 7.3.	Joint requirements realized in the CHECK stage
Table 7.4.	Joint requirements realized in the ACT stage
Table 7.5.	Auditing criteria
Table 8.1.	LCA through ISO standards
Table 8.2.	0–4 point system
Table 8.3.	MEW matrix for the implementation of LCA of industrial products
Table 8.4.	Exergetic factor for some forms of energy
Table 8.5.	Exergetic factor of some materials
Table 9.1.	Matrix of minimal cut sets for the system $P_0 = P_1 \cdot P_{24}$
Table 9.2.	HAZOP study: results for the feed section of proposed dimerization plants, from intermediate storage to buffer/settling tank
Table 9.3.	Example of FMECA for the assessment of electric motor fire hazard
Table 9.4.	Worksheet template for hazard and harm assessment
Table 9.5.	Criteria for determining risk level
Table 9.6.	Risk rank
Table 9.7.	Results of the assessment of overall hazard of an accident
Table 9.8.	Amount of input resources (both life cycles) (kg)
Table 9.9.	Emissions during the life cycle of the porcelain mug
Table 9.10.	Emissions during the life cycle of 3000 plastic cups
Table 9.11.	Emissions to the soil (both life cycles) (kg)
Table 9.12.	ELCA total inputs (kg)
Table 9.13.	ELCA total outputs (kg)
Table 9.14.	ZERO–ELCA (abatement exergy of the main harmful emissions in MJ)
Table 10.1.	Application of risk assessment methods

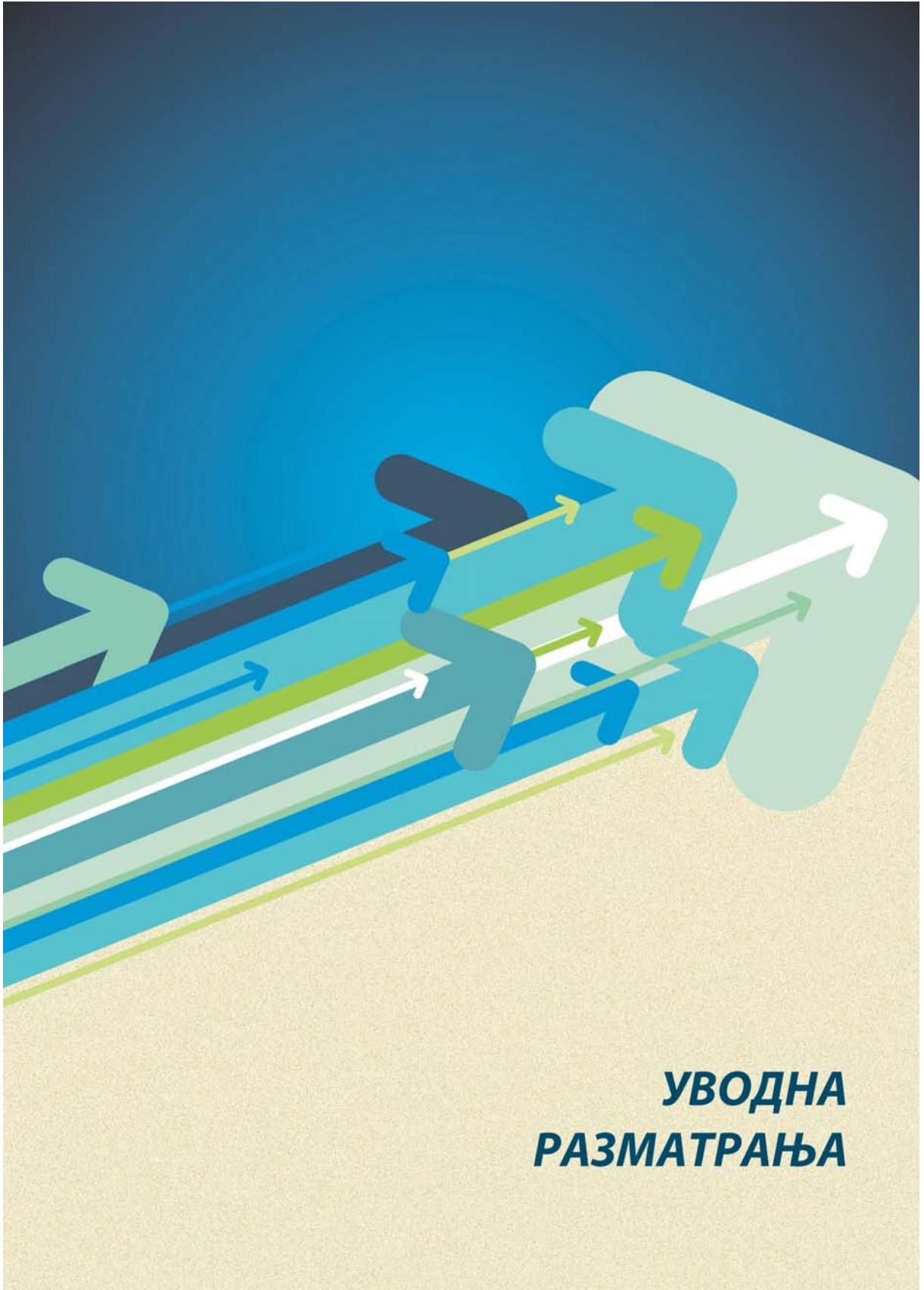
САДРЖАЈ

УВОДНА РАЗМАТРАЊА	3
1. ОСНОВНЕ ТЕРМИНОЛОШКЕ ОДРЕДНИЦЕ	
У ВЕЗИ СА РИЗИКОМ.....	13
1.1. Појам, дефиниције и класификације ризика	14
1.2. Појам, дефиниције и класификације ванредних ситуација	18
1.3. Појам, дефиниције и класификације удеса.....	24
1.4. Појам, дефиниције и класификације несрећа.....	29
2. УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ – ПРИСТУПИ И ОДРЕДНИЦЕ	35
2.1. Историјски преглед управљања ризиком.....	35
2.2. Управљање ризиком – термилошке одреднице	37
2.3. Приступ управљања ризиком у САД.....	39
2.4. Приступ управљања ризиком у Канади	40
2.5. Приступ управљања ризиком у Великој Британији.....	42
2.6. Приступ управљања ризиком у Аустралији	44
2.7. Приступ управљања ризиком у Словачкој.....	44
2.8. Приступ управљања ризиком у Србији.....	45
2.9. Приступ управљања ризиком према стандарду ISO 31000:2009	49
2.10. Предности и ограничења приступа за управљање ризиком	50
3. ОСНОВНЕ ФАЗЕ УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ.....	55
3.1. Утврђивање контекста управљања ризиком.....	56
3.1.1. Дефинисање система и параметара за процену ризика.....	56
3.1.2. Избор метода за процену ризика	57
3.1.3. Анализа система безбедности	62
3.1.4. Формирање модела ризика и променљивост стандарда у процени ризика.....	65
3.2. Идентификација ризика	67
3.3. Анализа ризика.....	68
3.4. Процена ризика	69
3.5. Вредновање ризика	76
3.6. Третман ризика.....	79
3.7. Мониторинг ризика	79
3.8. Документовање ризика.....	80

4. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА.....	83
4.1. Анализа енергије.....	83
4.1.1. <i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	83
4.1.2. <i>Методологија</i>	84
4.1.3. <i>Предности и ограничења</i>	88
4.2. Анализа опасности и операбилности	89
4.2.1. <i>Врсте HAZOP студија</i>	89
4.2.2. <i>Типови HAZOP студија</i>	90
4.2.3. <i>Значај HAZOP</i>	91
4.2.4. <i>Подручје примене HAZOP</i>	91
4.2.5. <i>HAZOP тим</i>	92
4.2.6. <i>HAZOP ресурси</i>	92
4.2.7. <i>Методологија</i>	92
4.2.8. <i>Предности и ограничења</i>	100
4.3. Анализа начина и ефеката (и критичности/детекције) отказа.....	101
4.3.1. <i>Типови FMEA</i>	102
4.3.2. <i>Значај FMEA</i>	103
4.3.3. <i>FMEA тим</i>	103
4.3.4. <i>FMEA ресурси</i>	103
4.3.5. <i>Подручје примене FMEA</i>	104
4.3.6. <i>Методологија</i>	104
4.3.7. <i>Предности и ограничења</i>	112
4.4. Анализа стабла отказа	112
4.4.1. <i>Значај FTA</i>	113
4.4.2. <i>FTA тим</i>	114
4.4.3. <i>FTA ресурси</i>	114
4.4.4. <i>Подручје примене FTA</i>	114
4.4.5. <i>Методологија</i>	114
4.4.6. <i>Квалитативна анализа стабла отказа</i>	120
4.4.7. <i>Формирање минималних скупова пресека</i>	122
4.4.8. <i>Формирање минималних скупова стаза</i>	125
4.4.9. <i>Квантитативна анализа стабла отказа</i>	127
4.4.10. <i>Предности и ограничења</i>	134
4.5. Анализа стабла догађаја.....	134
4.5.1. <i>Значај ETA</i>	135
4.5.2. <i>ETA тим</i>	136
4.5.3. <i>ETA ресурси</i>	136
4.5.4. <i>Подручје примене ETA</i>	136
4.5.5. <i>Методологија</i>	136
4.5.6. <i>Квалитативна и квантитативна анализа</i> <i>стабла догађаја</i>	141
4.5.7. <i>Предности и ограничења</i>	148

5.	МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ ЉУДСКЕ ПОУЗДАНОСТИ.....	151
5.1.	Анализа људске грешке.....	151
5.2.	Приказ метода за процену људске поузданости.....	156
5.3.	Метода процене и редукције људске грешке.....	161
6.	МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ АКЦИДЕНАТА	169
6.1.	Анализа функције безбедности.....	169
6.1.1.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	170
6.1.2.	<i>Методологија.....</i>	171
6.1.3.	<i>Предности и ограничења</i>	174
6.2.	Анализа одступања.....	174
6.2.1.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	176
6.2.2.	<i>Методологија.....</i>	177
6.2.3.	<i>Предности и ограничења</i>	181
6.3.	Анализа промена.....	181
6.3.1.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	182
6.3.2.	<i>Методологија.....</i>	182
6.3.3.	<i>Предности и ограничења</i>	185
6.4.	Анализа безбедности рада	185
6.4.1.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	186
6.4.2.	<i>Методологија.....</i>	186
6.4.3.	<i>Предности и ограничења</i>	188
6.5.	Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента.....	189
6.5.1.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	189
6.5.2.	<i>Методологија.....</i>	189
6.5.3.	<i>Предности и ограничења</i>	192
7.	МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА УПРАВЉАЧКЕ ДЕЛАТНОСТИ.....	195
7.1.	Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине.....	195
7.1.1.	<i>Интегрисани систем менаџмента</i>	196
7.1.2.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	203
7.1.3.	<i>Методологија.....</i>	203
7.1.4.	<i>Предности и ограничења</i>	205
7.2.	Аудит	205
7.2.1.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	207
7.2.2.	<i>Методологија.....</i>	208
7.2.3.	<i>Предности и ограничења</i>	212
7.3.	Пропуст менаџмента и стабло ризика	212
7.3.1.	<i>Подручје примене, тим, ресурси</i>	212
7.3.2.	<i>Методологија.....</i>	213
7.3.3.	<i>Предности и ограничења</i>	216

8.	МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ ЕКОЛОШКИХ РИЗИКА.....	219
8.1.	Анализа животног циклуса.....	219
8.1.1.	Методологија.....	223
8.1.2.	Оцена животног циклуса.....	225
8.1.3.	Предности и ограничења.....	232
8.2.	Ексергетска анализа животног циклуса.....	233
8.2.1.	Масени биланс.....	233
8.2.2.	Енергетски биланс.....	235
8.2.3.	Ексергетски биланс.....	236
8.2.4.	Опис ELCA методе.....	240
8.2.5.	Методологија.....	241
8.2.6.	Предности и ограничења.....	243
9.	СТУДИЈЕ СЛУЧАЈА.....	247
9.1.	Практична примена анализе стабла отказа.....	247
9.2.	Практична примена анализе опасности и операбилности.....	253
9.3.	Практична примена анализе начина, ефеката и критичности отказа.....	256
9.4.	Практична примена анализе безбедности рада.....	259
9.5.	Практична примена комплексне методе за процену нивоа укупне опасности од акцидента.....	273
9.6.	Практична примена система управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине.....	278
9.7.	Практична примена ексергетске анализе животног циклуса.....	283
10.	ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА.....	295
10.1.	Синергија метода.....	295
10.1.1.	Идентификација опасности.....	296
10.1.2.	Селекција, избор и примена метода за процену ризика.....	297
	ЛИТЕРАТУРА.....	307
	ИНДЕКС ПОЈМОВА.....	325
	БИБЛИОГРАФИЈЕ АУТОРА.....	331



**УВОДНА
РАЗМАТРАЊА**

УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Савременици смо радикалних економских, привредних и других друштвених трансформација. Трансформациони и транзициони процеси представљају велики изазов за све сегменте друштва у прилагођавању променама. Безбедност радне и животне средине и управљање ванредним ситуацијама постају приоритетан циљ у функционисању свих организација које своју конкурентну предност треба да остварују на знањима из ове области.

Карактеристике савременог доба нису само велике технолошке и геополитичке промене, како се често истиче, већ су то, пре свега, промене системских својстава у окружењу. Ове промене, осим несумњивих позитивних ефеката, садрже, али и генеришу, нове ризике. Све је више аутора који „светско друштво“ посматрају као „друштво ризика“. То је и разумљиво ако се има у виду да „без ризика нема прогреса“ и да је, заправо, у техничкој цивилизацији прогрес повезан са ризиком (Зубков, 2001, према: Николић, Живковић, 2010).

Актуелизацијом проблема безбедности и ризика техничко-технолошких система проучавање квалитета рада људи и формирање јединствене методологије за идентификацију, квантификацију и редукацију ризика постаје неопходност. Шездесетих и седамдесетих година прошлог века елементи система заштите били су усмерени ка ублажавању техничких пропуста, односно ка повећању поузданости управљачких средстава. Осамдесетих година акценат се ставља на људски фактор, тако да боља обука, веће коришћење информационо-телекомуникационих и заштитних система представљају решење за смањење и елиминисање људског фактора као носиоца узрока већине акцидената. Деведесетих година највећа пажња посвећена је социо-техничким факторима, да би почетком XXI века синергетски приступ постао доминантан у решавању ових, све значајнијих, проблема постиндустријског друштва, условљених већом аутоматизацијом и компјутеризацијом техничко-технолошких система (Гроздановић, 2001).

Глобални изазови потврђују да ниједно друштво, без обзира на ниво технолошког, привредног и друштвеног развоја, не може да занемари бројне опасности и ризике од технолошких, антропогених и природних катастрофа које угрожавају човека, природна и материјална добра и животну средину. Према оцени аналитичара, годишње се деси више од пет милиона регистрованих пожара, стотине хиљада временских непогода, око

десет хиљада поплава, хиљаде земљотреса, урагана, тајфуна, вулканских ерупција, тропских циклона, милиони друмско-транспортних несрећа, хиљаде великих индустријских хаварија и експлозија, стотине бродолома, десетине авионских несрећа итд. (Николић, 2007).

Анализе акцидентата играју важну улогу у безбедности система радне и животне средине. Често се поставља питање како да знања о акцидентима постане део знања за редукцију ризичних ситуација у техничко-технолошким системима. С једне стране, ти системи прикупљају ова знања из очигледних и не баш честих акцидентата, а и из мање очигледних, али чешћих случајева, као што су пропусти и небезбедан рад. На основу ових сазнања формирана је стратегија о небезбедном раду као кључној компоненти која у комбинацији са другим неповољним околностима доводи до акцидентата. Због тога анализа пропуста у раду може знатно да помогне у смањивању и спречавању акцидентата. С друге стране, знатан утицај на безбедност система има и међусобни однос техничког и хуманог аспекта, као и њихов заједнички однос према организационим формама тих система (Гроздановић, 2003).

Анализа литературе показује да у целом свету годишње као последица несрећа, хаварија, катастрофа, пожара, несрећних случајева у производњи и др. погине око два милиона људи, док неколико десетина милиона задобије трауме, тровања и друге здравствене последице и проблеме. При томе сумарна (директна и индиректна) штета изазвана свим тим несрећама досеже вредност 3% укупне глобалне економије.

С обзиром на мноштво ризика и опасности различите природе и карактера, остваривање и обезбеђивање безбедности радне и животне средине, уз утврђивање и процену ризика, представља сложен научно-технички и социјално-економски проблем.

Веома значајна компонента за анализу и истраживање ове проблематике јесте процена ризика и управљање ризиком у радној и животној средини. Процена ризика представља аналитичко средство за утврђивање фактора ризика по здравље људи и материјална и природна добра, као и за одређивање приоритета за предузимање мера како би се смањио ризик.

С обзиром на различитост теоријско-методолошких приступа и дисциплина у оквиру којих се термин *ризик* употребљава и с обзиром на различитост опасности које могу у одређеним околностима да прерасту у ризик са различитим последицама, тешко је дати јединствено одређење и свеобухватну дефиницију ризика. Због тога се, углавном из практичних разлога, дефинисање ризика врши према датим и конкретним потребама.

Анализа релевантне литературе указује на сагласност аутора у томе да се ризик може разматрати са два аспекта: са аспекта узрока и са аспекта последица. Са аспекта узрока ризик је функција опасности и заштите, док

је са аспекта последица ризик функција вероватноће ризичног догађаја и мере њиме изазваног губитка. *Ризични догађај* јесте догађај који изазива нарушавање физичког, психичког и моралног интегритета људи и угрожавање материјалних и природних добара или система. С обзиром на овакву дефиницију ризичног догађаја, често је присутна подела ризичних догађаја на несрећне случајеве, хаварије и катастрофе. *Несрећни случај* јесте ризични догађај који за последицу има смрт, повреду и привремени или трајни губитак радне способности човека. *Хаваријски ризични догађај* доводи до таквих оштећења средстава рада која захтевају капитални или средњи ремонт за поновно успостављање задате ефективности система. Ризични догађај који је истовремено и хаваријски и несрећни случај са смртним исходом јесте *катастрофалан догађај* (Анђелковић, 2009).

С обзиром на брзину развоја, ризични догађаји могу бити *удесни* (карактеришу се великом брзином развоја, брзим деградационим процесима, великом брзином промене параметара и скоковитим променама излазних карактеристика система) и *кумулятивни* (карактеришу се спорим развојем, спорим деградационим процесима и постепеном променом понашања система). Удесни ризични догађаји изазивају несрећне случајеве (смрт, повреде, акутна обољења), хаварије и катастрофе, а кумулативни професионална обољења, замор, старење материјала и постепену деградацију животне средине (Савић, Вујовић, Станковић, 2003).

Присуство и перманентно генерисање ризика различите природе и карактера у радној и животној средини (који могу довести до угрожавања безбедности људи, природних и материјалних добара) указује на потребу планског, свеобухватног, правовременог, дугорочног и циљаног управљања ризицима у радној и животној средини. Предузимање мера за смањење или елиминисање узрока настанка ризичних догађаја и минимизирање последица које они проузрокују представља *управљање ризиком*. Дакле, управљање ризицима представља примену различитих мера и активности како би се ризици у радној и животној средини држали под контролом, спречили, отклонили или пак минимизирали. Реч је о процесу који подразумева више различитих група активности, као што су анализа и процена ризика, доношење одлуке о начину и систему управљања, послови планирања и организовања, контрола и анализа стања.

Анализа и процена ризика је комплексна процедура која на посредан начин описује сву тежину проблема угрожене животне средине и настале последице. Међутим, ризици нису увек лако уочљиви и очигледни, па је њихово препознавање (идентификација) почетни корак у процени ризика. *Идентификација ризика* обухвата процес утврђивања и класификације свих ризичних догађаја у посматраном систему. Идентификовање ризика врши се са циљем формирања листе извора и фактора ризика, као и

догађаја који могу утицати на остваривање циљева дефинисаних у контексту управљања ризиком. Ови догађаји могу да онемогуће, умање, увећају или одложе остваривање дефинисаних циљева. Како се идентификовани догађаји могу реализовати на различите начине, то је неопходно формирати сценарије развоја ових догађаја.

У процесу управљања ризицима у радној и животној средини *процена ризика* представља основу за одлучивање, планирање могућих, очекиваних и непредвидивих догађаја, организовање, поступање и предузимање одговарајућих мера. За све ризике које треба редуковати морају се предузети безбедносне мере, урадити неопходна документација за све процедуре у таквим случајевима и извршити припрема за смањење штете у радној и животној средини. Од посебног је значаја израда планова за све непредвиђене ситуације, увежбавање радњи и поступака са тачно дефинисаним и одређеним појединачним одговорностима, као и мониторинг, тј. редовно праћење и контрола стања.

Основни показатељи који се користе у процени ризика јесу вероватноћа ризичног догађаја и процена могућих последица по безбедност, здравље људи и животну средину.

Утврђивање вероватноће врши се једним од следећих приступа: историјским, аналитичким и комбинованим. Историјски приступ користи се статистичким подацима о регистрованим догађајима (са сличним условима) код нас и у свету. На масовне појаве примењује се закон великих бројева: при великом броју сличних појава њихов средњи резултат престаје да буде случајан, па се може предвидети са великом поузданошћу. Аналитички приступ примењује се у случају да се не ради о масовним појавама, а заснива се на идентификацији опасности. За мање системе вероватноћа настанка акцидента може се изразити нумерички. За веће системе, због великог броја интеракција и могућности грешке у примени модела, вероватноћа се изражава описно као мала, средња или велика. Комбиновани приступ комбинација је историјског и аналитичког.

Да би се процена вероватноће ризика адекватно искористила, веома је важно да степен њене неодређености, који зависи од квалитета коришћених база података, модела и метода анализе, буде познат. Неодређеност података произилази и из чињенице да се недовољан обим реалних података допуњава оценама или мишљењима експерата. Утицај неодређености може се смањити уколико се користи релативно оцењивање вероватноће ризика, јер на тај начин рангирање различитих алтернатива даје бољи увид у процену вероватноће него апсолутна оцена. Ако се при оцењивању различитих алтернатива користи иста методологија, резултујуће процене вероватноће ризика биће подложне истом степену неодређености.

Као што смо већ истакли, појам „ризик“ обједињује два појма: „вероватноћу опасности“ и „последицу, тј. штету“. Дакле, ризик је квантитативна мера опасности, уз сагледавање њених последица. Последице испољавања опасности увек наносе штете, које могу бити економске, социјалне, еколошке итд. Према томе, процена ризика треба да буде везана за процену штете. Што је већа очекивана штета, то је значајнији и ризик. Осим тога, ризик ће бити већи уколико је већа вероватноћа појављивања одговарајуће опасности.

Истраживачка опсервација анализираних литературе указује на потребу и значај процене ризика у радној и животној средини са циљем идентификације и квантификације опасности и штетности и изучавања различитих система са аспекта ефективности, ефикасности, безбедности и др. Због тога аутори са различитих становишта приступају истраживању и промишљању ове проблематике.

Успешно решавање проблема остваривања безбедних услова рада и живота и управљање ризицима и опасностима у радној и животној средини могуће је уколико се познају феномени којима се управља и методе управљања. С обзиром да је процена ризика основ за управљање ризиком, неопходно је познавање метода које се у ову сврху могу користити.

Методe за процену ризика, с обзиром на податке које користе, могу бити квалитативне, квантитативне и комбиноване. Деле се на методе за процену вероватноће и методе за процену последица. Методе за процену вероватноће имају за циљ да идентификују и квантификују подручја где потенцијално може доћи до ризика, а методе за процену последица имају за циљ процену негативних последица, њихових потенцијалних ефеката, као и опис могућих мера заштите за елиминацију тих ефеката (Стојиљковић, 2007).

Квалитативне методе користе квалитативне податке, па је и резултат оцене квалитативна величина. Оне, такође, процењују примену и поштовање критеријума које дефинишу стандарди, закони, прописи, норме за системе који се истражују.

Квантитативне методе користе квантитативне податке. Оне подразумевају познавање вероватноће нежељеног догађаја, до које се долази на основу релевантних историјских података, примене аналитичких техника или експертних оцена. Такође, подразумевају и познавање квантитативних вредности очекиваних последица реализације овог догађаја. На основу ових вредности одређује се квантитативна мера ризика, најчешће као производ вредности наведених величина.

Комбиноване методе (полуквалитативне) заснивају се на судовима експерата. С обзиром да често није могуће оценити вероватноћу (поготову ако се ради о ретким догађајима), а ни величину последица (које могу бити

различите за различите услове), ове величине процењују се и рангирају од стране експерата. Скале вероватноће и последица основ су за процену мере ризика, која се најчешће одређује као производ/збир мера вероватноће и потенцијалних ефеката.

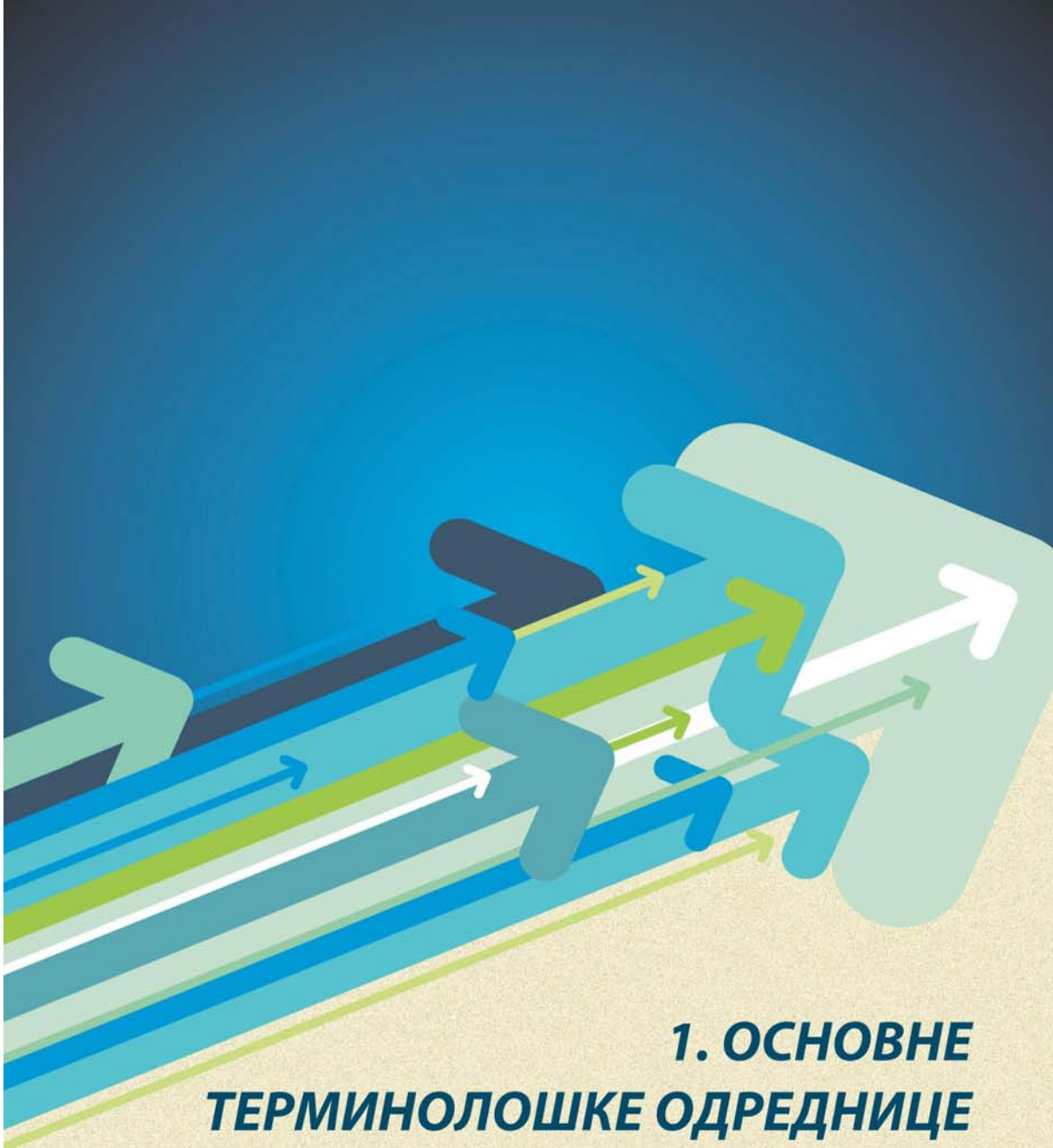
Према стандарду *ISO 31010:2009*, а с обзиром на кораке у процесу процене ризика, методе се могу класификовати на методе за идентификацију ризика, методе за анализу ризика и методе за процену ризика. Избор методе за процену ризика зависи од могућности саме методе, комплексности процеса, степена организације и количине искустава у вези са тим процесом, степена неодређености проблема, тј. квалитета расположивих информација, ресурса који су неопходни за спровођење анализе и процене ризика, дубине анализе и сл.

Према анализи доступне литературе из области процене ризика, с обзиром на аспект примене, методе за процену ризика могу бити: *методе за процену ризика техничких система* (анализа енергије, анализа опасности и операбилности, анализа стабла отказа...), *методе за процену људске поузданости* (метода апсолутне вероватноће процене, метода индекса вероватноће успеха, метода за предвиђање нивоа људске грешке...), *методе за анализу акцидента* (анализа функције безбедности, анализа одступања, анализа промена...) и *методе за процену ризика управљачке делатности (менаџмента)* (аудит, пропуст менаџмента и стабло ризика...). Међутим, с обзиром на аспект примене, поједине методе могу бити коришћене и у оквиру других метода за процену ризика (нпр. анализа опасности и операбилности може се користити како за идентификацију отказа у техничким системима, тако и за идентификацију људских грешака). Такође, треба нагласити да се у оквиру метода за процену ризика често користе и неки алати и процедуре претходне анализе опасности: чек-листе, „шта-ако“ анализа и сл. Међутим, за оцењивање еколошких својстава производа или процеса, материјалних, енергетских и ексергетских биланса, као и њихових могућих утицаја на животну средину, користе се следеће методе: анализа животног циклуса и ексергетска анализа животног циклуса, као *методе за анализу еколошких ризика*.

Према спроведеним истраживањима аутора, методолошки приступи процени ризика у радној и животној средини треба да су засновани на аналитичко-синтетичком моделу истраживања, примени дескриптивних метода, коришћењу хијерархијске анализе задатака, технике аквизиције, комбиновања знања експерата, тј. на синергетској примени претходно поменутих метода за процену ризика.

Оно што посебно фокусира истраживачку пажњу аутора ове публикације јесте могућност да се применом метода за процену ризика идентификују и процене безбедносни параметри у системима који ће бити

анализирани, како би се касније аргументовано предложиле мере за постизање адекватне безбедности тих система. Превенција, анализа, процена ризика и оперативно управљање ризицима, по ауторима, од изузетног су значаја за постизање одговарајућег квалитета функционисања комплексних система, тј. система радне и животне средине.



1. ОСНОВНЕ ТЕРМИНОЛОШКЕ ОДРЕДНИЦЕ У ВЕЗИ СА РИЗИКОМ

- 1.1. Појам, дефиниције и класификације ризика
- 1.2. Појам, дефиниције и класификације ванредних ситуација
- 1.3. Појам, дефиниције и класификације удеса
- 1.4. Појам, дефиниције и класификације несрећа

1. ОСНОВНЕ ТЕРМИНОЛОШКЕ ОДРЕДНИЦЕ У ВЕЗИ СА РИЗИКОМ

При проучавању различитих аспеката друштвеног развоја у XXI веку истраживачи су користили следеће термине: информатичко друштво, постиндустријски свет, технотрона цивилизација. Међутим, имајући у виду глобалну динамику с краја XX века, све је присутнија концепција друштва ризика. Немачки експерт У. Бек окарактерисао је ово време као прелаз из индустријског друштва у друштво ризика (Савић, Станковић, 2012).

Ризици су присутни у свим сферама друштвене делатности, привредној, финансијској, социјалној, образовној итд. Нови глобални проблеми постали су обезбеђење одрживог развоја и заштита од природних, технолошких и социјалних ризика. Кључни значај добиле су не саме технологије, већ њихова организација, усавршавање, хармонизација системских веза међу различитим социјалним структурама, анализа алтернативних варијанти на различитим нивоима и избор оптималних (Владимиров, 2000). Резултати који се очекују у процесу научног развоја, посебно теорије ризика, у непосредној су вези са прогнозирањем, превенцијом, смањивањем последица, једном речју, са контролом ризика и повећањем квалитета живота.

Ризик се може посматрати као историјска и економска категорија. Као историјска категорија, нераскидиво је везан за све етапе друштвеног развоја и односи се на човеково сазнање о могућој опасности. Као економска категорија, он представља могућност појаве догађаја који може имати или позитиван или негативан утицај или може бити без икаквог утицаја на очекивани резултат. Ризици који се разматрају као историјска категорија називају се *чисти ризици*. Ризици који се разматрају као економска категорија називају се *спекулативни ризици*.

Предузимање мера усмерених на елиминисање узрока настанка и/или минимизацију ефеката ризичних догађаја, као и мера за обезбеђење минималних губитака и за отклањање последица уколико дође до реализације ризичних догађаја чини основ управљања ризиком.

У циљу избегавања методолошких и језичких замки, које се очигледно јављају у области безбедности и ризика, у овом поглављу истраживачка интересовања аутора фокусирана су на одређивање и дефинисање основних појмова и термина који се користе у области заштите на раду,

заштите животне средине, заштите од пожара и управљања ванредним ситуацијама.

1.1 Појам, дефиниције и класификације ризика

У свакодневном животу за одређену акцију или очекивани исход често се користи израз „ризично“, а при томе се подразумева сумња у неповољан исход посматране ситуације.

Термин *ризик* у европским језицима појавио се крајем петнаестог века. Основне сфере његове примене биле су морепловство и морска трговина. Првобитно је означавао опасност која је лађама претила од хридина и стена, затим излагање опасности, смео подвиг, посао или улог скопчан са опасношћу да пропадне, одступање у послу чије је дејство умањило резултат тог посла, претрпљени губитак, односно штету. Увођење овог термина у науку захтевало је и његово прецизније одређење. Међутим, покушаји да се дâ јединствена дефиниција ризика која би била погодна у свим областима истраживања нису довели до циља. Због тога, у зависности од теоријских опредељења и истраживачких интересовања, аутори ризик дефинишу на различите начине.

Према неким дефиницијама у литератури, под ризиком се подразумева:

- мера вероватноће да ће се штетне последице по живот, здравље, својину и/или животну средину јавити као резултат неке одређене опасности (Sage, 1995);
- комплексна особина којом се једновременно описује вероватноћа настанка штетних догађаја и очекивана величина последице тих догађаја у заокруженом систему и током утврђене дужине временског интервала или током неке одређене мисије (Вукићевић, Видовић, 1995);
- могућност губитка или повреде, или излагање таквој могућности (Вујошевић, 1996);
- стање у коме постоји могућност штетног одступања у односу на жељени исход (Vauglan, 1997);
- могућност да се потенцијална опасност оствари приликом и у условима коришћења и/или излагања и могући значај штете (Луковић, 2000);
- мера вероватноће настанка техногених или природних појава које се карактеришу настанком, формирањем и дејством опасности, као и социјалним, економским, еколошким и другим врстама губитака и штета (Цхадај, Подосенова, 2008);
- ефекат неизвесности циљева (ISO Guide 73:2009).

У наведеним дефиницијама ризик, дакле, подразумева могућност настанка неког непријатног догађаја који има различите видове нежељених последица (нпр. физичка траума, губитак имовине, приход нижи од очекиваног, губитак ресурса). Термин „могућност“ претпоставља неизвесност исхода догађаја, те је постојање ризика непосредно везано за неизвесност. Извесност исхода не подразумева ризик.

Осим неизвесности ризик подразумева и могућност избора, односно постојање већег броја могућих решења (најмање две варијанте решења, утицаја, акција). Ако не постоји могућност избора, не може се говорити о ризику. Једно од могућих решења увек доводи до нежељених последица по људе (нпр. повреда, болест, стрес, смрт), по материјална добра (нпр. лом, судар, рушење) или природну средину (нпр. загађење, угроженост врста, деградација природних ресурса).

Како је већ истакнуто, литература обилује мноштвом различитих дефиниција и одређења појма „ризик“. Међутим, често се термин „ризик“ користи као синоним термина „опасност“, тј. присутна је тенденција замене ових термина. Термини *опасност* или *ризик* замењују се или чак поистовећују са термином *хазард*. Због тога је неопходно истаћи разлику међу њима.

Опасност јесте оно стање система у коме постоји могућност губитка контроле над материјалним, енергетским и/или информационим токовима у систему и праћена је појавом и развојем фактора опасности. Уколико је губитак система сигурна последица појаве, развоја и дистрибуције фактора опасности, не може се говорити о ризику.

Ризик постоји само уколико постоји изложеност људи/објеката/ процеса/природе деловању фактора опасности, а да притом губитак није неизбежан. Он се подразумева са одређеном вероватноћом, али исто тако постоји и одређен ниво вероватноће да до губитка неће доћи.

Стање система које формира или повећава вероватноћу губитка јесте *хазард*. Хазард је само она опасност која не може да се избегне. Хазард је инхерентно својство система, које не подлеже контроли, за разлику од опасности и ризика, којима се може управљати.

Присутна тенденција поистовећивања термина *ризични догађај* и *хазардни догађај* последица је утицаја хазарда система на вероватноћу ризичног догађаја. Међутим, ову тенденцију не треба прихватити, с обзиром на чињеницу да се ризиком може управљати, односно да се вероватноћа појаве ризичног догађаја адекватним управљањем може смањити и у истим условима хазарда система. Чињеница да у стање отказа систем може да пређе директно из стања опасности, али и из равнотежног стања под утицајем поремећаја високог интензитета, сведочи о томе да је скуп догађаја који изазивају отказ система већи од скупа ризичних догађаја. Дру-

гим речима, скуп ризичних догађаја подскуп је скупа догађаја који доводе до губитка, односно до отказа система (Савић, Станковић, 2012).

Постоје различите врсте ризика и оне се међусобно разликују по месту и времену настанка, броју унутрашњих и спољашњих фактора који утичу на ниво ризика, по карактеру последица, затим по начину описивања, методима анализе и управљања итд. У литератури је присутан велики број класификација ризика (Стојиљковић, 2007; Савић, Станковић, 2012).

Према чиниоцима који изазивају ризик постоје:

- биолошки ризици, узроковани живим организмима (бактеријама, вирусима), који могу штетно утицати на жељени квалитет система (нпр. на запослене или на производе за исхрану);
- хемијски ризици, изазвани хемијским чиниоцима, који природно постоје у систему или су настали током експлоатације (нпр. опасне материје);
- физички ризици, узроковани физичким компонентама (бука, вибрације, јонизујуће и нејонизујуће зрачење, неодговарајућа опрема) које могу изазвати болест, повреду или удес.

Према степену идентификације ризици могу бити:

- специфични (парцијални) ризици, који се могу у потпуности идентификовати и чији је обим могуће утврдити;
- генерални (глобални) ризици, који се не могу у потпуности идентификовати и чији обим није могуће тачно утврдити.

Према динамици развоја постоје:

- удесни ризици, који имају велику брзину развоја, и ако се не предузму адекватне мере, они прогресивно постају све гори;
- кумулативни ризици, који се споро развијају и током којих се деградационе појаве акумулирају.

Према начину доношења одлука за преузимање ризика постоје:

- добровољно преузети ризици, обазриво и промишљено преузети ризици на одређеном индивидуалном нивоу и резултат су свесне одлуке;
- наметнути ризици, који се налазе изван контроле појединца и нису резултат његове одлуке.

Према могућностима управљања ризици могу бити:

- управљиви ризици, ризици којима је могуће управљати;
- неуправљиви ризици, ризици којима је немогуће задовољавајуће управљати.

Према нивоу управљања ризици могу бити:

- ризици планирања, они који се јављају у фази планирања управљања;
- оперативни ризици, они који прате фазу оперативног управљања.

Према објекту ризика постоје:

- индивидуални ризици, у којима је човек објекат ризика;
- социјални ризици, који се односе на социјалне групе;
- технички ризици, који се испољавају у техничким системима и објектима;
- еколошки ризици, чијом се материјализацијом нарушава еколошка равнотежа;
- економски ризици, у којима се материјални ресурси јављају као објекат ризика, а који се непосредно испољавају као финансијски губитак.

Према карактеру губитка постоје:

- финансијски ризици, који се непосредно испољавају као финансијски губитак;
- нефинансијски ризици, који се непосредно испољавају као друга врста губитака.

Према реакцији на промене ризици могу бити:

- динамички, ризици који су резултат прилагођавања променама (у економији, технологији, захтевима потрошача);
- статички, ризици који не представљају одговор на промене (нпр. природни ризици).

Према пореклу и обиму последица постоје:

- фундаментални ризици, изазвани условима изван контроле појединца, који истовремено угрожавају велики број људи (незапосленост, рат, инфлација, земљотреси, поплаве);
- посебни ризици, који обухватају појединачне губитке.

Са аспекта осигурања постоје:

- осигурљиви ризици, они који се могу квантификовати и за које се може утврдити могућност покрића; у ову групу ризика спадају: имовински ризици, ризици одговорности и део личних ризика који се односе на смањење или губитак финансијске сигурности као последица смрти, старости или болести;
- неосигурљиви ризици, они за које не постоји реалан основ за утврђивање премије осигурања, а то су: тржишни ризици, политички ризици, производни ризици и део личних ризика који се односе на губитке прихода због незапослености, развода брака и сл.

У савременој научној литератури присутни су различити типови ризика који се карактеришу одређеним специфичностима. Према Рао Кулеру могу се издвојити следећи типови ризика (према: Рахметова, 2008):

- ризик који се односи на угрожавање безбедности (*Safety Risks*),
- ризик који се односи на угрожавање здравља (*Health Risks*),
- ризик који се односи на угрожавање животне средине (*Environmental Risks*),
- ризик који се односи на угрожавање друштвеног благостања (*Public Welfare/Goodwill Risks*).

У теорији и пракси присутне су и друге класификације ризика. На макронивоу може се говорити о привредном ризику државе, који садржи могућност промене садашњих и будућих економских, социјално-политичких и фискално-монетарних услова у мери у којој могу да утичу на способност државе да одговори преузетим обавезама. На мезонивоу појављују се ризици који имају грански карактер – индустријски ризик, аграрни ризик, ризик услужних делатности. На микронивоу говори се о ризицима повезаним са привредном делатношћу конкретне организације.

1.2 Појам, дефиниције и класификације ванредних ситуација

Када је у питању терминолошко и појмовно одређење ванредних ситуација, анализа релевантне литературе указује на присуство следећих синтагми: „ванредна ситуација“, „ванредно стање“, „катастрофа“ и др. Заједнички именитељ њиховог одређења и дефинисања јесте специфичност, екстремност, посебност услова, огромне негативне последице и хитност, ургентност деловања и реаговања (Николић, Живковић, 2010).

У многим земљама (Хрватска, Немачка и др.) појам *ванредна ситуација* изједначен је са појмом *катастрофа*, под којом се подразумева изненадан и прогресиван догађај чији је учинак по људе и материјалне вредности толико разарајући да хитне службе и погођена заједница због недостатка снага и средстава нису у могућности на њега ваљано одговорити, те су присиљени реаговати увођењем ванредних мера и затражити помоћ суседне и шире заједнице (Тотх, 2007).

Када друштво редовним активностима (превентивним, оперативним, санационим) не може да спречи и отклони последице изазване опасностима, оне добијају карактер ванредних ситуација. Значи, ванредна ситуација настаје онда када су ресурси за заштиту објеката ризика (људи, социјалне групе, материјални ресурси, технички системи и објекти, еколошки системи) недовољни, чиме они постају посебно повредиви.

С обзиром на различитост опасности које могу у одређеним околностима да прерасту у ванредне ситуације са различитим последицама,

тешко је дати јединствено одређење и свеобухватну дефиницију ванредне ситуације. Због тога се, углавном из практичних разлога, дефинисање ванредних ситуација врши према датим и конкретним потребама.

Ванредна ситуација је:

- Нарушавање нормалног живота и рада људи у објекту или на одређеној територији изазвано хаваријом, елементарним или еколошким удесима, епидемијама и сл, а које доводи или може да доведе до људских или материјалних губитака (Архипова, Куљба, 1998).
- Ситуација у којој као резултат појаве узрочника ванредне ситуације на објекту, на одређеној територији или акваторији долази до нарушавања нормалних услова за живот и рад људи, угрожава се њихов живот и здравље, наноси се штета имовини становништва, националној привреди и околној природној средини (ГОСТ-22.0.02-94, 2000).
- Скуп ванредних услова и фактора који су се створили у одговарајућој зони као резултат ванредног догађаја; ванредни догађај је догађај технолошког, антропогеног или природног порекла, који се карактерише одступањем од нормалног одвијања појава или процеса, а који има знатан негативан утицај на животну активност човека, функционисање привреде, социјалну сферу и природну средину, нпр. хаварија, транспортни удес, елементарна несрећа, деградација животне средине (Мастрюков, 2004).
- Ситуација која подразумева ризике са могућим значајним последицама, кумулативне и удесне, антропогене, техничке и природне, односно, она је посебан вид ризика (Станковић, Савић, Рашић, 2006).
- Свака непланирана ситуација која може да изазове смрт или значајне повреде запослених, корисника или шире популације, да затвори посао или прекине операцију, да битно оштети материјална и природна добра или да запрети финансијском стању или угледу предузећа (FEMA, 2007).
- Стање када су ризици и претње или последице катастрофа, ванредних догађаја и других опасности по становништво, животну средину и материјална добра таквог обима и интензитета да њихов настанак или последице није могуће спречити или отклонити редовним деловањем надлежних органа и служби, због чега је за њихово ублажавање и отклањање неопходно употребити посебне мере, снаге и средства, уз појачан режим рада (Закон о ванредним ситуацијама, 2011).

Свака ванредна ситуација има само себи својствене узроке настанка, јединствени сценарио развоја, утицај на човека и његову животну средину,

размере и тежину последица. Из тога произилази да се ванредне ситуације могу класификовати на основу бројних критеријума, а најчешћи су следећи: *узроци настанка* ванредне ситуације, *брзина развоја* ванредне ситуације и *размере распрострањености последица* ванредне ситуације.

Највећу практичну вредност има класификација ванредних ситуација према узроку настанка. По том основу постоје три групе ванредних ситуација: ванредне ситуације технолошког карактера, ванредне ситуације природног карактера и ванредне ситуације антропогеног карактера (Савић, Станковић, 2012).

Ванредне ситуације технолошког карактера јављају се као непосредне последице делатности човека. То су: транспортне хаварије (катастрофе); пожари, експлозије; хаварије са избацивањем (опасношћу од избацивања) јаких отровних материја; хаварије са избацивањем (опасношћу од избацивања) радиоактивних материја; хаварије са избацивањем (опасношћу од избацивања) биолошки опасних материја; изненадно рушење зграда; хаварије на електро-енергетским системима; хаварије на комуналним системима снабдевања; хаварије на постројењима за пречишћавање; хидродинамичке хаварије.

Као резултат бројних догађаја у природи јављају се различите врсте опасних појава и процеса који могу изазвати људске жртве, значајне материјалне штете и друге тешке последице. Карактеришу их непредвидљивост, неодређеност времена настајања и нејасне последице.

Ванредне ситуације природног карактера су: геофизичке појаве (земљотреси, ерупције вулкана); геолошке појаве (клизишта, бујице, одрони, лавине, спирање падина, абразија, ерозија); метеоролошке и агрометеоролошке појаве (буре, урагани, олујни ветрови, јака киша, велики снегови, велика врућина, суша); морске хидролошке појаве (тропски циклони (тајфуни), цунами, јако таласање, јаки потисак у лукама, притисак леда); хидролошке појаве (поплаве, кишне бујице, нижи нивои вода, рано замрзавање и појава леда на пловним рекама и резервоарима, повећање нивоа подземних вода); природни пожари (шумски пожари, тресетни пожари, подземни пожари сагорљивих ископина); инфективне болести људи (групни случајеви опасних инфективних болести, епидемија, пандемија, инфективне болести неразјашњене етиологије); инфективне болести домаћих животиња (појединачни случајеви егзотичних и изузетно опасних инфективних болести, ензотија, епизотија, панзотија, инфективне болести домаћих животиња неиспољене етиологије); уништавање пољопривредних биљака болестима и штеточинама (прогресивна епифитотија, панфитотија, болести пољопривредних биљака неиспољене етиологије, масовно ширење бильних штеточина) (Мастрюков, 2004).

Увидом у литературу намеће се закључак да научници нису дошли до неке јединствене класификације типова екосистема, али је евидентно да имају јединствену основу за такву класификацију. Специфичност еколошких проблема савременог света огледа се у перманентном присуству негативног антропогеног утицаја. Полазећи од тога, аутори који се баве проблематиком ванредних ситуација усвојили су, првенствено из практичних разлога, и класификацију ванредних ситуација еколошког, тј. антропогеног карактера.

Ванредне ситуације антропогеног карактера су: ванредне ситуације повезане са променом стања копна (катастрофална улагања, клижења, одроњавања земљине површине због покретања унутрашњости земље при копању руда и других делатности човека, исцрпљивање необновљивих природних ресурса, препуњивање депонија, загађење); ванредне ситуације повезане са променом састава и својстава атмосфере (промена времена или климе као резултат антропогене делатности, температурне инверзије изнад градова, загађење атмосфере, уништавање озонског слоја, знатна промена прозирности атмосфере); ванредне ситуације повезане са променом стања хидросфере (недостатак воде за пиће због исцрпљивања вода или загађења, недостатак водених ресурса неопходних за организовање свакодневног привредног водоснабдевања и обезбеђење технолошких процеса, нарушавање привредне делатности и еколошке равнотеже због загађења зона унутрашњих мора и светског океана); ванредне ситуације повезане са променом стања биосфере (ишчезавање врста, уништење биљака на широј територији, промене способности биосфере за репродукцију обновљивих ресурса, масовно уништење животиња); социјално-политички конфликти (ратови, терористички напади, међународни, међунационални и верски спорови).

Према брзини развоја ванредне ситуације могу се поделити на: екстремно брзе ванредне ситуације (земљотреси, транспортне хаварије); брзе ванредне ситуације (пожари, хаварије са ослобађањем опасних хемијских супстанци, коришћење хемијског оружја); умерено брзе ванредне ситуације (поплаве, хаварије са испуштањем радиоактивних материја); споре ванредне ситуације (суше, загађивање земљишта и воде штетним супстанцама).

Према обиму распрострањености, узимајући у обзир и тежину последица, ванредне ситуације могу бити (Николић, Живковић, 2010):

- локалне, имају последице које не излазе из оквира радног места, радне јединице или стана (зграде);
- општинске (месне, градске), чије последице не излазе из оквира општине (места, града);

- регионалне, чије су последице ограничене територијом краја, неколико области или аутономије, али не излазе из оквира државе (санирање последица остварује се државним снагама, мада је могућа и инострана помоћ);
- државне (националне), чије су последице ограничене територијом савезне републике или државе;
- глобалне, чије последице излазе изван територије државе и распростиру се на друге државе (последице се санирају како снагама државе, тако и уз помоћ међународне сарадње).

Ванредни догађаји који се односе на постројење или објекат а имају последице које су ограничене границама комплекса на коме је лоцирано постројење или објекат и могу се отклонити сопственим снагама у стручној пракси називају се *инциденти* (Живковић, 2007).

Но, без обзира на врсту и карактер, све ванредне ситуације у свом развоју имају четири карактеристична стадијума. То су: настајање, иницијација, кулминација и смиривање (Мастрюков, 2004).

У стадијуму *настајања* стварају се предуслови будуће ванредне ситуације: активирају се неповољни природни процеси, гомилају се технолошки пропусти и пројектно-производни дефекти, долази до преоптерећења опреме и запослених, јављају се екстремни физички услови производног процеса (високе и ниске температуре, висок притисак, хидраулични удари...), повећава се капацитет ускладиштеног материјала (запаљивих, сагоривих, корозивних, високореактивних, прашкастих материјала), акумулирају се негативни антропогени утицаји на животну средину.

У стадијуму *иницијације* појављују се технолошке неправилности у вези са променом параметара процеса (притисак, температура, концентрација, брзина реакције, утросак супстанци), неповољни или екстремни временски услови, елементарне несреће, диверзије.

Стадијум *кулминације* праћен је ослобађањем велике количине масе и енергије. Притом је чест случај да незнатни иницијални догађај покрене механизам ланчаних догађаја са многоструким увећањем почетне снаге и размера догађаја. У овом стадијуму врло је битно предвидети сценарио развоја ванредне ситуације, са циљем предузимања конкретних мера заштите ради избегавања људских жртава или бар смањења њиховог броја, као и смањења материјалне штете и штете нанете природној средини.

Стадијум *смиривања* ванредне ситуације почиње од момента одстрањивања извора опасности и траје до потпуне елиминације последица ванредног догађаја. Трајање овог стадијума зависи од врсте, интензитета и размера последица ванредног догађаја и може се мерити чак и деценијама (нпр. Чернобилска катастрофа).

Поред карактеристичних развојних стадијума ванредне ситуације имају исте или сличне факторе негативног утицаја на безбедност, здравље човека, радну и животну средину уопште. Према Ковалеву и његовим сарадницима реч је о следећим негативним утицајима (Ковалев, Иванов, Пахамов, Иванова, 1979):

- баричко деловање ударног таласа (при експлозији смеше гаса и ваздуха, експлозивних материјала, термичких постројења и сл.);
- топлотни утицај (при пожарима зграда и објеката, шумских пожара, нелокализованих пожара и сл.);
- токсични утицај (хемијског оружја, изливања опасних супстанци);
- радиоактивни утицај (при нуклеарним или радијационим хаваријама);
- механички утицај (приликом рушења зграда, објеката и сл.).

Ванредна ситуација, као неочекивана ситуација, ставља појединце, снаге и субјекте друштва у сложене услове деловања. Стање на терену додатно компликују различити манифестни облици психолошког, социјалног, економског карактера. У овим чињеницама можемо тражити и налазити разлоге због којих је човек схватио потребу, а у савременим условима и обавезу удруживања и организовања ради одговарајућег одговора на ванредну ситуацију, тј. ради ефикасног функционисања система за управљање ванредним ситуацијама. Организација овог система разликује се од земље до земље, а условљена је врстама и специфичностима угрожавања државне територије, климатским приликама, природним појавама, карактеристикама тла и др., али и економским развојем, правним системом, управном традицијом, политичко-територијалном организацијом, друштвеним убеђењима и другим објективним и субјективним потребама и могућностима (Николић, Живковић, 2010).

Без обзира на узрок настанка ванредне ситуације, управљање ванредним ситуацијама захтева мултидисциплинаран, мултифункционалан и проактиван приступ, што условљава међусекторску и интер и мулти-институцијалну сарадњу и координацију рада у овој области. Ако се имају у виду основни стадијуми развоја ванредне ситуације, *управљање ванредним ситуацијама* може се дефинисати као организовани процес идентификације и мерења опасности које могу довести до ванредне ситуације, избора, развоја и примене опција за контролу и мониторинга ванредне ситуације.

Управљање ванредним ситуацијама данас наглашава превенцију, односно заштиту друштвене популације и имовине од деструктивних сила природних, технолошких и антропогених катастрофа, кроз свеобухватни програм смањивања ризика, приправности, одговора и опоравка (Waugh, 2000).

Типичан процес управљања ванредним ситуацијама укључује следеће фазе: планирање (*Planning*), смањивање, минимизацију ризика (*Mitigation*), припрему – планирање одговора на ванредну ситуацију (*Preparedness*) и опоравак система (*Recovery*) (Nikolic, Savic, & Stankovic, 2007). Дакле, основни циљ управљања ванредним ситуацијама јесте планирање, контрола и редукција ванредне ситуације.

1.3 Појам, дефиниције и класификације удеса

Постоји много различитих дефиниција *удеса*, у зависности од приступа, правних синонима и дефиниција које су усвојиле одређене међународне организације. Неке од њих су:

- Удес је неконтролисани догађај настао приликом процеса производње, транспорта или складиштења, у којем је дошло до ослобађања одређених количина хемијски опасних материја у ваздух, воду или земљиште, и то на различитом територијалном нивоу, што за последицу може имати угрожавање живота и здравља људи, материјалних добара и последице по животну средину (Филиповић, 2000).
- Удес је изненадан догађај који изазива штету или повреду (Harms-Ringdahl, 2001).
- Удес је ненамерни и неочекивани догађај до којег долази изненада и који проузрокује штету за људе, имовину или околину (Sinay & Račaiova, 2003).
- Удес је изненадни и неконтролисани догађај или низ догађаја, који настаје неконтролисаним ослобађањем, изливањем или расипањем опасних материја при производњи, промету, употреби, превозу, преради, складиштењу, одлагању или дуготрајном неадекватном чувању. Овај израз не обухвата: војна постројења; нуклеарне удесе; генерички модификоване организме; транспорт опасних материја цевоводима, укључујући и пумпне станице; удесе при истраживању и експлоатацији минералних сировина; оштећења брана; са изузетком последица индустријских удеса проузрокованих таквим оштећењем (Закон о заштити животне средине, 2009).

Често се као дефиниција удеса користи дефиниција која се односи на *главни удес (Major Accident)*: емисија великих размера, пожар или експлозија, који су резултат неконтролисаног развоја догађаја у неком систему, а који за последицу има озбиљну опасност за људско здравље и/или околину, одмах или са одложеним дејством, унутар или изван граница посматраног система, и који укључује једну или више опасних супстанци (Council Directive 96/82/EC, 1996).

Карактеристике удеса:

- непредвидиви су, с обзиром на време, врсту и локацију (када се ради о транспорту),
- специфични су, с обзиром на могућност настанка и обим последица,
- у многим случајевима после престанка емитовања опасних материја санирање последица је веома тешко и представља дуготрајан процес,
- по месту настанка везани су за фиксне инсталације и за транспорт,
- спречавање настајања удеса захтева комплексне мере превенције и реаговање према припремљеним плановима поступања у циљу смањења негативних последица.

Организација за економску сарадњу и развој (*The Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD*) највеће удесе класификује као (према: Станковић, Станојевић, Берберовић, 1996):

- технолошке катастрофе са 25 или више мртвих,
- велике удесе са 5 или више мртвих,
- значајне удесе са 3 или више мртвих.

При анализи удеса, класификацији и оцени нивоа удеса, у разматрање се могу узети и следећи показатељи:

- број погинулих непосредно при удесу,
- број умрлих у периоду након повређивања и обољевања,
- број повређених (на нивоу индивидуалности),
- укупан број повређених,
- карактер морално-психичких траума,
- нарушавање сложених услова живота насеља,
- карактер штете нанете животној средини,
- финансијски губици.

Производња и потрошња опасних материја у сталном је порасту. Код нас постоји велики број постројења код којих се у оквиру редовне делатности производе и примењују опасне материје, врши транспорт, њихово складиштење и чување, па тако постоји стална потенцијална опасност од њиховог неконтролисаног доспевања у животну средину. Локацијски, опасне материје углавном су везане за веће градове, индустријске центре и значајније саобраћајнице.

Удеси везани за фиксне инсталације обухватају експлозије материја у процесу производње и складиштења, пожаре опасних материја и испуштање токсичних материја у животну средину.

Удеси у транспорту везани су за ваздушни, друмски, железнички и водени саобраћај, с тим што су процентуално најзаступљенији удеси у друмском саобраћају.

Ризик од настанка удеса са опасним материјама постоји током целог процеса производње, транспорта и складиштења опасних материја. На основу овога произилази да *места настанка удеса* могу бити:

- производна и технолошка постројења у којима опасне материје учествују у процесу производње,
- складишта, магацини и објекти у којима се депонују или чувају опасне материје и
- средства и комуникације којима се превозе опасне материје.

Према подацима Међународне организације рада до 1990. године у свету је забележено око 1000 већих хемијских удеса, процентуално око 40% од укупног броја удеса догоди се у производним погонима, око 35% при транспорту, а око 25% се односи на удесе приликом складиштења.

Према подацима којима располаже Министарство заштите животне средине Републике Србије, у нашој земљи је пре увођења санкција 1992. године годишње регистровано 20–25 хемијских удеса мањег обима, који у највећем броју случајева нису прелазили оквире индустријског комплекса. Основни узрок ових удеса везан је за људске грешке (62%), а мањи део за застарелу технологију (20% случајева) (Марковић, Цармати, Гржетић, Веселиновић, 1996). Број хемијских удеса код нас је испод просека који се региструје у индустријски развијеним земљама Европе и Северне Америке. Према подацима *OECD*-а у свету се сваки дан догоди 30–35 хемијских удеса мањег или већег обима, у којима има људских жртава и угрожавања животне средине.

Удес има две *фазе настајања* (Богдановић, 1999):

- прва фаза је латентна и тада нема његових видљивих и мерљивих манифестација. Због нерационалности при пројектовању, изградњи и коришћењу објекта може доћи до непредвидивог отказа и ослобађања опасних материја у околни простор;
- друга фаза је манифестна и тада долази до видљивих и мерљивих ефеката. У овој фази удес може имати пет нивоа: први ниво је ниво опасних инсталација, други ниво је ниво индустријског комплекса, трећи ниво је шира површина од индустријског комплекса, четврти ниво је регионални, а пети је међународни ниво.

Пратеће појаве при настанку удеса могу се поделити на следеће категорије:

- испуштање опасних полутаната у ваздух, воду или земљиште – токсични гасови, запаљиве или експлозивне супстанце,

- експлозије материја – којима се избацују у атмосферу велике количине токсичних, запаљивих и експлозивних материја,
- пожари – који имају за последицу стварање облака опасних и безопасних гасова, честица и других производа сагоревања.

У односу на трајање и ток удеса могу се дефинисати одређене фазе, што може бити од значаја приликом одговора на удес и дефинисања активности које треба предузимати у циљу отклањања негативних последица удеса. То су:

- прва фаза, време пре настанка удеса, у којој је потребно предузети све превентивне мере да би се спречио удес;
- друга фаза, време трајања удеса, у којој је потребно обезбедити спасавање живота и предузети мере заштите најугроженијих;
- трећа фаза, време непосредно након удеса, када се пружа прва помоћ и медицинска у оквиру здравствене службе и обезбеђује опстанак у неповољним условима;
- четврта фаза, време после удеса, када се предузимају мере санације и отклањање последица удеса.

На величину опасности, односно зоне угрожености приликом удеса, утиче неколико битних фактора: количина опасне материје, место и начин појаве, техничко-технолошке грешке, судари, метеоролошки услови, близина насеља, елементарне непогоде и сл. На основу анализе и оцене ризика, могуће је за сваки конкретан случај одредити *зоне угрожености* након настанка удеса. Главне зоне су следеће:

- прва зона је зона у којој је настао удес и у којој се пружање прве помоћи угроженом становништву своди на ефикасну примену заштитних средстава;
- друга зона се може дефинисати временском категоријом у интервалу 10–30 минута од момента настанка удеса и за које време долази до интензивног распрострањавања токсичних материја. Просторни обухват ове зоне зависи од обима удеса, врсте опасних материја и услова који владају на том простору (метеоролошки, топографски и др.). У овој зони је могуће спровођење одређених мера у циљу смањивања продора токсичних материја у просторије, уз истовремену евакуацију угроженог становништва;
- трећа зона је одређена територијом на којој ће се хемијске материје појавити након 30 минута, па све док се буде осећао њихов утицај. Ова зона представља дефинитивну зону угрожености територије. У њој се предузимају мере заштите становништва, евакуација и друге мере и поступци одређени плановима заштите.

Због могућих последица удеса треба предузети акције оспособљавања становништва за заштиту и спасавање. Такође, у заштити од удеса велику пажњу треба поклонити:

- оспособљавању система мониторинга, информисања и алармирања приликом удеса са опасним материјама,
- оспособљавању запослених и лица у непосредном контакту са опасном материјом,
- оспособљавању грађана за личну и узајамну заштиту,
- организовању, оспособљавању и опремању јединица за спасавање и заштиту људи и материјалних добара,
- усавршавању планова и других припрема за деловање,
- вршењу токсиколошког надзора преко одговарајућег система контроле итд.

Организованост, техничка опремљеност и брзина реаговања одређених служби, као и професионално и одговорно држање запослених од посебног су утицаја на смањење или чак спречавање последица удеса. Зато, да би се успешно заштитили људи, објекти и животна средина, морају се добро познавати све могућности које могу довести до удеса, као и могућа дејства и последице на човека, материјална добра и животну средину.

У Републици Србији, према *Правилнику о садржини политике превенције удеса и садржини и методологији израде извештаја о безбедности и плана заштите од удеса* („Сл. гласник РС“, бр. 41/2010) *управљање ризиком од удеса* одвија се применом мера за превенцију, мера приправности и одговора на удес.

Превенција је скуп мера и поступака који се предузимају на месту удеса (у предузећу), општини, односно граду и републици, а имају за циљ спречавање и смањивање вероватноће настанка удеса и могућих последица.

Приправност је стање које се постиже припремом свих надлежних субјеката, опреме и технике ради најадекватнијег одговора на удес уз најмање могуће последице, а обезбеђује се доношењем планова заштите.

Одговор на удес започиње оног тренутка када се добије прва информација о удесу која садржи податке: о месту и времену удеса, врсти опасних материја које су присутне, процени тока удеса, процени ризика по околину и друге значајне податке за одговор на удес.

Мере за отклањање последица удеса имају за циљ праћење пост-удесне ситуације, обнављање и санацију животне средине, елиминисање опасности од поновног настанка удеса. Санација обухвата израду плана санације и израду извештаја о удесу. План санације садржи: циљеве и обим санације, снаге и средства ангажовања на санацији, редослед њиховог коришћења и рокове, програм постудесног мониторинга животне средине

(биомониторинг), стање здравља људи и животиња, трошкове санација и начин обавештавања јавности о протеклом удесу. Извештај о удесу садржи: анализу узрока и последица удеса, развој и ток удеса и одговора на удес, процену величине удеса и анализу тренутног стања. Процена величине удеса врши се на основу степена ангажованих снага, величине штете (изражене у новчаним средствима) и обима последица.

1.4 Појам, дефиниције и класификације несрећа

Природа и учесталост несрећа имају важне импликације на безбедност, продуктивност и ефикасност људских активности и технолошких система. Из различитих разлога, практично је немогуће дизајнирати и обезбедити савршено безбедан социо-технолошки систем. Извештаји о несрећама представљају практичан начин оцењивања безбедности система под стварним оперативним условима и одређивања узрока несрећа.

Дефиниције „несреће“ засноване су на специфичним интересима професионалних група које се баве узроцима несрећа, превенцијом, третманом и редукцијом. Инжењери су заинтересовани углавном за технолошке отказе и њихово отклањање, бихевиористи углавном за узроке људске грешке и њихову превенцију или смањење, а лекари за врсте повреда и начине превенције или лечења повреда.

Шенон и Манинг (Shannon & Manning, 1980), на пример, дефинишу несрећу као неконтролисани пренос енергије који резултира повредом, док Фармер и Чемберс (Farmer & Chambers, 1926) тврде да са психолошке тачке гледишта несреће су само грешка у правилном деловању у датој ситуацији.

Међутим, дефинисање термина „несрећа“ заснива се на чињеници да већина делатности укључује једну или више особа, које користе опрему веће или мање сложености, као и средину (физичку или социјалну) унутар које се обавља рад. Сваки од ова три главна фактора могу бити појединачно узроци за нефункционисање радног система. Алтернативно, нефункционисање система може бити повезано са било којом интеракцијом између ових фактора. Овај приступ препознаје мултиузрочну природу несрећа, даје могућност за одређивање последица, а задржава флексибилност у дизајну и имплементацији противмера несрећама. Коришћењем овог приступа Браун (Brown, 1976) дефинише несрећу као „непланирани производ неадекватног понашања“. Бранећи ову дефиницију, он истиче следеће:

- Јасно се види разлика између претходног понашања и последица таквог понашања (што је у супротности са дефиницијом Фармерса и Чемберса (Farmer & Chambers, 1926), где је само производ погрешног понашања означен као „несрећа“).

- Несрећан исход је окарактерисан преко његове природе узрока, пре него преко непредвиђености. Многи несрећни исходи могу у основи бити предвидиви у смислу вероватноће, али је њима често додељена незнатна вероватноћа дешавања и потом игнорисана за практичне сврхе.
- Претходно понашање означено је као неадекватно зато што је лоше одговорено на тренутне захтеве задатка или околине. Понашање може бити намерно али, нажалост, неправилно, на пример, када возач аутомобила кочи у кривини по залеђеном коловозу. То може бити намерно али погрешно усмерено или погрешно упућено, на пример, када пилот покушава да слети на погрешну стазу. Алтернативно, то може бити ненамерно, на пример, када капетан трајекта запливи у море, несвестан да су врата његовог прамца и даље отворена.

Постоји велики број теорија о несрећама: Ледени брег, *SHEL* теорија, теорија проучавања безбедносних проблема, организациона теорија, теорија чисте шансе, теорија неједнаке почетне одговорности, теорија стреса, теорија будности, психоаналитичке теорије, епидемиолошко-ергономска теорија, теорија домина и др. (види: Стојиљковић, 2011). Међу поменутим теоријама највећу примену има теорија Ледени брег (Слика 1.1).



Слика 1.1. Узроци који доводе до несрећа према теорији Ледени брег

Према теорији Ледени брег несигуран рад кључна је компонента, која у комбинацији са другим неповољним околностима, тј. пропустима доводи до несрећа. Због тога анализа пропуста и несигурног рада може знатно да помогне у смањивању и спречавању несрећа. С друге стране, знатан утицај на безбедност технолошких система има и међусобни однос техничког и хуманог аспекта, као и њихов заједнички однос према организационим формама тих система (Гроздановић, 2003).

Анализом литературе, последице несреће (незгоде) могу да се манифестују у облику:

- повреда запослених,
- прекида процеса производње и
- оштећења материјалних и природних добара (квар, лом, хаварија).

Дакле, увидом у литературу намеће се закључак да због специфичности последица несрећа, аутори који се баве проблематиком безбедности и здравља на раду несрећу дефинишу као ризични догађај који за последицу има смрт, повреду и привремени или трајни губитак радне способности човека.

Повреда је телесна озледа на нивоу органа која произилази од акутне изложености енергији (механичкој, топлотној, електричној, хемијској или радијацији) у интеракцији са телом и у количини која превазилази праг физиолошке толеранције. Време између изложености и појављивања повреде треба да буде кратко (Krug, 1999).

Повреде се често класификују као ненамерне и намерне. Већина повреда у саобраћају, падови, случајеви дављења, тровања и сл. сматрају се ненамерним. Насупрот томе, убиства, самоубиства и повреде повезане са ратом сматрају се као намерне (Krug, 1999).

Међутим, дефиниције повреде на раду које се дају у правним и другим друштвеним прописима, као и у медицини рада, у основи полазе од потребе да се обезбеди обештећење човека који претрпи нарушавање здравља, како у радној средини, тако и изван радне средине (на путу од стана до радног места и обратно) и притом се често називају и несрећама на послу. Ево неких од тих дефиниција (Закон о пензијском и инвалидском осигурању, 2010):

- Повредом на раду сматра се повреда осигураника која се догоди у просторној, временској и узрочној повезаности са обављањем посла по основу кога је осигуран, проузрокована непосредним и кратко-трајним механичким, физичким или хемијским дејством, наглим променама положаја тела, изненадним оптерећењем тела или другим променама физиолошког стања организма.
- Повредом на раду сматра се и повреда проузрокована при обављању посла на који запослени није распоређен, али који обавља у интересу послодавца код кога је запослен.
- Повредом на раду сматра се и повреда проузрокована на редовном путу од стана до места рада или обрнуто, на путу предузетом ради извршења службених послова и на путу предузетом ради ступања на рад, као и у другим случајевима утврђеним законом.

- Повредом на раду сматра се и обољење осигураника које је настало непосредно или као искључива последица неког несрећног случаја или више силе за време обављања посла по основу кога је осигуран или у вези с њим.
- Повредом на раду сматра се и повреда коју осигураник претрпи у вези са коришћењем права на здравствену заштиту по основу повреде на раду и професионалне болести.

Док овако дате дефиниције појма повреда могу у потпуности да задовоље потребе органа социјалног осигурања, односно лекара, оне не могу да задовоље лица која се професионално, на научним основама, баве истраживањима безбедности и заштите. С обзиром на превентивну компоненту система безбедности и заштите, сама повреда је од секундарног значаја. Примарно је утврдити њене узроке у циљу предузимања превентивних акција. За успешно спречавање незгода није довољно проучавати само догађаје који су имали за последицу повреду већ и догађаје који представљају потенцијалну опасност (Анђелковић, 2009).



2. УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ ПРИСТУПИ И ОДРЕДНИЦЕ

- 2.1. Историјски преглед управљања ризиком
- 2.2. Управљање ризиком - термилошке одреднице
 - 2.3. Приступ управљања ризиком у САД
 - 2.4. Приступ управљања ризиком у Канади
 - 2.5. Приступ управљања ризиком у Великој Британији
 - 2.6. Приступ управљања ризиком у Аустралији
 - 2.7. Приступ управљања ризиком у Словачкој
 - 2.8. Приступ управљања ризиком у Србији
 - 2.9. Приступ управљања ризиком
према стандарду ISO 31000:2009
 - 2.10. Предности и ограничења
приступа за управљање ризиком

2. УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ – ПРИСТУПИ И ОДРЕДНИЦЕ

Карактеристике савременог доба нису само велике технолошке и геополитичке промене, како се често истиче, већ су то, пре свега, промене системских својстава света. Ове промене су, осим несумњивих позитивних ефеката, довеле и до појаве нових ризика. Због своје изузетне важности, како са становишта појединца, а посебно са становишта компанија и њихове сталне тенденције ка успешном пословању, ризик је постао озбиљан предмет проучавања деценијама уназад, да би у последњих неколико деценија био уоквирен у темељни концепт *управљања ризиком (Risk Management)* (Богичевић, 1998).

Систем управљања ризиком у основи је управљачки систем који дефинише компоненте и процесе управљања ризичним ситуацијама и успоставља контролу над њима. Он захтева подршку руководства и организациону структуру за промоцију система, документоване планове и начине њиховог спровођења, контролу поступака и докумената, обуку заинтересованих страна, превентивне и корективне мере и провере. Стога, системи управљања ризиком јесу системи управљања чији је циљ планирање, контрола и редукција ризика.

2.1 Историјски преглед управљања ризиком

Преглед развоја управљања ризиком побољшава разумевање промена и трендова у управљању ризиком, а све са циљем да се увиди значај и могућност доношења адекватних одлика. Управљање ризиком треба посматрати као интегрални део управљања пројектима. Табела 2.1. илуструје како се фокус у свеобухватном процесу управљања пројектима и ризиком мењао кроз декаде.

Управљање пројектима, а с тим у вези и управљање ризиком, започиње 1950. године. Важна прекретница која је означила почетак ове ере јесте развој техника мрежног планирања, као што су метод критичног пута (*Critical Path Method – CPM*) и метод оцене и ревизије програма (*Program Evaluation and Review Technique – PERT*). Током 50-их фокус управљања био је усмерен на планирање, разврставање и административно функционисање. Развој формалних техника планирања и контроле пројеката започиње у теоријама управљања 60-их година, а 70-их се представљају оне

које се односе на план организације и састављање тимова. У 80-им управљање ризиком већ је постала добро организована област и састојала се од идентификације ризика, процене, развоја одговора на ризик и контроле ризика. Примена квантификације ризика махом је била базирана на субјективним вероватноћама и расподелама субјективних вероватноћа.

Табела 2.1. Преглед развоја у управљању пројектима и ризиком
(модификовано према: Artto & Hawk, 1999)

Декада	Фокус у управљању пројектима	Фокус у управљању ризиком
1950.	Администрација, планирање, (подвођење под исту тему)	Мрежни модели
1960.	Распореди, системи пројектног менаџмента	Распореди (нпр. <i>PERT</i>), модели веза вероватноће
1970.	Организација, руковођење, тимови	Модели вероватноће, модели одлуке, субјективне вероватноће
1980.	Модели и компјутеризовани приступ, квалитет	Софтвер вероватноће, листе провере, листе реакција, дијаграми утицаја, примена тимског рада, уговорно управљање
1990.	Процеси, информационе и комуникационе технологије, умрежавање	Тимски рад, комуникација, организациона едукација, учење на грешкама, процеси управљања ризиком и организовање управљања ризиком
2000.	Модели сарадње, практична организација, креативност, едукација, пројектне компаније и пројектни бизнис	Основе знања управљања ризиком као знање организације, едукација, креативност, сарадња, планирање реакција, перспектива пројектне компаније

Примена квантификације ризика у индустрији углавном се односила на анализу времена и трошкова. У 80-им у индустрији се широко примењују дијаграми утицаја, листе ризика, анкете и методе дијаграмског приказа одговора на ризик. Током 90-их фокус у менаџменту ризика пребачен је на нове области – на сарадњу и умрежавање и управљање процесом пословања у облику пројеката. Брз развој информационих и комуникационих технологија отворио је многе нове могућности за примену менаџмента у радној и животној средини. Процес управљања ризиком и то како би требало бити организован у пројекту постало је кључна тачка за будући

рад. Током 90-их наилази се на све већи број студија управљања ризиком које извештавају о неуспеху пројекта или нежељеним резултатима пројекта. Знања стечена у неуспелим пројектима или из нежељених догађаја у самом пројекту коришћена су за учење или разумевање њихових исхода, као и разлога и реакција повезаних са њима (Artto & Hawk, 1999).

Тренутни правац у развоју управљања ризиком јесте унапређење учења и креативних начина за менаџмент ризика. Конкретни начин за унапређење учења у компанијама је састављање базе знања о управљању ризиком. Базе знања повезане са управљањем ризика нису ограничене само на описе ризика и не служе само као листа чинилаца већ могу понудити и важне податке, као што су предлози реаговања при планирању одговора на ризик. Овакве базе знања, према томе, могу се користити као организациони подсетници, јер су се током извршења пројекта у мултипројектним срединама (нпр. у пројектним компанијама) континуирано бележили подаци о искуствима са ризиком и потенцијалним одговорима на ризик. Такође, организационо и индивидуално учење од све већег су значаја у управљању ризиком. Што више компанија усвоји радне методе оријентисане на пројекте у производном и продајном делу пословања, то је већа потреба и развој пројектних компанија и пројектног бизниса (Гроздановић, Стојиљковић, Крстић, 2012).

2.2 Управљање ризиком – терминолошке одреднице

У литератури су присутне различите дефиниције управљања ризиком. Неке од њих су:

- Управљање ризиком је такав приступ управљања који је заснован на идентификацији и контроли оних области и догађаја који су потенцијални изазивачи нежељених промена у систему (Sage, 1995).
- Управљање ризиком је аспект управљања квалитетом који има подржавајућу улогу у остваривању захтеваног квалитета система. Основни циљ управљања квалитетом је таква имплементација стратешког плана управљања која обезбеђује захтевани квалитет система, док је циљ управљања ризиком задржавање квалитета система и у случају могућих реализација ризичних догађаја. Управљање ризиком треба да обезбеди континуалну егзистенцију система (Vauglah, 1997).
- Управљање ризиком је организовани процес идентификације и мерења ризика, избора, развоја и примене опција за третман ризика и мониторинга ризика (SEF, 2001).

Процес управљања ризиком укључује четири фазе (Стамболић, 2005):

- идентификацију ризика, тј. сазнање да одлуке и догађаји могу да доведу до појаве ризичних ситуација које могу изазвати штетне последице;
- анализу и процену ризика, тј. сакупљање и проучавање података у циљу предузимања одговарајућих мера;
- дефинисање противмера и развијање стратешког плана оперативних тактика за смањење ризика тако да обезбеде управљање и контролу ризика на прихватљив начин;
- контролу ризика и вођење документације, тј. надзирање догађаја или ситуација и предузетих противмера.

Процес управљања ризиком укључује и избор законских и других регулатива као одговора на ризик, као и разматрање законских и економских фактора и фактора понашања. Процес управљања ризиком јесте средство уз помоћ кога владе и друге организације за постављање стандарда траже да дефинишу рационалан ниво прихватљивог ризика за околину, узимајући у обзир могућности и ефекте који су штетни по здравље људи, изворе и средства контроле загађивања и очекиване трошкове и зараде од разних стратегија за спречавање ризика.

Процес управљања ризиком обухвата: утврђивање контекста управљања ризиком; идентификовање ризика; анализу ризика; вредновање ризика; третман ризика; надгледање (мониторинг) ризика; комуникацију и консултовање; документовање ризика (Савић, Станковић, 2012).

Ефективно управљање ризиком према *ISO 31000:2009* подразумева примену следећих принципа:

1. Управљање ризиком ствара вредност.
2. Управљање ризиком саставни је део организационих процеса.
3. Управљање ризиком је део доношења одлука.
4. Управљање ризиком експлицитно се бави неизвесностима.
5. Управљање ризиком је систематично, структурисано и благовремено.
6. Управљање ризиком заснива се на најбољим доступним информацијама.
7. Управљање ризиком је прилагођено организацији.
8. Управљање ризиком узима у обзир људски фактор.
9. Управљање ризиком је транспарентно и отворено за сугестије.
10. Управљање ризиком је динамично, итеративно и реагује на промене.
11. Управљање ризицима омогућава континуирано побољшање и унапређење организације.

Приступу управљања ризиком могу бити (Sage, 1995):

- приступ прихватања ризика, у коме се занемарује постојање било чега везаног за ризик, тј. не узима се у обзир могућност да се ствари не морају догодити онако како је планирано;
- приступ ретроактивног управљања ризиком, који подразумева покушаје смањења последица након реализације ризичног догађаја;
- приступ интерактивног управљања ризиком, у коме се за сваку фазу животног циклуса система унапред предузимају мере да до ризика не дође;
- приступ планског управљања ризиком, који захтева планирање и предвиђање могућности појаве ризика, а затим усвајање оних активности којима се на најбољи начин контролише могући ризик; ризиком се управља на такав начин да је мало вероватно да ће се било какав непланирани ризик појавити.

У сваком аспекту управљања ризиком присутни су исти типови ризика: програмски, технолошки, ризици подршке, ризици перформанси производа, ризици безбедности и заштите здравља, еколошки ризици, финансијски ризици (Савић, Станковић, Анђелковић, 2005). Уколико је контрола ризика добро планирана и реализована за сваки аспект, не би требало да се јаве унутрашњи узроци ризика. Међутим, ризици окружења постоје и они могу довести до програмских – основних ризика система. Због тога се ризиком не може потпуно управљати, односно ризик се не може елиминисати.

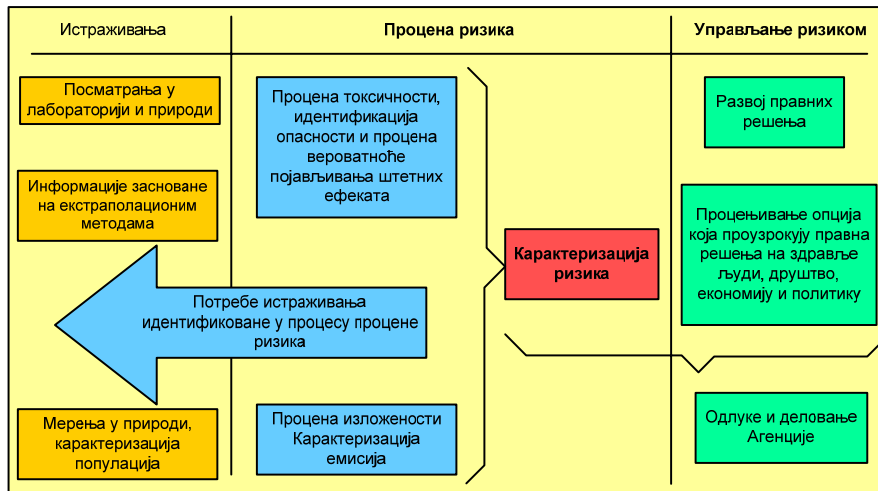
Ради контроле ризика неопходно је формирати јединствен, заокружен систем управљања ризиком. У недостатку истог поједине државе израдиле су националне оквире (приступе, контексте) и препоруке за управљање специфичним ризицима, а многи аутори дали су своју визију и свој приступ овој проблематици.

2.3 Приступ управљања ризиком у САД

У САД, 1983. године, од стране Националног истраживачког савета (*National Research Council – NRC*) развијен је *NRC* приступ за управљање ризиком. Овај приступ усвојен је и од Агенције за заштиту животне средине (*Environmental Protection Agency – EPA*), а приказан је на слици 2.1.

Извештај *NRC* „Процена ризика у регуларном процесу доношења одлука у вези са ризиком: Управљање процесом“ дефинисао је главне етапе процене ризика и процеса управљања ризиком и описао и до најситнијих детаља структуру и логички развој процеса процене ризика. Приступ *NRC* научно је исцрпан, процедурално ригорозан и представља високотранспарентно средство за стварање стандарда за заштиту животне средине у

оквиру високих правних захтева регулативе САД. Међутим, *NRC* приступ често је критикован као неприлагодљив приликом дефинисања процедуралних норми за процену ризика и претерано крут у процесу доношења одлука од стране владе, што води до многих високих лимита при излагању загађујућим материјама у животној средини (McClellan, 1994). Зато је Влада САД затражила правну реформу како би се постепено померила према флексибилнијем систему за управљање ризиком. Тако је 1993. године предложила нови регулациони план који би изменио тренутну методологију процене ризика у смислу увођења економске процене ризика, односно користи и трошкова у оквиру процеса процене ризика. Ово означава велику промену политике управљања ризиком и смањује неслагласност између процењивача ризика и оних који управљају ризиком.



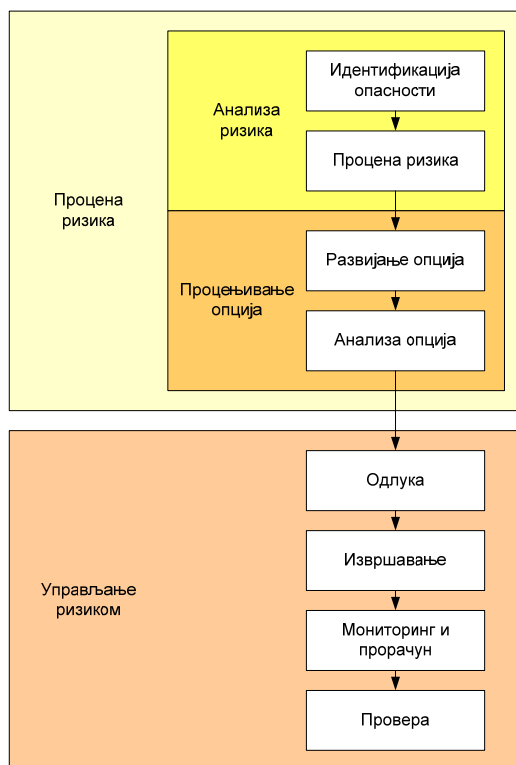
Слика 2.1. Приступ *NRC* за управљање ризиком (McClellan, 1994)

2.4 Приступ управљања ризиком у Канади

Почетком 1990. године од стране Одсека за заштиту здравља (*Health Protection Branch – HPB*) у Канади је развијен *HPB* приступ за управљање ризиком (Одређивање ризика: Модел за процену ризика и управљање ризиком). Он је служио као смерница у заштити здравља Канађана од опасности из околине – као што су хемијски загађивачи и затрована храна – и за друге јавне активности које су везане за здравље.

Приступ *HPB* (Слика 2.2) рефлектује смисао да научно заснована методологија за процену ризика неизбежно садржи и наслеђене социјалне основе. Под оквиром рада *HPB* процена ризика структурисана је тако да

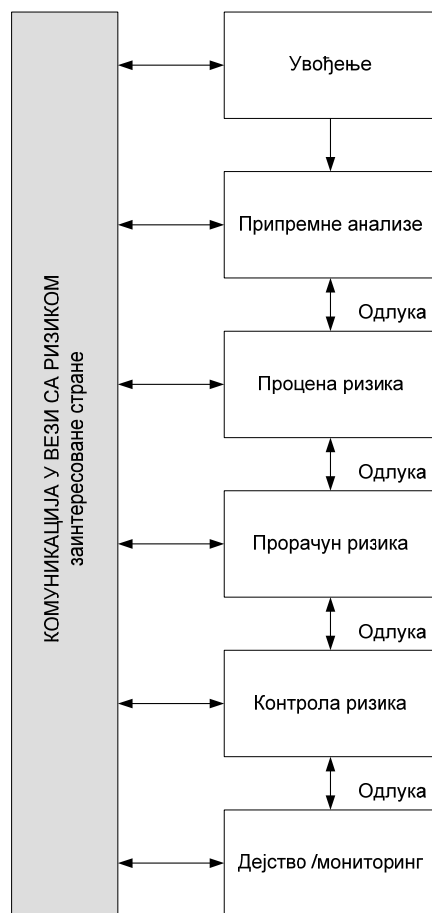
укључује и разматрање научних доказа у етапама анализе ризика и анализе које су од социоекономског значаја у процесу процене опција за смањење ризика (Power & McCarty, 1998). Такође, *HPB* приступ умеће корак за одлуку између фаза процене ризика и управљања ризиком. Корак за доношење одлука неопходан је како би повезао активности за процену ризика са активностима за управљање ризиком преко доношења одлука.



Слика 2.2. Приступ *HPB* за управљање ризиком (Power & McCarty, 1998)

У Канади широко примењиван приступ управљању ризиком *CAN/CSA-Q850-97* Управљање ризиком: Смернице за доносиоце одлука развијен је и прихваћен под окриљем Канадске асоцијације за стандардизацију (*Canadian Standards Association – CSA*). Приступ *CSA-Q850-97* резултат је заједничких напора компетентних личности из владиних, индустријских, истраживачких и еколошких организација. У канадском стандарду *CSA-Q850-97* управљање ризиком подразумева све активности, почев од дефиниције проблема истраживања и идентификације ризика до мониторинга примењених мера за смањивање здравственог ризика. Приступ *CSA-Q850-97* у процес управљања ризиком уградио је итеративан и интерактиван

процес одлучивања, а у оквиру њега процес комуникације у вези са ризиком. Стога представља најбољи основ за израду стандарда за управљање ризиком. Најбитнији кораци овог приступа приказани су на слици 2.3.



Слика 2.3. Приступ CSA-Q850-97 за управљање ризиком (CAN/CSA-Q850-97, 1997)

2.5 Приступ управљања ризиком у Великој Британији

Процена професионалног ризика представља захтев у оквиру многих регулатива Велике Британије. Неопходни елементи једног од захтева, који је у домену регулатива из 1992. године, у вези са менаџментом здравствене заштите и безбедношћу на раду, обухватају адекватну и

задовољавајућу процену ризика по запослене и остала лица обухваћена обавезном заштитом, адекватно разматрање и обавезан записник.

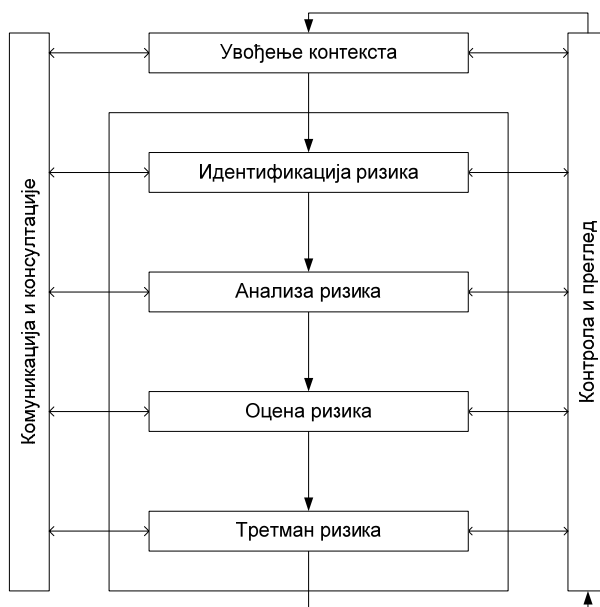
Постоји пет етапа у поступку процене ризика, и то: истраживање опасности, ко може бити угрожен и како, процена постојећих ризика, записник о свим открићима, вршење ревизије уколико је потребно. На слици 2.4 приказан је алгоритам британске методологије за процену професионалног ризика (Great Britain Health & Safety Law, 1992).



Слика 2.4. Алгоритам британске методологије за процену професионалног ризика

2.6 Приступ управљања ризиком у Аустралији

Процес управљања ризиком у Аустралији конзистентан је са AS/NZS 4360 стандардом (AN/NZS 4360:2004). Процес управљања ризиком, према наведеном стандарду, обухвата пет основних модула (Слика 2.5), и то: утврђивање контекста, идентификација ризика, анализа ризика, оцена ризика и третман ризика. Контрола и преглед, као и комуникација и консултовање, представљају значајан аспект процеса управљања ризиком јер обезбеђују свим субјектима укљученим у овај процес разумевање одлука и поступака у вези са ризиком.

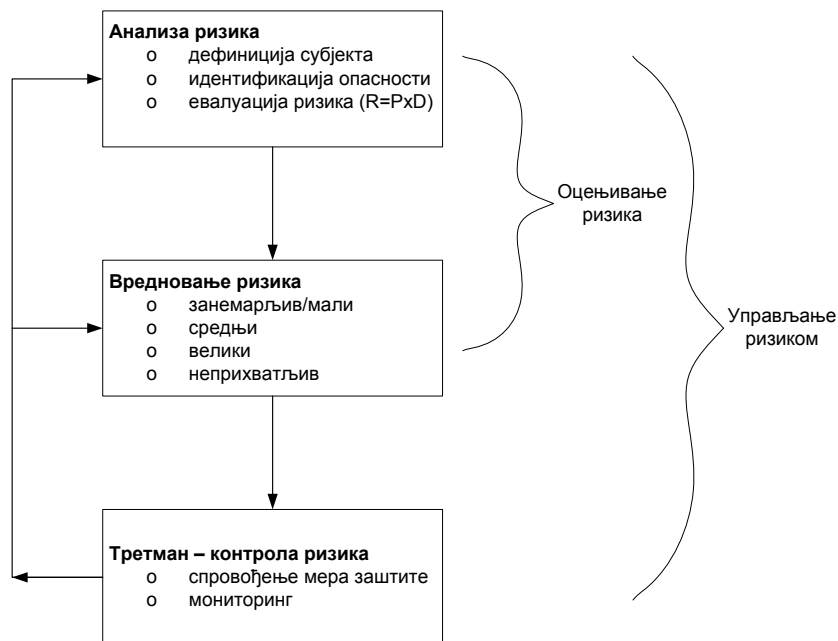


Слика 2.5. Приступ за управљање ризиком у Аустралији (AN/NZS 4360:2004)

2.7 Приступ управљања ризиком у Словачкој

У Словачкој процес управљања ризиком врши се по методологији која се примењује у Аустралији (Раџаioва, 2005), а оцена ризика врши се према стандарду *STN IEC 60300-3* (Управљање поузданошћу, део 9: Анализа ризика техничких система) (Sinay & Раџаioва, 2003) и Закону о превенцији великих индустријских опасности (Раџаioва & Sinay, 2003).

У раду Пачаиове (Paşaiova, 2005) приказана је веза између анализе ризика, оцењивања ризика и управљања ризиком (Слика 2.6).



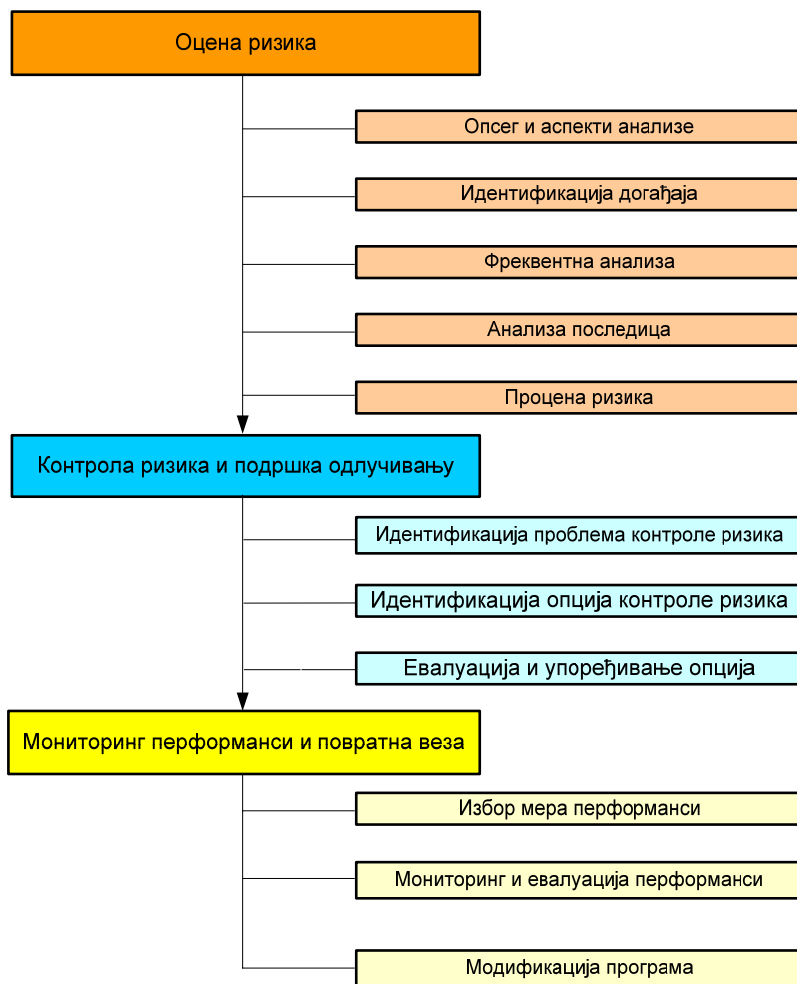
Слика 2.6. Веза између анализе ризика, оцењивања ризика и управљања ризиком (Paşaiova, 2005)

2.8 Приступ управљања ризиком у Србији

У Србији постоји велики број радова који се баве различитим приступима управљања ризиком, где су многи аутори дали своју визију и свој приступ овој проблематици.

У раду „Специфичности система управљања ризиком“ представљени су процесни елементи програма за управљање ризиком (Савић, Анђелковић, Станковић, Борота, 2002). Програм за управљање ризиком садржи две групе елемената: програмске и процесне. Програмски елементи су они делови свеобухватне програмске инфраструктуре који обезбеђују развој и примену управљања ризиком као интегралног дела управљања квалитетом. То су администрација, комуникација, документација, евалуација и побољшање. Процесни елементи програма су технички и аналитички делови програма управљања ризиком неопходни за оцену ризика, алоцирање ресурса за контролу ризика, праћење перформанси и примену

информација за побољшање процеса. Процесни елементи процеса управљања ризиком приказани су на слици 2.7.



Слика 2.7. Процесни елементи процеса за управљање ризиком
(Савић, Анђелковић, Станковић, Борота, 2002)

У раду „Интегрисање система заштите здравља и сигурности на раду у систему менаџмента организације“ (Милованов, Пећанац, 2005) приказана је међусобна веза активности у оквиру менаџмента ризиком (Табела 2.2).

Табела 2.2. Међусобна веза активности у оквиру менаџмента ризиком (Милованов, Пећанац, 2005)

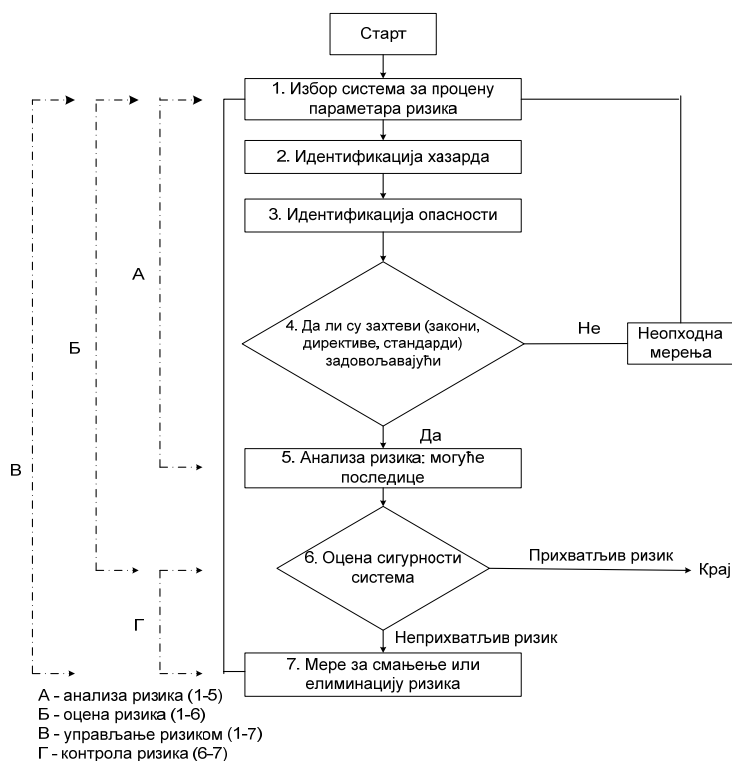
МЕНАЏМЕНТ РИЗИКОМ				
	ОЦЕЊИВАЊЕ РИЗИКА			
		АНАЛИЗА РИЗИКА		
			ИДЕНТИФИКОВАЊЕ ИЗВОРА	
			ПРОЦЕНА РИЗИКА	
				ВРЕДНОВАЊЕ РИЗИКА
	ТРЕТИРАЊЕ РИЗИКА			
		ИЗБЕГАВАЊЕ РИЗИКА		
		ОПТИМИЗАЦИЈА РИЗИКА		
		ПРЕНОС РИЗИКА		
		ЗАДРЖАВАЊЕ РИЗИКА		
	ПРИХВАТАЊЕ РИЗИКА			
	КОМУНИЦИРАЊЕ О РИЗИКУ			

У магистарској тези „Методолошки оквир за процену вероватноће удеса“ (Стојиљковић, 2007) предложен је алгоритам за процену и управљање ризиком који се састоји од следећих корака (фаза):

- *утврђивање приступа (контекста, оквира) управљања ризиком* – односи се на дефинисање оквира у којима се ризик посматра, а који укључује унутрашње и спољашње окружење, као и сврху процеса управљања ризиком;
- *дефинисање система и параметара за процену ризика*, уз коришћење адекватних информација из различитих извора;
- *избор метода за процену ризика* – односи се на избор метода за процену вероватноће и могућих последица ризика;
- *анализа система безбедности* како би се идентификовале, анализирале и контролисале опасности до највишег могућег нивоа;
- *формирање модела ризика и променљивост стандарда у процени ризика* како би се утврдило да ли су захтеви из стандарда адекватно примењени;
- *идентификација ризика*, тј. утврђивање и класификација свих потенцијалних ризичних догађаја у посматраном систему;
- *анализа ризика* – представља опис идентификованих ризика, процену вероватноће и последице реализације ризика и сл.;
- *процена ризика* – представља процес квантификације ризика на основу процењене вероватноће и могућих последица ризика;
- *вредновање ризика* – односи се на одређивање нивоа прихватљивости ризика;

- *третман ризика*, који се састоји од избегавања, задржавања, преноса и смањења ризика;
- *мониторинг ризика*, који представља континуирани процес праћења и процене процеса управљања ризиком, а спроводи се путем мерења и извештавања, као и путем повратне везе, којом се иницира репланирање, реоцењивање и/или реакција руководства;
- *документовање ризика* – процес управљања ризиком треба да буде документован, јер документација садржи адекватну базу података, путем које је оцењивање ризика разумљиво, проверљиво и применљиво.

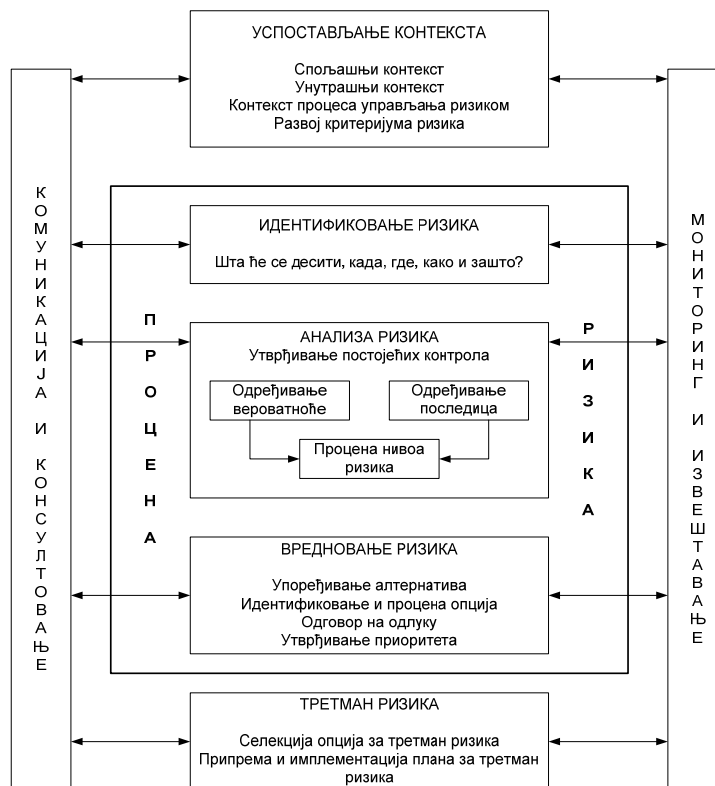
У раду „Информациони системи управљања ризиком у радној и животној средини“ (Гроздановић, 2003b) предложен је алгоритам за анализу, оцену, управљање и контролу ризика, који представља сегмент информационог система за управљање ризиком радне и животне средине (Слика 2.8).



Слика 2.8. Информациони систем за управљање ризиком радне и животне средине (Гроздановић, 2003b)

2.9 Приступ управљања ризиком према стандарду ISO 31000:2009

Приступ управљања ризиком према међународном стандарду *ISO 31000:2009* Управљање ризиком – Принципи и смернице за имплементацију (*ISO 31000:2009*) обухвата пет фаза: комуникација и консултовање, успостављање контекста, процена ризика, третман ризика, мониторинг и извештавање. У оквиру фазе процене ризика дефинисане су активности идентификовања, анализе и вредновања (евалуације) ризика. Садржај појединих фаза процеса управљања ризиком дат је на слици 2.9. Приказани начин структурирања процеса управљања ризиком не обухвата експлицитно документовање ризика. Међутим, стандард јасно захтева постојање записа у вези са управљањем ризиком.



Слика 2.9. Приступ управљања ризиком према ISO 31000:2009

Приступ за управљање ризиком дефинисан стандардом *ISO 31000:2009* није формиран са циљем да опише систем управљања, већ да помогне

организацијама да интегришу управљање ризиком у свој систем управљања. Дакле, организације треба да прилагоде елементе приступа својим специфичним потребама. Овај приступ помаже организацијама да ефикасно управљају својим ризицима кроз примену процеса управљања ризиком на различитим нивоима и у специфичним контекстима организације.

Приступ треба да обезбеди да информације о ризику, изведене из ових процеса, буду адекватно саопштене и искоришћене као основа за доношење одлука и одговорности на свим релевантним организационим нивоима. Елементи овог приступа за управљање ризиком приказани су на слици 2.10.



Слика 2.10. Елементи приступа за управљање ризиком према ISO 31000:2009

2.10 Предности и ограничења приступа за управљање ризиком

Управљање ризицима укључује разне политике, процедуре и праксе у процени, праћењу и контроли ризика. Због чињенице да се ризицима може управљати на различите начине у зависности од социјалног, економског, културног контекста, не постоје апсолутно поуздане методе, па у најбољем случају можемо говорити о доброј или лошој пракси управљања ризицима.

Различити методолошки приступи за управљање ризиком, представљени у овом поглављу, имају за циљ да дају структурални приступ за оцену, евалуацију и управљање ризиком. Мада се генерално слажу око

великог броја принципа, неке разлике постоје у терминологији, детаљима, важности фактора, као што су комуникације у вези са ризиком и учешће заинтересованих страна у процес управљања ризиком.

У САД приступ управљања ризиком служи као званичан протокол са битним правним статусом у доношењу одлука, који је створио релативно нефлексибилну структуру доношења одлука. Он је научно исцрпан, процедурално ригорозан, али и транспарентан за стварање стандарда за заштиту животне средине у оквиру високих правних стандарда постојеће законске регулативе. Недостатак му је то што је неприлагодљив приликом дефинисања процедуралних норми за процену ризика и нефлексибилан у процесу доношења одлука, што ствара простор за доношење многих непотребних прописа.

У Канади и Аустралији приступи за управљање ризиком мање су захтевни од америчког правног приступа и много отворенији за размену неформалних информација између заинтересованих страна за време различитих процеса. Они указују на то да научна методологија за процену ризика садржи и скривене вредности претпоставки и социјалне контексте и наглашавају критичну улогу процеса комуникације у вези са ризиком у процесу доношења одлука.

У европским земљама програми за управљање ризиком имају флексибилнији приступ од стране владиних организација, али их пре користе као смернице него као званичан протокол. Програми за управљање ризиком структурирани су, али флексибилни, омогућавају развој специјализованих приступа за специфичне ризичне ситуације, охрабрују иновације и подржавају континуално побољшање система. Имплементација програма треба да резултује нивоом јавне безбедности, заштите здравља и заштите животне средине једнаким или већим од оног који је егзистирао пре примене програма.

Приступ за управљање ризиком према стандарду *ISO 31000:2009* формиран је са циљем да помогне организацијама да интегришу управљање ризиком у свој систем управљања. Овај приступ обухвата следеће фазе: комуникација и консултовање, успостављање контекста, процена ризика (идентификовање, анализа и вредновање ризика), третман ризика, мониторинг и извештавање, док експлицитно не садржи фазу документовање ризика, мада захтева постојање записа у вези са управљањем ризиком.

Приступи управљања ризиком, анализирани у овом поглављу, имају своје предности и недостатке. Постоје мишљења да је највећа предност научна прецизност одређених приступа којима се долази до чврстих одлука за технички комплексне проблеме. Међутим, присталице другачијих приступа мишљења су да је то, у ствари, њихова највећа потенцијална слабост, јер су правила за доношење одлука о ризику сувише формализо-

вана, без одговарајуће субјективне оријентације, која се налази ван оквира постављених научних критеријума. У оквиру овог мишљења јесте и неслагање са често неразумљивим техничким описима. Значи, прво опредељење има технократску оријентацију, која не узима у обзир друштвену реалност, а друго опредељење даје предност недефинисанијем приступу, који не доприноси прецизности у комуницирању при доношењу управљачких одлука.

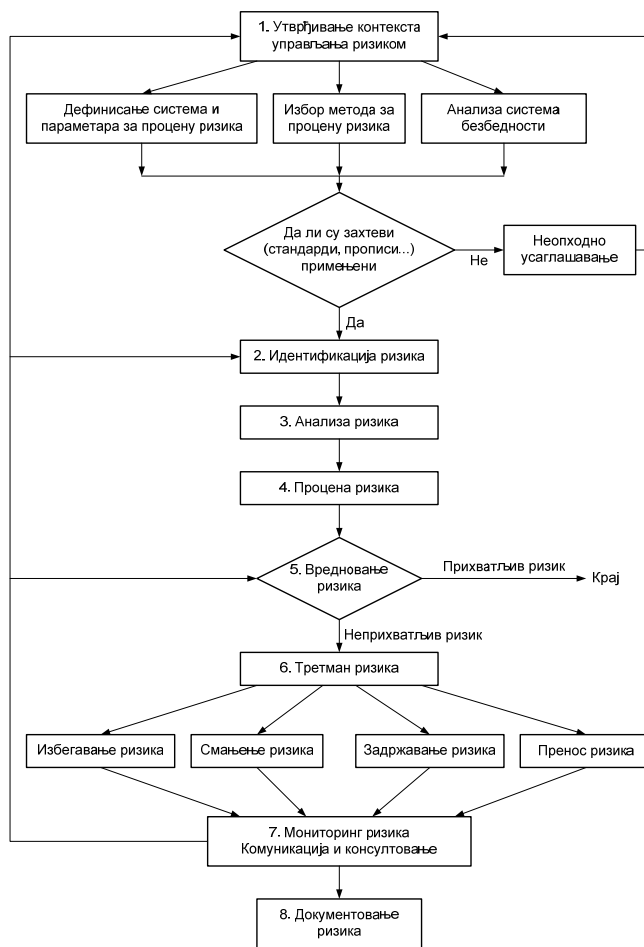


3. ОСНОВНЕ ФАЗЕ УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ

- 3.1. Утврђивање контекста управљања ризиком
- 3.2. Идентификација ризика
- 3.3. Анализа ризика
- 3.4. Процена ризика
- 3.5. Вредновање ризика
- 3.6. Третман ризика
- 3.7. Мониторинг ризика
- 3.8. Документовање ризика

3. ОСНОВНЕ ФАЗЕ УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ

У циљу доприноса процесу дефинисања и успостављања јединствене методологије за управљање ризиком, на слици 3.1. представљен је алгоритам за процену и управљање ризиком у радној и животној средини.



Слика 3.1. Алгоритам за процену и управљање ризиком

3.1 Утврђивање контекста управљања ризиком

Утврђивање контекста управљања ризиком подразумева дефинисање оквира у којима се ризик посматра, а који укључује унутрашње и спољашње окружење, као и сврху процеса управљања ризиком. *Унутрашње окружење* подразумева разумевање стратегије, сврхе и циљева система, затим познавање структуре, технологије и организационе културе, знање о потенцијалним изворима ризика (људи, процеси, капитал) и др. *Спољашње окружење* подразумева окружење у коме систем егзистира: политичко, пословно, финансијско, конкурентско, социјално, културно окружење; интереси акционара и кључних пословних сарадника; могућности и начини остваривања сарадње и међусобне комуникације.

Поред дефинисања унутрашњег и спољашњег окружења, утврђивање контекста управљања ризиком подразумева и планирање ризика.

Планирање ризика подразумева: дефинисање сврхе и циља, дефинисање врсте и обима активности, утврђивање нивоа ризика, идентификацију ресурса, задатака и одговорности различитих субјеката укључених у процес управљања ризиком и у процес доношења одлука, образовање и обуку, утврђивање метода анализе, утврђивање потреба за извештавањем, документовањем и комуникацијом, дефинисање и утврђивање критеријума за вредновање ризика и сл.

3.1.1 Дефинисање система и параметара за процену ризика

За дефинисање система и параметара за процену ризика потребне су информације:

- о опасностима и ризицима чије су постојање и начин манифестовања већ познати,
- о материјалима, опреми и технологији који се користе у процесу рада и шире,
- о радним операцијама и организацији рада, као и о интеракцији између запослених и средстава која се користе у процесу рада,
- о врсти, вероватноћи и трајању излагања опасностима (у одређеним случајевима указаће се потреба да се примене модерне и опробане технике мерења да би се доказало постојање извора опасности),
- о односу између излагања опасности и последица излагања,
- о нормама и законским прописима о професионалним ризицима и ризицима у животној средини,
- о провереној и доказаној пракси за процену ризика која није уређена законима и прописима.

Ове врсте информација могу се прикупљати из следећих извора:

- из анализе стручних активности, у циљу предвиђања евентуалних несрећа (углавном квантитативна процена ризика),
- из консултовања и/или сарадње са запосленима и/или њиховим представницима,
- из спецификације или упутства за употребу производа од произвођача и снабдевача,
- из документације и извештаја стручних или специјализованих удружења за заштиту на раду, заштиту од пожара, заштиту животне средине, управљање ванредним ситуацијама и управљање комуналним системима, о теоријским и практичним информацијама о делатности која се посматра,
- из ревија, часописа и базе података о заштити на раду, заштити од пожара и заштити животне средине,
- из смерница разних домаћих служби и института и надлежних органа о заштити на раду, заштити од пожара и заштити животне средине,
- из података о повредама (укључујући и податке о опасним материјама, епидемиолошке студије),
- из упутстава за рад на радном месту, правилника и сл. у писаној форми,
- из података о праћењу деловања предузетих и допунских мера,
- из података здравствених служби (без навођења имена запослених),
- из научне и техничке литературе,
- из норми дефинисаних од стране надлежних националних или европских институција и
- из прописа у области безбедности и здравља на раду и заштите животне средине.

3.1.2 Избор метода за процену ризика

Будући да је процена ризика основ за управљање ризиком, неопходно је познавање метода које се у ову сврху могу користити.

С обзиром на податке које користе, *методе за процену ризика*, могу бити: квалитативне, квантитативне и комбиноване. Деле се на методе за процену вероватноће и методе за процену последица. Методе за процену вероватноће имају за циљ да идентификују и квантификују подручја где потенцијално може доћи до ризика, а методе за процену последица имају за циљ процену негативних последица, њихових потенцијалних ефеката, као и опис могућих мера заштите за елиминацију тих ефеката (Стојиљковић, 2007).

Квалитативне методе користе квалитативне податке, па је и резултат оцене квалитативна величина. Оне, такође, процењују примену и поштовање критеријума које дефинишу стандарди, закони, прописи, норме за системе који се истражују.

Квантитативне методе користе квантитативне податке. Оне подразумевају познавање вероватноће нежељеног догађаја, до које се долази на основу релевантних историјских података, примене аналитичких техника или експертних оцена. Такође, подразумевају и познавање квантитативних вредности очекиваних последица реализације овог догађаја. На основу ових вредности одређује се квантитативна мера ризика, најчешће као производ вредности наведених величина.

Комбиноване методе (полуквалитативне) заснивају се на судовима експерата. С обзиром да често није могуће оценити вероватноћу (поготову ако се ради о ретким догађајима), а ни величину последица (које могу бити различите за различите услове), ове величине се процењују и рангирају од стране експерата. Скале вероватноће и последица основ су за процену мере ризика, која се најчешће одређује као производ или збир мера вероватноће и потенцијалних ефеката.

Избор методе за процену ризика зависи од могућности методе, комплексности процеса (система), степена организације и количине искустава у вези са тим процесом (да ли је процес већ имплементиран или се ради о новом пројекту), степена неодређености проблема, тј. квалитета расположивих информација, ресурса који су неопходни за спровођење анализе и процене ризика (анализа трошкова и користи), дубине анализе, тј. да ли се ради о квалитативној или квантитативној процени ризика итд.

С обзиром на кораке (фазе) у процесу процене ризика, методе за процену ризика могу се класификовати на следећи начин (ISO 31010:2009):

- методе за идентификацију ризика (брејнсторминг, чек-листе, анализа опасности и операбилности, „шта-ако“ анализа, Делфи метод, процена људске поузданости, процена еколошког ризика...);
- методе за анализу ризика – квалитативна, полуквантитативна, или квантитативна процена вероватноће (анализа стабла отказа, анализа начина, ефеката (и критичности) отказа, анализа узрока и последице, процена људске поузданости, матрице вероватноће и последица, процена еколошког ризика...);
- методе за анализу ризика – анализа последица (анализа стабла догађаја, анализа опасности и операбилности, анализа начина, ефеката (и критичности) отказа, анализа узрока и последице, анализа сценарија, матрице вероватноће и последица, процена људске поузданости, процена еколошког ризика...);

- методе за анализу ризика – процена нивоа ризика (анализа начина, ефеката (и критичности) отказа, процена људске поузданости, матрице вероватноће и последица, вишекритеријумска анализа, процена еколошког ризика...);
- методе за процену ризика (анализа начина, ефеката (и критичности) отказа, Монте Карло метод, метод експертних оцена, процена еколошког ризика...).

С обзиром на аспект примене, методе за процену ризика могу бити (Табела 3.1):

- методе за процену ризика техничких система,
- методе за процену људске поузданости,
- методе за анализу акцидентата,
- методе за анализу управљачке делатности (менаџмента).

Међутим, с обзиром на аспект примене, поједине методе могу бити коришћене и у оквиру других метода за процену ризика (нпр. анализа опасности и операбилности може се користити како за идентификацију отказа у техничким системима, тако и за идентификацију људских грешака). Такође, треба нагласити да се у оквиру метода за процену ризика често користе и неки алати и процедуре претходне анализе опасности: чек-листе (*Check-lists*), „шта-ако“ анализа (*What-if Analysis*), прелиминарна (претходна) анализа опасности (*Preliminary Hazard Analysis – PHA*) и сл.

Табела 3.1. Методе за процену ризика (модификовано према:
Harms-Ringdahl, 2001; Stojiljkovic & Grozdanovic, 2005;
Стојиљковић, 2007; ISO 31010:2009; Стојиљковић,
2011)

Ред. бр.	Метод	Метод за процену ризика техничких система	Метод за процену људске поузданости	Метод за анализу акцидента	Метод за процену ризика управљачке делатности
1.	Анализа енергије (Energy Analysis – EA)	X			
2.	Анализа одступања (Deviation Analysis – DA)			X	
3.	Анализа опасности и операбилности (Hazard and Operability Analysis – HAZOP)	X			
4.	Анализа функције безбедности (Safety Function Analysis – SFA)			X	
5.	Анализа начина и ефеката (и критичности/детекције) отказа (Failure Mode and Effects (and Criticality) Detection) Analysis – FMEA/FMECA/FMED4)	X			
6.	Метода процене и редукције људске грешке (Human Error Assessment and Reduction Technique – HEART)		X		
7.	Анализа стабла отказа (Fault Tree Analysis – FTA)	X			
8.	Анализа стабла догађаја (Event Tree Analysis – ETA)	X			
9.	Апсолутна вероватноћа процене (Absolute Probability Judgement – APJ)		X		
10.	Анализа промена (Change Analysis – CA)			X	
11.	Метода индекса вероватноће успеха (Success Likelihood Index Method – SLIM)		X		
12.	Пропуст менаџмента и стабло ризика (Management Oversight and Risk Tree – MORT)				X
13.	Анализа безбедности рада (Job Safety Analysis – JSA)			X	
14.	Метода за предвиђање нивоа људске грешке (Technique for Human Error Rate Prediction – THERP)		X		
15.	Аудит (Audits – in general)				X
16.	Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента (The Complex Method for Assessment of Overall Hazard of An accident – CMA)			X	

Табела 3.1. (Наставак)

Ред. бр.	Метод	Метод за процену ризика техничких система	Метод за процену људске поузданости	Метод за анализу акцидента	Метод за процену ризика управљачке делатности
17.	Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине (<i>Safety, Health and Environment Management System – SHE-MS</i>)				X
18.	Еволуција акцидента и метод баријере (<i>Accident Evolution and Barrier Method – AEB</i>)			X	
19.	Метода парног поређења (<i>Paired Comparisons – PC</i>)		X		
20.	Међународни систем нормирања безбедности (<i>International Safety Rating System – ISRS</i>)				X
21.	Дијаграм безбедносне баријере (<i>Safety Barrier Diagram – SBD</i>)	X			
22.	Метода дијаграма утицаја (<i>Influence Diagrams Approach – ID4</i>)		X		
23.	Студија културе безбедности, опасности и операбилности (<i>Safety Culture Hazard and Operability Study – SCHAZOP</i>)				X
24.	Метода поузданости људске когнитивности (<i>Human Cognitive Reliability – HCR</i>)		X		
25.	Дијаграм узрок - последица (<i>Cause -Consequence Diagram – CCD</i>)	X			
26.	Системско предвиђање и редуција људске грешке (<i>Systemic Human Error Reduction and Prediction Approach – SHERPA</i>)		X		
27.	Матрица вероватноће и последица <i>Consequence/ Probability Matrix</i>	X			
28.	Емпиријска техника за процену грешке оператора (<i>Technical Empirical Stim Error Operator! – TESEO</i>)		X		
29.	Секвенцирање мултилинеарних догађаја (<i>Multilinear Events Sequencing – STEP</i>)			X	
30.	Когнитивна поузданост и метода анализе грешке (<i>Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM</i>)		X		
31.	Модели анализе последице (<i>Consequence Analysis Models – CAM</i>)	X			

3.1.3 *Анализа система безбедности*

Систем безбедности јесте назив за приступ (или концепт) да се системима обезбеди најбољи степен заштите системским приступом у фази пројектовања система, како би се идентификовале, анализирале и контролисале опасности до највишег могућег нивоа.

Примарни разлог за примену система безбедности јесте постизање боље заштите, тако да принцип система безбедности треба да се спроводи од почетака и све до краја самог пројекта. Задатке система безбедности спроводи радна група коју чине пројектни менаџери, инжењери дизајна, инжењери заштите и крајњи корисници.

У литератури су присутне различите дефиниције безбедности. Према неким од њих, безбедност (система) одређена је као:

- стање заштићености сваког појединца и животне средине од прекомерних опасности (Меньшиков, Швыряев, 2003),
- стање које се карактерише могућом штетом која не прелази величину дозвољење штете (Аронов, 2004),
- општи термин који означава прихватљиви ниво ризика (Stephans, 2004).

Међу основним принципима обезбеђивања безбедности посебно место заузима принцип заштите по нивоима, који представља стварање низа нивоа заштите од могућих отказивања елемената објеката и грешака персонала, укључујући увођење физичких баријера на путу ширења енергије или баријера за уклањање контакта са опасним објектима, као и увођење техничких и административних мера са циљем очувања целовитости и ефикасности баријера.

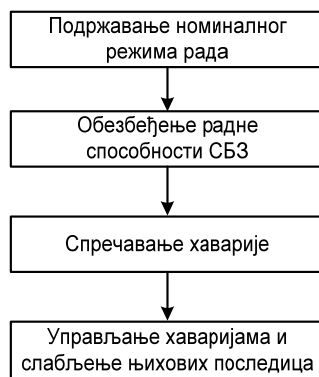
Радна способност баријера и безбедност објеката обезбеђује се комплексом техничких и административних мера, међу којима је могуће издвојити следеће (Аронов, 2004):

- пројектовање (избор оптималних параметара и карактеристика безбедности);
- искоришћавање својстава самозаштите и саморегулисања, тј. оних својстава која одређују стабилност објеката при отклањању опасних параметара технолошког процеса и способност за успостављање параметара у границама дозвољених вредности;
- увођење специјалних елемената система блокирања и заштите (СБЗ), који су унапред одређени за спречавање хаварија или за ограничење њихових последица;
- оспособљавање персонала за прихватање „културе безбедности“, тј. развијање свести оператера, код којих ће осигурање безбедности

објеката, као и одговорност и самоконтрола при вршењу свих радњи које утичу на безбедност, постати приоритетан циљ и унутрашња потреба;

- профилактичке (превентивне) мере за уклањање узрока могућих отказа и корективне мере које спречавају прерастање отказа елемената објеката у процес нарушавања нормалне експлоатације, а у крајњем случају и хаварија;
- употребљивост објеката у строгој сагласности са захтевима нормативних докумената и инструкција за њихову употребу.

Принцип заштите по нивоима примењује се због побољшавања стања са аспекта безбедности, а коришћењем следећих корака (Слика 3.2):



Слика 3.2. Основни кораци принципа заштите по нивоима

Проблеми који се јављају у имплементацији система безбедности, а који се налазе у међусобном односу су: стандардизација, методологија процене ризика, подаци, везе, животни циклус, образовање и обучавање, људски фактор и програмска опрема.

Први проблем који се јавља у спровођењу система безбедности јесте недостатак стандардних услова, алата и техника, тако да свака агенција, извођач радова и аналитичар има посебан скуп дефиниција, техника, као и поступке и радне књиге за спровођење система безбедности. На пример: листа анализа често се меша са типом анализа (анализа претходних опасности, анализа радне опасности...) или са методама за израду анализа (*FTA*, *SA*...). Да ли је анализа претходних опасности тип или метода, зависи од података који се употребљавају. У практичном смислу, анализа опасности система или подсистема и анализа опасности јесте једно те исто, али се повремено назива анализа укупне опасности. Такође, за процену ризика употребљавају се матрице (табеле) које се разликују. Све су оне базиране на јачини последица, с једне стране, и вероватноћи, с друге стране; неки ко-

ристе скалу или код процене ризика (*Risk Assessment Code – RAC*) 1–4, неки 1–16, неки користе комбинацију римских и арапских бројева итд.

Друга критична област јесте непостојање јединствене методологије, односно стандардних прописа у процени ризика. Систем безбедности треба да допринесе тачној анализи опасности и да произведе објективне, корисне податке, према којима се могу доносити праве одлуке. Код процене ризика треба да обезбеди важну основу за одређивање прихватљивости ризика, одређивање приоритета ризика и средстава за смањење ризика. Нажалост, многе *RAC* табеле користе скале које су толико субјективне и лоше дефинисане да су практично безначајне. Такође, скале јачине превише су ограничавајуће. Губитак иједног људског живота је трагичан, и ако губитак једног људског живота представља горњу границу скале јачине, како да се процене опасности које имају потенцијал за убиство десетине или стотине хиљада људи у једном акциденту? Скале вероватноће такође су широко дефинисане, или су квантитативне и срачунате на основу субјективне претпоставке. Зато ове претпоставке морају бити јасно формулисане, тако да *RAC* могу бити ажурирани, исправни или потврђени као историјски. Због тога је потребно дефинисати универзалну *RAC* табелу, која ће служити као средство за упоређивање сродних ризика.

Да би се добили веродостојни *RAC* или било које друге поуздане квантитативне процене ризика, траже се валидни подаци. Међутим, иако постоје многи подаци, они нису обавезно доступни у правом облику. Неслагања се могу јавити у подели наученог, информацијама о акциденту, поузданости података и др. Да би се овај проблем превазишао, потребан је организован напор да се идентификују и систематизују постојеће базе података и да се развију планови за систематско прикупљање и ширење нових података.

Недостатак комуникације и губитак информације велике су бриге за многе организације. Најчешћи проблеми резултат су лоше комуникације између руководиоца и крајњих корисника. Зато систем безбедности захтева да инжењери, управници и креатори система безбедности траже учешће локалних безбедносних организација и крајњих корисника.

Скоро сви програми система безбедности обухватају концепт животног циклуса, међутим, само неколико њих заиста и потпуно спроводи мере у фази деловања (нпр: *MORT* програм). Концепт животног циклуса најдужа је фаза у радном веку безбедносних система и обухвата пуштање система у рад, а завршава се заустављањем, демонтажом и заменом или реконструкцијом, односно обновом посматраног система. Пре него што се систем заувек искључи из рада, мора се претходно добро проучити какве ефекте ће његово заустављање имати на опрему, технолошки процес који се

штити и суседне процесе и заштитне системе. Најважнији део у овој фази јесте одржавање и тестирање заштитног система.

Следећи проблем односи се на недостатак квалификованих инжењера и менаџера система безбедности. Мали број инжењера током школовања у свом наставном плану има курсеве система безбедности, тако да се поред недостатка курсева јавља и проблем наставника и писаног материјала из ове области. Да би се задовољиле ове потребе, сваки технички програм у земљи треба да има најмање један курс система безбедности у свом основном наставном плану. Напредни курсеви и курсеви за менаџере и стручњаке безбедности морају такође да буду доступни.

Проблем програмске опреме не односи се само на недостатак књига, семинара, универзитетских програма и квалитетних консултаната већ и на врло мали број квалификованих инжењера и недостатак знања. Компјутери и вештачка интелигенција играју све већу улогу у контроли свега, од великих борбених система до кућних уређаја. Примена компјутера у овим областима система безбедности већ је велика.

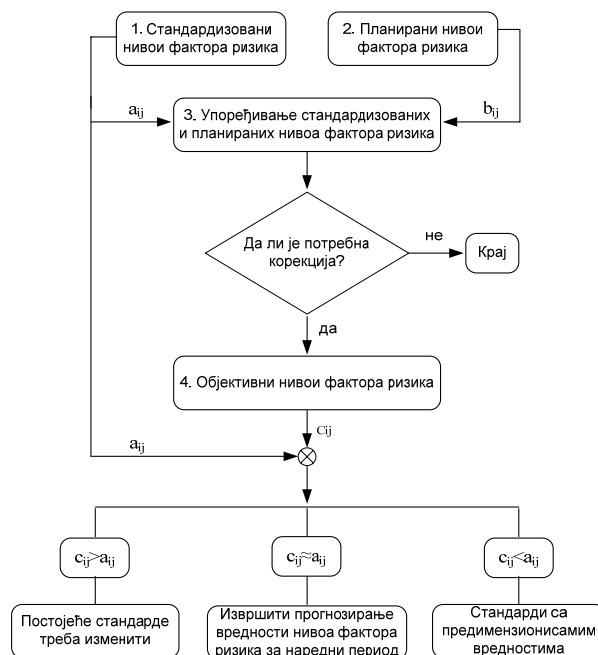
Значај људског фактора у системима може да представља проблем. Људи имају више неуспелих начина рада и далеко су мање предвидиви него техничка опрема. Из тог разлога веома је тешко прецизно предвидети људску поузданост. Зато је систем човек – машина област која заслужује све више пажње.

3.1.4 Формирање модела ризика и променљивост стандарда у процени ризика

Управљање ризиком комплексних система заснива се на сталној примени аналитичко-синтетичког методолошког приступа, јер он омогућава одржавање стабилне равнотеже истраживаних система, уз истовремени развој и промене истраживачких структура због сталних промена услова и утицаја на системе, те се због тога и предлаже формирање контролно-управљачког модела процене ризика посредством стандарда, који је представљен на слици 3.3.

Да би предложени модел могао правилно да функционише, неопходан је систематски прилаз приликом формирања базе података, што представља и најсложенију принципијелну етапу рада, јер је база података основа за целокупан даљи рад на оптимизацији истраживања.

Тачност овако постављеног модела могуће је повећати прогнозирањем правца и темпа којим ће се кретати захтеви за мењањем нивоа фактора ризика, што условљава и промену нивоа ових параметара у стандардима.



где су:

a_{ij} стандардизовани нивои фактора ризика,

b_{ij} планирани нивои фактора ризика,

c_{ij} објективни нивои фактора ризика.

У овом моделу блокови имају следећа значења:

Блок 1 - на основу многих истраживања формирају се разни стандарди и препоруке који служе као основа за формирање овог блока.

Блок 2 - на основу хипотезе истраживања и објективно постављених циљева истраживања одређује се планирани ниво за факторе ризика.

Блок 3 - овим блоком одређују се одговарајућа одступања планираних фактора ризика од вредности фактора датих у стандардима.

Блок 4 - овим блоком одређују се стварни нивои фактора ризика, добијени спровођењем истраживања у објективним условима.

Слика 3.3. Контролно-управљачки модел процене ризика посредством стандарда и препорука

Модел интегрисаног приступа управљања ризиком у радној и животној средини поставио је Зимолог (Zimolong, 1999) и он је тестиран у хемијској индустрији Немачке посредством три истраживачке екипе: једне са Бохум универзитета, друге са Минхенске политехничке школе и треће из једне приватне консалтинг фирме (према: Гроздановић, Живковић, Маленовић, 2000). Овај модел интегрише здравствене, безбедносне и еколошке (ЗБЕ) ризике и обухвата активности које имају за циљ формирање стандарда (Слика 3.4).



Слика 3.4. Модел интеграције здравствених, безбедносних и еколошких ризика

Постављање тешких али ипак остварљивих ЗБЕ циљева, редовно оцењивање ЗБЕ ризика и извештавање о резултатима функција надгледања главни су предуслови овог програмског модела. Да би се цео процес употпунио без прекидања, морају се увести оцене о раду, подстрекачи и програми награђивања уз поштовање ЗБЕ достигнућа.

3.2 Идентификација ризика

Идентификација ризика обухвата процес утврђивања и класификације свих ризичних догађаја у посматраном систему. Идентификовање ризика врши се са циљем формирања листе извора и фактора ризика, као и догађаја који могу утицати на остваривање циљева дефинисаних у контексту управљања ризиком. Ови догађаји могу да онемогуће, умање, увећају или одложе остваривање дефинисаних циљева. Како се идентификовани догађаји могу реализовати на различите начине, то је неопходно формирати сценарије развоја ових догађаја. То су најчешће базични сценарији као највероватнији сценарији развоја ризичних догађаја. Сценарио повезује факторе ризика на начин који може резултовати губитком (негативном последицом или неповољним ефектом) или добитком (позитивном последицом или повољним ефектом).

Неке од техника које међународни стандард *ISO/IEC 31010:2009* препоручује за коришћење у поступку идентификовања ризика су: брејн-сторминг (*brainstorming*), анкетирање, интервјуи, чек-листе, прелиминарна анализа опасности, анализа опасности и операбилности, „шта-ако“ анализа, анализа сценарија, анализа узрока и последице, матрице вероватноће и последица.

Коришћењем ових метода долази се до скупа идентификованих ризика који се могу класификовати, анализирати и проценити.

3.3 Анализа ризика

Анализа ризика кључна је фаза у управљању ризиком и она обезбеђује основу за систем управљања ризиком. У њој се добијају потребни подаци везани за идентификоване ризике и остварење задатих циљева. Анализа ризика веома је сложен поступак у коме се узимају у обзир многобројни параметри и појаве, а спровођење анализе увек треба сагледати са аспекта трошкова које ће она произвести и установити да ли је исплативо радити анализу и до које дубине треба ићи са анализом (Граховац, Петковић, 2000).

У поступку анализе ризика врши се опис идентификованих ризика, изолују узроци, анализира њихов утицај на ризик (узимајући у обзир постојеће процесе, уређаје или праксу којима се дати ризик контролише), процењују вероватноће и последице реализације ризика, оцењују и квантификују ризици, формира листа приоритетних ризика, предлажу методе за третман ризика, дефинишу параметри и метрика за мониторинг ризика.

Анализа ризика може бити квалитативна, полуквантитативна (или квалитативно-квантитативна) и квантитативна.

Квалитативна анализа заснована је на квалитативним подацима и за описивање вероватноће и последица користи речи. Она се примењује у случајевима где је овакав вид анализе довољан за одлучивање или као претходна активност у анализи ризика који ће касније захтевати детаљнију обраду. Кад год је то могуће, ову анализу треба поткрепити релевантним чињеницама и подацима.

Полуквантитативна анализа описима вероватноће и последица придружује одговарајуће бројне вредности и на тај начин врши њихово рангирање. Међутим, како ранг додељен одговарајућем опису не одговара стварној величини вероватноће и последица, код додељивања рангова треба водити рачуна о ограничењима одговарајућих описа.

У квалитативној и полуквантитативној анализи ризика најчешће се користе следеће технике и методи: анкетирање, *SWOT* анализа, узрочно-последични дијаграми, метод експертних оцена, Делфи метод, прелими-

нарна анализа опасности, анализа стабла отказа, анализа начина, ефеката (и критичности) отказа, матрице вероватноће и последица, вишекритеријумска анализа.

Квантитативна анализа користи нумеричке податке, тако да резултати анализе битно зависе од обима и квалитета података. Подаци се могу искористити и за моделирање исхода догађаја или за екстраполацију. Начин комбиновања нумеричких вредности вероватноће и последица ради добијања нумеричких вредности ризика зависи од врсте ризика и сврхе анализе ризика. Ипак, најчешће се нумеричка вредност ризика добија као производ нумеричких вредности вероватноће и последица.

У квантитативној анализи ризика најчешће се користе следеће технике и методи: теорија вероватноће, математичка статистика, операциона истраживања, анализа осетљивости показатеља ефективности, анализа сценарија, анализа стабла отказа, анализа стабла догађаја, Монте Карло метод, методе моделирања и симулације.

Форма анализе ризика зависи од расположивих података, али треба да буде усклађена и са критеријумима за вредновање ризика.

Коришћење квантитативних оцена ризика у пракси захтева категоризацију и рангирање ризика, с обзиром на значај за посматрани систем. Категоризација и рангирање ризика резултат је експертске процене, сагласно оквиру, садржају и циљевима истраживања.

Осим рангирања ризика, може се извршити и рангирање фактора ризика, с обзиром на њихов утицај на ризик. Ранг-листа указује на најзначајније факторе ризика, а тиме и на места и путеве на којима ће мере за смањење ризика бити најнеефективније.

3.4 Процена ризика

Ризик генерално карактеришу два основна аспекта: неизвесност (неодређеност) и нежељени ефекти (губитак). При томе, основни проблем при изучавању ризика представља његова неодређеност и то у неколико димензија: врста ризика, интензитет ризика, фреквенција ризика и вероватноћа реализације ризика.

Неодређеност ризика посматра се у светлу вероватноће реализације ризичног догађаја. Вероватноћа реализације неке појаве подразумева, са друге стране, одређивање фреквенције дешавања те појаве током референтног временског периода. Теорија ризика усваја фреквенцију као прву битну компоненту при анализи ризика. Фреквенција ризика заправо значи учесталост испољавања ризика у одређеном временском периоду. Уколико се поједини ризик често реализује у посматраном временском периоду, његова фреквенција је велика и обрнуто.

Друга компонента ризика – губитак дефинисан је величином економске (финансијске) штете која настаје реализацијом ризика. У том смислу у теорији ризика усвојен је појам интензитет ризика. Интензитет ризика је већи уколико је очекивана величина економске штете проузрокована дешавањем ризичног догађаја већа и обрнуто. Дефинисањем фреквенције и интензитета ризика у потпуности је дефинисан и сâм ризик.

Процена ризика врши се кроз обједињавање процена вероватноће и последица за све сценарије ризика. Велики обим информација о учесталости и последицама опасности треба интегрисати и представити у релативно једноставној форми за разумевање и одлучивање. То може бити јединствен бројни индекс, табела, матрица, график или карта ризика.

На основу процене вероватноће и могућих последица врши се квантификација ризика. За квантификацију ризика, као квалитативни или квалитативно-квантитативни алат користе се матрице ризика.

У Словачкој се процена ризика врши према стандарду *STN IEC 60300-3* (Управљање поузданошћу, део 9: Анализа ризика техничких система) и Закону о превенцији великих индустријских опасности. Њима се дефинишу: четири нивоа последица (Табела 3.2), пет нивоа вероватноће/учесталости (Табела 3.3) и четири нивоа ризика (Табела 3.4) (Раџаiova, 2005).

Табела 3.2. Критеријуми за величину последица (матрица последица)

Поље дејства	Критеријуми за величину последица			
	Катастрофалне	Критичне	Граничне	Незнатне
Безбедност	Смрт	Велика штета	Мала штета	Незнатна штета
Окружење	Озбиљне	Велике	Мале	Тривијалне
Професионалне болести	Озбиљне и широко распрострањене	Озбиљне или широко распрострањене	Лаке и мало распрострањене	Лаке или мало распрострањене
Трошкови	100%	50–100%	20–50%	< 20%
Перформансе	Конструкција близу прага критичности	Озбиљни недостаци конструкције	Мале штете конструкције	Нешто тривијално
Расположивост	Велики губици, дуже од 24h	Више од 2h	Мање од 2h	Краћи застоји
Друштвени утицај	Распрострањен	Значајан	Мали	Локални

Табела 3.3. Матрица ризика

Учесталост Последице	Катастро- фалне (1)	Критичне (2)	Маргиналне (3)	Незнатне (4)
(А) Често $X > 10^{-1}$	1А	2А	3А	4А
(Б) Вероватно $10^{-1} > X > 10^{-2}$	1Б	2Б	3Б	4Б
(Ц) Повремено $10^{-2} > X > 10^{-3}$	1Ц	2Ц	3Ц	4Ц
(Д) Ретко $10^{-3} > X > 10^{-6}$	1Д	2Д	3Д	4Д
(Е) Невероватно $10^{-6} > X$	1Е	2Е	3Е	4Е

Табела 3.4. Прихватљивост ризика

1А, 1Б, 1Ц, 2А, 2Б, 3А	Неприхватљив
1Д, 2Ц, 2Д, 3Б, 3Ц	Велики (непожељан, уз потребу обазривог прихватања)
1Е, 2Е, 3Д, 3Е, 4А, 4Б	Средњи (прихватљив, уз контролу ризика)
4Ц, 4Д, 4Е	Мали (прихватљив, без контроле ризика)

У Великој Британији постоји богата регулатива у вези са ризиком. Овде ће бити приказана оцена професионалног ризика према методологији дефинисаној Прописима о управљању здрављем и безбедношћу на раду (Great Britain Health & Safety Law, 1992). Методологија дефинише по пет нивоа вероватноће и последица (Табела 3.5) и шест нивоа прихватљивости ризика, са придруженим оценама добијеним множењем одговарајућих оцена вероватноће и последица (Табела 3.6).

Табела 3.5. Оцена професионалног ризика

Догађај (оцена вероватноће)	Последице (оцена)				
	Оштећење опреме (1)	Незнатне повреде (2)	Излечиве повреде (3)	Озбиљне повреде (4)	Фаталне повреде (5)
Известан (5)	5	10	15	20	25
Врло вероватан (4)	4	8	12	16	20
Вероватан (3)	3	6	9	12	15
Скоро вероватан (2)	2	4	6	8	10
Невероватан (1)	1	2	3	4	5

Табела 3.6. Прихватљивост професионалног ризика

Ниво ризика	Занемар- љив	Мали	Средњи	Велики	Веома велики	Непри- хватљив
Оцена	1–3	4–6	8–10	12–15	16–20	25

У наредним табелама (3.7, 3.8, 3.9, 3.10) приказана је једноставна матрица рангирања ризика која се примењује у Аустралији, са оценама добијеним сабирањем одговарајућих оцена вероватноће и последица (MISHC, 2004).

Табела 3.7. Нивои, оцене и опис вероватноће

Вероватноћа	Оцена	Опис
Веома висока	5	Могућност понављања инцидента (1 месечно или слично)
Висока	4	Могућност изолованих инцидента (1 годишње)
Средња	3	Могућност појављивања инцидента (1 у 10 година)
Ниска	2	Инцидент се вероватно неће појавити (1 у 100 година)
Веома ниска	1	Инцидент је практично немогућ (1 у 1000 година)

Табела 3.8. Нивои, оцене и опис последица

Последице	Оцена	Опис
Веома велике	5	Фаталне; значајна и трајна онеспособљеност
Велике	4	Озбиљне повреде; више страдалих; значајан губитак времена
Средње	3	Повреде које захтевају медицински третман или изгубљено време
Мале	2	Повреде које захтевају прву помоћ – нема изгубљеног времена
Веома мале	1	Скоро занемарљиве

Табела 3.9. Матрица рангирања ризика

Последице		Веома мале	Мале	Средње	Велике	Веома велике
Вероватноћа	Оцена	1	2	3	4	5
Веома висока	5	6	7	8	9	10
Висока	4	5	6	7	8	9
Средња	3	4	5	6	7	8
Ниска	2	3	4	5	6	7
Веома ниска	1	2	3	4	5	6

Веома велики
Велики
Средњи
Мали

Табела 3.10. Нивои, оцене ризика и предлог мера за контролу ризика

Ниво ризика	Оцена	Предлог мера за контролу ризика
Веома велики	8–10	Тренутан прекид активности; идентификација и имплементација контроле за редукцију ризика до нивоа мали, пре поновног стартавања активности; укључивање највишег нивоа руководства.
Велики	7	Тренутан прекид активности; идентификација и имплементација контроле за редукцију ризика до нивоа мали, пре поновног стартавања активности; укључивање вишег нивоа руководства.
Средњи	5–6	Комплетно оцењивање ризика; идентификација опасности и имплементација контроле за редукцију ризика; дефинисање одговорности руководства.
Мали	2–4	Идентификација опасности и имплементација контроле како је планирано; рутински процеси руковођења.

У Републици Србији за оцену ризика од хемијског удеса користи се методологија дефинисана *Правилником о садржини политике превенције удеса и садржини и методологији израде извештаја о безбедности и плана заштите од удеса* („Сл. гласник РС“, бр. 41/2010).

Према поменутом Правилнику *вероватноћа* се изражава нумерички или описно као мала, средња и велика (Табела 3.11).

Табела 3.11. Критеријуми за процену вероватноће настанка удеса

Велика вероватноћа ($10^0 - 10^1$ учесталост догађаја/г.)	Средња вероватноћа ($10^{-1} - 10^{-2}$ учесталост догађаја/г.)	Мала вероватноћа ($<10^{-2}$ учесталост догађаја/г.)
– цурења опасних материја на спојевима цевовода, вентилима и сл. – просипања при претакању течности и просипање чврстих материја при манипулацији – оштећења јединичних паковања амбалаже и просипање садржаја – цурења течности и просипање чврстих материја у интерном транспорту – цурење гасова под притиском из цевовода и других система под притиском – створени услови за изазивање пожара или експлозије у зони опасности 2 – почетни пожари на инсталацијама	– пуцање цевовода течних материја – пуцање цевовода гасова под притиском – просипање целокупног садржаја из резервоара течности – просипање ауто и железничких цистерни на комплексу након хаварија – створени услови за пожар и експлозију у зони опасности 1 – пожар и експлозија дела постројења – два и више удеса велике вероватноће на једној локацији у исто време	– пуцање судова за транспорт – пуцање суда за складиштење – пожар целог постројења – пожар целог складишта – експлозија целог постројења – експлозија целог складишта – створени услови за пожар и експлозију у зони опасности 0 – два и више удеса средње вероватноће на једној локацији у исто време

Могуће последице удеса изражавају се као: последице малог значаја, значајне, озбиљне, велике и катастрофалне последице, а на основу броја људи са смртним исходом, броја повређених или интоксикованих људи, броја мртвих животиња, површине контаминираниог земљишта и висине материјалне штете. Могуће последице по живот и здравље људи и животну

средину процењују се на основу података добијених анализом поврединости. Повредиви објекти изражавају се нумерички, а за процену се узимају у обзир и највеће могуће последице. Критеријуми за процену могућих последица дати су у табели 3.12 („Сл. гласник РС“, бр. 41/2010).

Табела 3.12. Критеријуми за процену могућих последица

Показатељи последица	Малог значаја	Значајне	Озбиљне	Велике	Катастрофалне
Број људи са смртним исходом	нема	нема	1–2	3–5	Више од 5
Тешко повређени Тешко отровани (интоксиковани)	нема	1–2	3–6	7–10	Више од 10
Лакше повређени Лака тровања	нема	1–5	6–15	16–30	Више од 30
Мртве животиње	≤0.5t	0.5–5 t	5–10 t	10–30 t	Више од 30 t
Контаминирано земљиште	≤0.1ha	0.1–1 ha	1–10 ha	10–30 ha	Више од 30 ha
Материјална штета у хиљадама динара	≤100	100 – 1000	1000 – 10000	10000 – 100000	Већа од 100 000

Ризик од удеса процењује се на основу вероватноће настанка удеса и могућих последица. Ризик од хемијског удеса изражава се као: занемарљив, мали, средњи, велики и веома велики ризик, према критеријумима приказаним у табели 3.13.

Ризик је прихватљив ако је процењен као: занемарљив ризик, мали ризик, средњи ризик и велики ризик. Није прихватљив ако је процењен као веома велики ризик („Сл. гласник РС“, бр. 41/2010).

Уколико ризик није прихватљив, функционисање постројења са овим нивоом ризика није прихватљиво, и оператер постројења обавезан је да приступи увођењу додатних техничко-технолошких и других мера заштите на објектима, технолошком процесу, опреми, као и у организацији система безбедности и рада, како би га свео у границе прихватљивости. Додатне мере заштите морају бити дефинисане и пројектоване изменама и допунама техничке документације предметног постројења и уграђене у План заштите од удеса. На основу дефинисаних и пројектованих додатних мера потребно је извршити поновну процену ризика од хемијског удеса.

Табела 3.13. Критеријуми за процену ризика

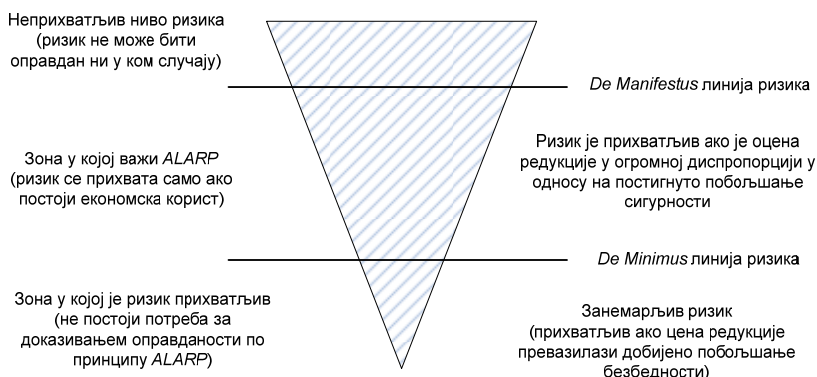
Вероватноћа настанка удеса	Последице				
	Малог значаја	Значајне	Озбиљне	Велике	Катастрофалне
Мала	Занемарљив ризик	Мали ризик	Средњи ризик	Велики ризик	Веома велики ризик
Средња	Мали ризик	Средњи ризик	Велики ризик	Веома велики ризик	Веома велики ризик
Велика	Средњи ризик	Велики ризик	Веома велики ризик	Веома велики ризик	Веома велики ризик

3.5 Вредновање ризика

Вредновање ризика подразумева поређење нивоа ризика утврђеног у процесу анализе са критеријумима ризика дефинисаним у поступку утврђивања контекста управљања ризиком, како би се утврдио значај ризика. Ако процењени ризик задовољава утврђене критеријуме, сматра се прихватљивим и не захтева додатне опције контроле. У супротном, неопходно је утврдити листу приоритета ризика, као и начине поступања са овим ризицима (третман, руковање, решавање ризика).

Коришћење квантитативних оцена ризика у пракси захтева класификацију ризика на нивое, с обзиром на значај за човека и животну средину. Основни проблем који се овде јавља јесте одлучивање о прихватљивости ризика. Одлука о томе који се ризик може сматрати прихватљивим има пре свега социјално-политички карактер и често се одређује економским могућностима државе (Меньшиков, Швыряев, 2003).

Постоје многе методе о томе који се ризик може сматрати прихватљивим а који не. Филозофија која се најчешће данас користи представља комбинацију више теорија и односи се на то како максимизовати очекивану добит од инвестиције, а притом не изложити никога, ни људе, ни околну становништво, прекомерном порасту ризика. Ова метода проучавана је од стране Британске владине агенције (*Health and Safety Executive – HSE*), а позната је као *ALARP (As Low as Reasonably Practicable – ALARP)* (Слика 3.5).



Слика 3.5. Процена ризика по ALARP принципу (Стамболић, 2005)

Према *ALARP* методи постоји ниво ризика који је у свим случајевима неприхватљив. Линија која раздваја подручје неприхватљивих ризика и условно прихватљивих назива се *De Manifesto* линија. Испод подручја неприхватљивог ризика налази се зона условно прихватљивог ризика, тј. *ALARP* подручје. У тој зони ризици су прихватљиви ако је цена редукције у великој диспропорцији у односу на сигурност која се њеном применом добија. Испод ове зоне налази се зона широко прихватљивог ризика која је одвојена од *ALARP* зоне линијом *De Minimus*. Како је у овом подручју ризик занемарљив, није потребно вршити анализе да би се проверила оправданост редукције. При процени прихватљивости ризика засноване на финансијским критеријумима врши се израда експлицитне анализе трошкова редукције ризика, која је од кључне важности да би једна компанија одлучила о реализацији таквог пројекта. Према *ALARP* принципу постоји област у којој је редукција ризика економски оправдана, а која је одређена само разумним расуђивањем. Одређивање економске оправданости редукције ризика врши се израчунавањем односа добитка (однос умањења губитка) и трошкова финансијских показатеља. Ако је овај однос већи од јединице, пројекат је економски оправдан. Добити једног пројекта редукције ризика у општем случају односе се на смањивање вероватноћа следећих тешких последица: оштећења и уништења имовине, губитака у производњи услед прекида рада погона, загађења животне средине, повреда и смрти запослених и сл. (Стамболић, 2005).

Привредни субјекти имају моралну, законску и финансијску обавезу да ограниче ризик у својим производним погонима. Без обзира ко је потенцијално угрожен тим ризиком, запослени у фирми или околно становништво, они не смеју бити изложени већем ризику од онога који је морално прихватљив. Поред ризика којим су угрожени људи, фирме морају узети у

обзир и ризике угрожавања животне средине, као и ризике угрожавања имовине и пословања. У неким земљама нивои прихватљивог ризика законом су прописани. Тако је у Холандији 1985. концепција о нивоу прихватљивости ризика била законски регулисана. Према закону недозвољени ризик (ризик за насеља изражен вероватноћом смртности по години) повезан са техносфером је $\geq 10^{-5}$, а прихватљив ризик $< 10^{-8}$. Када су у питању појединачни објекти, прихвата се индивидуални ризик у опсегу 10^{-6} – 10^{-8} зависно од економских и социјалних услова. У неким државама постоје државни критеријуми за прихватљивост ризика. Ти критеријуми односе се на индивидуални ризик, социјални ризик или комбинације ова два ризика. Земље које имају државним прописима задате смернице за контролу ризика су Велика Британија, Холандија, Хонг Конг, Сингапур и више административних подручја у Аустралији и Швајцарској (Табела 3.14).

Табела 3.14. Државне смернице за контролу ризика (Стамболић, 2005)

Државна регулатива	Велика Британија	Хонг Конг	Холандија	Аустралија (Нови Јужни Велс)
Индивидуални ризик <i>De Minimus</i> (за запослене)	10^{-5}	не постоји	не постоји	не постоји
Индивидуални ризик <i>De Minimus</i> (за становништво)	10^{-6}	не постоји	10^{-8}	не постоји
Индивидуални ризик <i>De Manifestus</i> (за запослене)	10^{-3}	не постоји	не постоји	не постоји
Индивидуални ризик <i>De Manifestus</i> (за становништво)	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}
Социјални ризик (мин.10 особа)	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	не постоји

Када се ради о ризицима повезаним с техносфером и ризицима свакодневног живота, треба имати у виду да неке ризике друштво прихвата добровољно (нпр. ризици саобраћаја, пушења, ратова), а друге не. Питање перцепције ризика битно зависи од реалне, очекиване користи. С друге стране, одлука о томе који ће се нивои ризика прихватити за управљање такође зависи од економске могућности државе и очекиваног односа улагања и добити. Категоризација прихватљивих ризика резултат је експертске процене, сагласно оквиру, садржају и циљевима истраживања.

3.6 Третман ризика

Категоризација ризика основ је за избор опција третирања ризика. *Третман ризика* је процес примене мера којима се утиче на величину ризика. Основне опције третирања ризика су: избегавање ризика, задржавање ризика, пренос ризика и смањивање ризика.

Избегавање ризика постиже се неангажовањем у активностима које могу довести до ризика (ако неко жели да избегне ризик везан за власништво имовине, неће куповати имовину). По својој филозофији, избегавање ризика је негативан приступ решавања ризика.

Задржавање ризика постоји када се не предузимају никакве активности у вези са ризиком. Задржавање ризика може бити свесно или несвесно. По правилу, задржавају се ризици који резултују малим губицима, као и ризици за које не постоје боље алтернативе.

Пренос ризика подразумева расподелу или преношење ризика на друге организације, агенције или друштво. Осигурање је начин преношења ризика.

Смањивање ризика везано је за активности превенције. Наиме, многи ризици се могу смањити, а неки и избећи, применом превентивних мера (организационих, техничких, медицинских, правних) којима се смањују вероватноћа појаве нежељених догађаја и/или потенцијални губици. Ово је најзахтевнији начин третмана ризика.

Избор опције за третман ризика зависи од односа између трошкова примене конкретне опције и добити која из тога произилази. Међутим, некада је за остваривање веће добити потребна комбинација опција (нпр. смањивање подржано осигурањем).

3.7 Мониторинг ризика

Праћење, контрола и побољшање квалитета и управљање ризиком система у великој мери зависе од мониторинга система.

Мониторинг ризика јесте континуирани процес праћења и процене параметара процеса управљања ризиком путем мерења и извештавања, као и путем повратне везе, којом се иницира репланирање, реоцењивање и/или реакција руководства (SEF, 2001). Мониторингом се правовремено могу регистровати промене параметара, проценити трендови промена и њихов утицај на ризик и о томе известити одговорна лица или тимови. На бази мониторингом добијених информација доносе се одговарајуће одлуке о неопходним активностима управљања ризиком.

Мониторинг може бити и извор података за анализу и оцену резултата процеса управљања ризиком. Уколико се утврди да је ниво ризика у

складу за дефинисаним критеријумима, процес управљања ризиком наставља се без измена. У супротном, неопходно је предузети додатне мере за смањивање ризика или се чак одређи имплементираних решења као не-ефективних и/или неефикасних у конкретном случају управљања ризиком.

Поред мониторинга, *комуникација и консултовање* представљају значајан аспект процеса управљања ризиком, јер обезбеђују свим субјектима укљученим у овај процес разумевање одлука и поступака у вези са ризиком. Унутрашња и спољашња комуникација такође доприноси да се различите перцепције ризика идентификују и интегришу у процес одлучивања (Савић, Станковић, 2012).

Комуникација и консултовање треба да чине саставни део свих сегмената процеса управљања ризиком како би се правилно дефинисао контекст управљања, како би се осигурало да сви ризици буду идентификовани, да би се повезала различита стручна подручја у анализи ризика, исправно дефинисали приоритети, свеобухватно размотриле опције за третман ризика и доносиле квалитетне одлуке.

3.8 Документовање ризика

Процес управљања ризиком треба да буде документован. *Документација*, између осталог, треба да садржи: сврху и циљеве управљања ризиком, критеријуме ризика, изворе и врсту података, методе, технике и резултате идентификовања и анализе ризика, разлоге и резултате одлука, критеријуме успеха, начине комуникације, извештаје и евиденције у вези са ризиком. Значи, документација садржи адекватну базу података путем које је оцењивање ризика разумљиво, проверљиво и применљиво. Основни документи управљања ризиком треба да буду планови и програми управљања ризиком.



4. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

- 4.1. Анализа енергије
- 4.2. Анализа опасности и оперативности
- 4.3. Анализа начина и ефеката
(и критичности/детекције) отказа
- 4.4. Анализа стабла отказа
- 4.5. Анализа стабла догађаја

4. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

Примена и избор различитих метода за процену ризика техничких система углавном зависи од промовисаних циљева за процену вероватноће и расположивих података за анализу. У бројним литературним подацима (Harms-Ringdahl, 2001; Bahr, 1997; CCPS, 2002; Rasche, 2001; Hignett, 1996; Stojiljkovic & Grozdanovic, 2005) представљене су методе за процену ризика техничких система и предлози за њихову примену.

Анализа релевантне литературе показује да следеће методе имају велику примену у процени ризика техничких система:

- анализа енергије,
- анализа опасности и операбилности,
- анализа начина и ефеката (и критичности/детекције) отказа,
- анализа стабла отказа,
- анализа стабла догађаја.

Примена ових метода, у комбинацији са методама за процену људске поузданости, за анализу акцидентата и управљачке делатности (менаџмент), омогућава валидну процену ризика комплексних система.

4.1 Анализа енергије

Анализа енергије (*Energy Analysis – EA*) једна је од најједноставнијих метода за процену ризика техничких система. Сврха ове методе јесте да пружи целокупну слику свих енергија које имају потенцијал да проузрокују штету у радној и животној средини. Кључни део енергетског модела су системи заштите, тј. баријере (баријере постоје у систему или се могу накнадно поставити), које имају задатак да спрече енергију да дође у контакт са особом и изазове повреду, и/или оштећења материјалних и природних добра (Hollnagel, 1999).

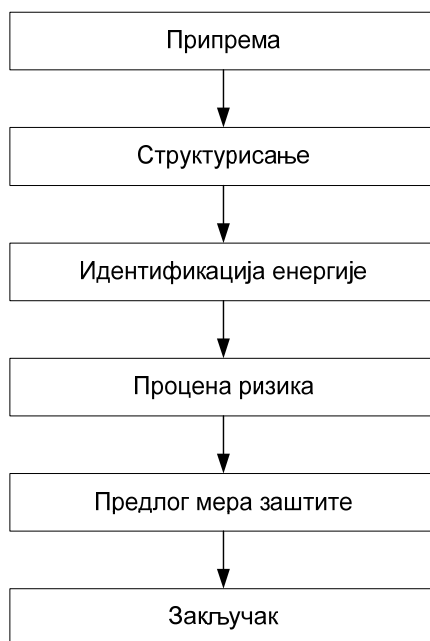
4.1.1 Подручје примене, тим, ресурси

Анализа енергије служи за проучавање система у фази његове експлоатације, а са циљем идентификације свих видова енергије у систему које могу да доведу до акцидента. Анализа енергије обично укључује кора-

ке у којима су генерисани предлози мера заштите ради умањења штете и повећања безбедности система. Метода се може примењивати на мање системе, поједине операције, а може обухватити и цео систем. Принцип је исти, али приступ структурисања и идентификације енергије варира према типу система. Анализа се може спровести од стране мултидисциплинарног тима са проценитељем, а време и трошкови су директно повезани са величином и комплексношћу система који се анализира.

4.1.2 Методологија

Процедура за анализу енергије састоји се од следећих корака (Слика 4.1): припрема, структурисање, идентификација енергије, процена ризика, предлог мера заштите и закључак анализе.



Слика 4.1. Процедура за анализу енергије (Harms-Ringdahl, 2001)

Припрема подразумева дефинисање граница анализираног система/објекта, који може бити једна машина, радни простор или читава фабрика. Основни задатак је прикупљање информација о објекту који се разматра. За анализу енергије то могу бити технички цртежи и фотографије. Ако је објекат већ изграђен, може се једноставно извршити увиђај на лицу места, разгледањем.

Структурисање – Сврха фазе структурисања јесте подела система на одговарајуће делове, од којих се сваки анализира понаособ. Структурисање се изводи у сагласности са физичким распоредом објекта који се анализира. Фабрика или опрема дели се на делове који представљају просторне сегменте. Ако се анализа спроводи над линијом производње, погодно је кренути са анализом од једног краја линије до другог. Након структурисања треба извршити проверу, да би се утврдило да ли је нека од компоненти изостављена. Ако није покривено цело подручје које се анализира, потребно је поновити анализу и размотрити све делове система. Некада је добро додати део којим би се обухватило све што се налази изван области у којој је лоциран анализирани објекат.

Идентификација енергије подразумева да се за сваки део система идентификују сви извори или складишта енергије. Један од проблема у анализи енергије јесте детерминисање најнижег нивоа енергије. Одлука о најнижем нивоу енергије мора се донети у зависности од циља и дубине анализе. Но, у сваком случају, енергија се не сме искључити због тога што се чини немогућим да ће јој особа, материјална или природна добра бити изложени. У поступку идентификације може се користити чек-листа приказана у табели 4.1.

За већину категорија енергије (Табела 4.1) очигледна је веза између енергије и повреде, али неке врсте енергије захтевају додатна објашњења. Хемијски утицај се третира као енергија која може довести до повреде. У неким случајевима могуће је замислити тај утицај у смислу хемикалије која има микроефекат на људску ћелију. Категорија „разно“ укључена је да би омогућила додатну проверу да ли је фокус анализе превише сужен у техничком смислу. Додатна провера се спроводи да би се истражила кретања људи која могу представљати ризик од падања, спотицања, сударања са истуреним објектима итд. Статичко наелектрисање може помоћи у идентификовању радних ситуација где особа делује у лошим радним условима. Оштра ивица и опасна тачка су подкатегорије које се заправо не односе на облике енергије, али се могу посматрати као концентрисане енергије када су особа или део опреме у покрету. Затворен простор може се користити као додатна провера. Могу се јавити прекомерни притисак, токсични гасови итд., који нису опасни у уобичајеним ситуацијама, али могу бити у одређеним околностима. Листа садржи неколико намерних недоследности. Неке категорије се не односе на енергију у физичком смислу, али су дате тако јер представљају извор опасности. На пример „урушавање конструкције“ може да се примењује када се анализира објекат велике тежине (као што је резервоар пун течности). Енергија која се разматра је потенцијална енергија резервоара. Категорија „урушавање конструкције“ скреће пажњу на велике делове опреме и могућност да се преврну. Слично томе, подкатегорија руковање, подизање итд. користи се за покривање

потенцијалне и кинетичке енергије објеката којима се манипулише (Harms-Ringdahl, 1987). Дакле, идеја је да се проблеми који су у вези са руковањем материјалима третирају у фази идентификације енергије.

Табела 4.1. Чек-листа за анализу енергије (модификовано према: Harms-Ringdahl, 2001)

Потенцијална енергија Особа на висини Објекат на висини Урушавање конструкције Руковање, подизање Кинетичка енергија Померање делова машине Летећи објекти Возило Ротациони покрети Делови машине Пренос енергије Ваљак/цилиндар Ускладиштени притисак Гас Пара Течност Разлика притиска Калем Напрегнути материјали Електрична енергија Електрични напон Кондензатор Батерија Струја (индуковано складиштење и грејање) Магнетно поље	Грејање и хлађење Топли или хладни објекти Течне супстанце Пара или гас Хемијске реакције Кондензовани гас Пожар и експлозија Запаљиве супстанце Експлозивни материјал, пара или гас, прах Хемијска реакција (нпр. егзотермне комбинације, нечистоће) Хемијски утицај Отровно Корозивно Загушљиво Заразно Зрачење Акустично Електромагнетно Светлосно, укључујући инфра и ултра Јонизујуће Разно Људско кретање Статичко наелектрисање оператера Оштре ивице Опасне тачке (нпр. између ротирајућих ваљака) Затворен простор
--	---

Процена ризика може се вршити на више начина, јер метода анализе енергије не одређује каква ће се процена извршити, а свака енергија може имати различите последице. У табели 4.2. дат је пример скале за процену ризика у анализи енергије.

4. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

Табела 4.2. Пример скале за процену ризика

Оцена	Опис	Коментар
0	Занемарљив ризик	Енергија не може изазвати никакве значајније последице
1	Прихватљив ризик, нису потребне додатне мере	Енергија може изазвати последице, али су баријере адекватне
2	Препоручују се додатне заштитне мере	Баријере се морају побољшати
3	Неопходне заштитне мере	Озбиљне последице и неадекватне баријере

Предлог мера заштите – У овој фази сачињава се студија о енергијама за које су неопходне мере заштите (оцена 2 или 3 у табели 4.2). На почетку је важно генерисати и одабрати праве идеје. Добро је када постоје предлози различитих решења, с обзиром да је неизвесно хоће ли прво решење бити и најефикасније. У табели 4.3. приказане су неке мере заштите и примери алтернативних решења.

Табела 4.3. Мере заштите и одговарајућа алтернативна решења
(модификовано према: Harms-Ringdahl, 2001)

Мере заштите	Пример решења
Енергија	
1. Елиминисање енергије	Рад на земљи уместо на висини Спуштање покретне траке на приземни ниво Уклањање опасних хемикалија
2. Ограничење енергије	Манипулисање лакшим објектима Мањи резервоари за супстанце Редуковање брзине
3. Алтернативна решења за повећање безбедности	Мање опасне хемикалије Учвршћивање опреме која се подиже Опрема која захтева мање одржавање
4. Превентива (елиминисање екстремних вредности енергија)	Контрола опреме Инсталације за праћење граничних вредности Вентил за смањење притиска
5. Спречавање ослобађања енергије	Резервоар довољне издржљивости Заштитне ограде на покретним платформама
6. Редукција (контрола) енергије	Сигурносни вентил Испуштање гасова Кочница на ротирајућим цилиндрима

Табела 4.3. (Наставак)

Мере заштите	Пример решења
Раздвајање	
7. Раздвајање објеката од протока енергије	
а) у простору	Једносмерни саобраћај Раздвајање пешачког и моторног саобраћаја Раздвајање опасних подручја
б) у времену	Распоред опасних активности изван регуларног радног времена
8. Обезбеђивање извора енергије	Заштита за машине Електрична изолација Топлотна изолација
Заштита објеката	
9. Опрема и средства за личну заштиту	Заштитна обућа, шлемови...
10. Елиминисање последица у случају акцидента	Инсталације за спречавање протока енергије Заустављање погона у случају опасности Тушеви Специјализована опрема за ослобађање особе (уколико се заглави) и сл.

Закључак – Анализа се закључује сачињавањем извештаја, који сумира анализу и њене резултате. Извештај може да садржи описе граница и претпоставке анализе, најважније енергије, и предлоге мера заштите. Најбоље је комплетно спровести једну фазу анализе енергије пре него што се пређе на следећу. Као додатак анализи енергије може се користити посебно обликован радни образац који је приказан у табели 4.4.

Табела 4.4. Радни образац за анализу енергије

Део	Енергија	Опасност/Коментар	Оцена	Предложене мере

4.1.3 Предности и ограничења

Анализа енергије има за циљ идентификацију типа „енергије“ у истраживаном систему. То је једноставна метода која даје преглед свих енергија у систему. Кључни сегмент ове методе јесу баријере, као превентивне мере које се предузимају са циљем смањења повреда запослених и/или оштећења материјалних и природних добара. Главни недостатак

методе је то што је ограничена само на анализу енергије и што за процену ризика нема унифицирану скалу, тј. не одређује каква ће се процена извршити, а сваки облик енергије може имати различите последице.

4.2 Анализа опасности и операбилности

Технике идентификовања опасности, тј. утврђивања које су опасности присутне у постројењима или процесу и технике процењивања тих опасности често се мешају. За идентификовање опасности користе се контролне листе, али њихов недостатак је у томе што ставке којих нема на листи нису предмет разматрања и свест о њима не постоји. Из тог разлога процесне индустрије су се определиле за креативнију и флексибилнију технику познату као „Анализа опасности и операбилности“ (*HAZard and OPerability analysis – HAZOP*) (Klatz, 1983, 1986). Њена компјутеризована верзија је *CHAZOP (Control HAZards and Operability Analysis or Computer HAZard and OPerability analysis – CHAZOP)*.

Анализа опасности и операбилности развијена је раних седамдесетих година прошлог века (1974. године издат је први штампани документ) за потребе хемијске, процесне и енергетске индустрије, где су укључени различити облици флуида и њихово кретање кроз процесе. Назив *HAZOP* уведен је 1983. године. Временом се, због једноставности и практичности методе, област примене проширила на готово све области људских активности. Иако је првобитно развијена ради предвиђања опасности и проблема у оперативности код нових и/или нестандартних технологија где постоји ограничење у претходним искуствима, показала се као веома ефикасна за употребу у сваком стадијуму животног циклуса система (MISHC, 2003).

4.2.1 Врсте HAZOP студија

Постоји прелиминарна *HAZOP* студија и главна *HAZOP* студија (Стамболић, 2005).

ПРЕЛИМИНАРНА HAZOP СТУДИЈА је студија која се ради у раној фази пројекта, са циљем идентификације опасности које могу озбиљно утицати на пројектна решења. То значи да је потребно још у фази дефинисања пројекта извршити анализу и израдити студију опасности, са циљем да се идентификују главне опасности и одреди где се могу очекивати проблеми. При изради ове студије проверавају се општи параметри (сировине, производи, технолошке операције, отпадне материје). Провера се врши према чек-листи потенцијалних опасности.

Примери чек-листи могу се односити на пожар, експлозију, детонацију, токсичност, корозију, радијацију, буку, вибрације, штетне материје,

повреде и погибије од електричне струје, гушење услед недостатка кисеоника, механичка оштећења и сл.

Главна HAZOP студија је студија која се ради у стадијуму „замрзнутог“ пројекта. Тада су главне опасности већ откривене. Студија анализира пројектна решења, са циљем да открије могућа одступања од намере, као и потенцијалне опасности и оперативне тешкоће. Поступак се делимично разликује за континуалне и шаржне процесе, па је добро сваки од две врсте поступка описати засебно.

За континуалне процесе радни документ на основу кога се врши анализа је шема процеса. Поступак подразумева детаљну анализу сваког система/подсистема (нпр. цевовода), проучавајући утицај свих процесних параметара (нпр. проток, притисак, температура, концентрација), уз помоћ чек-листе или водећих речи. Анализирају се могући узроци и последице претпостављених девијација. Потреба за предузимањем акција зависи од евалуације вероватноће догађаја и од озбиљности последица. Предузета акција може бити и само извештавање заинтересованих страна, специфицирање појединих пројектних измена или приступање квантификацији опасности.

Анализа процеса концентрише се више на системе/подсистеме (нпр. цевоводе) који повезују јединице опреме него на саме јединице опреме. Проблем у јединици опреме најчешће се овде појављује као узрок или последица девијације настале у цевоводу прикљученом на ту опрему. При томе бележе се само они случајеви кад је нека акција потребна, али је од суштинске важности да ти проблеми буду регистровани и прослеђени како би се имплементирале потребне мере заштите.

Код шаржног постројења радни документи су поред процесне шеме и радне процедуре. У радне процедуре спадају табеле са редоследом операција, *bar charts* дијаграми са приказом стања опреме у току циклуса, дијаграми тока операција и сл.

4.2.2 Типови HAZOP студија

У основи, постоје четири типа студије опасности и операбилности:

- *Процесна студија опасности и операбилности (процесни HAZOP)*, која представља изворну намену ове студије, концентрише се више на процесе који повезују јединице опреме него на саму опрему. Проблем у јединици опреме најчешће се овде појављује као узрок или последица одступања насталог у процесу.
- *Студија опасности и операбилности за испитивање људских грешака (Human HAZOP)* специјални је тип HAZOP, који је прилагођен

испитивању људских грешака и представља облик анализе задатака (послова, активности људи).

- *Процедурална студија опасности и операбилности (процедурални HAZOP)*, која је развијена ради ревизије процедура и делова операција (нпр. *Safe Operation Study*). Фокус ове методе лежи и на људским грешкама и на отказима техничког система. Пружа нешто флексибилнији приступ у погледу коришћења водећих речи.
- *Софтверски HAZOP*, који идентификује могуће грешке у току развоја софтвера.

4.2.3 Значај HAZOP

Анализа опасности и операбилности представља квалитативну систематску методу за испитивање било планираних или постојећих процеса или операција, са циљем идентификовања проблема који могу настати током рада, односно са циљем побољшања безбедности и поузданости датог система. Она омогућава да се:

- идентификују потенцијални ризици у систему,
- идентификују потенцијални проблеми у вођењу система, а посебно узроци операбилних неусаглашености и одступања у производњи, што за последицу има неусаглашен производ (под операбилношћу се подразумева способност одржања система у стању функционисања и оперативних услова).

Значи, *HAZOP* суштински повезује кораке за идентификацију ризика и корективне мере, што у пракси даје врло позитивне резултате. Анализа опасности и операбилности представља шансу да се исправе све аномалије функционисања система пре него што потребне промене постану превише скупе. Она се може посматрати као део ширег процеса управљања ризиком.

Непосредна корист од израде *HAZOP* студија јесте модификација пројектне документације пре почетка израде система, чиме се постижу уштеде у радовима и материјалу у односу на накнадне модификације. Модификације се врше и у софтверу управљачког и заштитног система. С обзиром да модификације понекад стварају нове опасности, *HAZOP* студија се мора поновити и за модификовани пројекат.

4.2.4 Подручје примене HAZOP

Анализу је могуће применити:

- у фази дизајна;
- у фази детаљног пројектовања;

- у фази пробног рада или
- код нормалног рада и одржавања система.

4.2.5 HAZOP тим

Студију спроводи мултидисциплинарни тим од минимум четири до максимум девет чланова. Одлучујући утицај на квалитет анализе има знање и искуство лидера и правилан избор тима. Тим лидер треба да обезбеди квалификоване и едуковане чланове тима по појединим областима.

Анализу покреће особа која је одговорна за пројекат (*Project manager – PM*). Пројект менаџер одређује када и за коју сврху се студија ради, позива тим лидера и обезбеђује услове за извођење студије. Обим и циљеви зависе једни од других и не могу се независно дефинисати.

Квалификације чланова тима треба да укључују неопходне дисциплине које им омогућавају да разумеју потенцијалне ризике у процесима који се анализирају, затим индустријске стандарде и методе које се користе за контролу тих ризика, као и законску регулативу. Тим мора да има добро предзнање о акцидентима који су се раније дешавали у сличним системима и о лекцијама које су из тога научене.

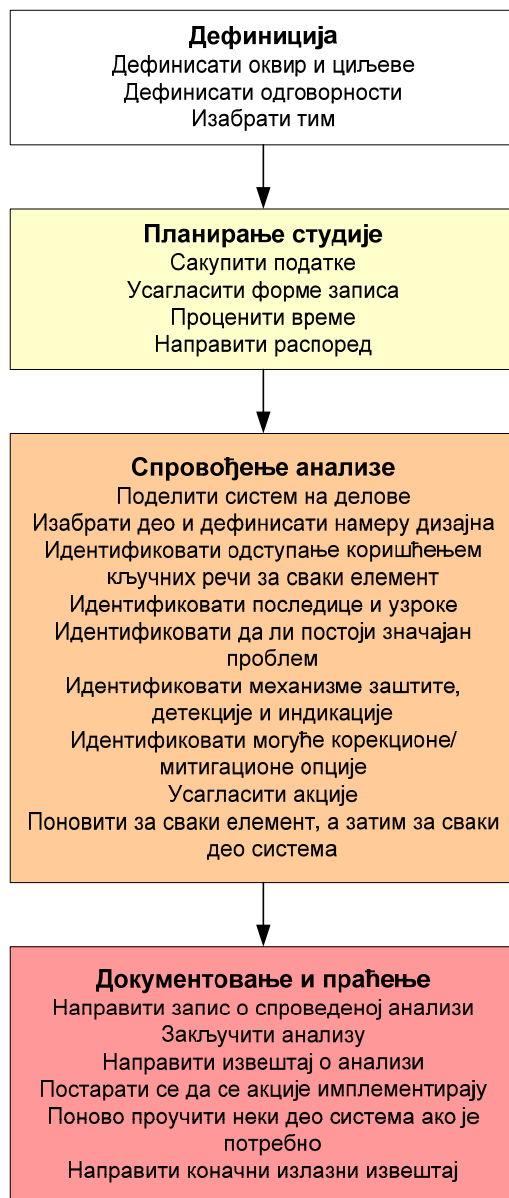
4.2.6 HAZOP ресурси

Тип *HAZOP* резултата је квалитативан, а време и трошкови су директно повезани са величином и комплексношћу система који се анализира. Уопштено, тим мора утрошити око три сата за сваки већи део техничке опреме. Ако је анализирани систем сличан претходно истраживаном, време је обично краће. Мора се предвидети додатно време за планирање, координацију тима и документацију. Ово додатно време може бити два до три пута дужи од времена процењеног за сам рад тима.

4.2.7 Методологија

Процедура спровођења *HAZOP* студије састоји се од пет основних корака (Слика 4.2):

- дефинисање система, контекста и циљева;
- планирање студије;
- спровођење анализе;
- документовање и праћење.



Слика 4.2. Процедура спровођења HAZOP (BS IEC 61882:2001)

Потребно је јасно дефинисати границе система и односе са другим системима и околином, као и битне проблеме (тима ће се избећи почетно лутање тима и трошење времена на споредне проблеме). Такође, потребно

је дефинисати циљеве анализе и поделити одговорности за поједине целине, а затим дефинисати како ће се користити резултати анализе. Осим тога треба одредити и фазу животног циклуса коју ће анализа обухватити, затим особе, односно имовину која је изложена ризику и њену околину, проблеме у операбилности који могу утицати на квалитет производа, као и стандарде које треба применити на систем и по питању операбилности и по питању безбедности.

Анализа опасности и операбилности захтева детаљни опис процеса, процедуре, дијаграме протока, добро познавање процеса, опреме и уређаја. Неопходни подаци за *HAZOP* анализу:

- за цео систем: захтеви пројекта, дијаграми токова, функционални блок дијаграми, дијаграми за контролу, дијаграми електричних кола, захтеви одржавања;
- за ток процеса: дијаграми/распоред цевовода, спецификација мерне опреме, спецификација материјала, стандарди;
- за програмабилне електронске системе: дијаграми тока података, дијаграми прелаза стања, временски дијаграми, логички дијаграми;
- остале информације: обим истраживања и интерфејси, еколошки услови у којима систем ради, кадровска структура, вештине и искуство запослених, радне процедуре и упутства, искуства о опасностима у сличним системима.

Систем се дели на подсистеме, чија величина зависи од комплексности система и величине потенцијалног ризика. Притом је потребно, колико год је то могуће, држати се природне поделе коју је одредио пројекат. Неопходно је дефинисати и који елементи припадају ком подсистему, као и њихове карактеристике и количине – нпр. материјал, температура, притисак, проток и сл.

За идентификовање проблема користе се тзв. смернице, водеће речи, односно показивачи.

Водеће речи служе да правилно усмере размишљање ради лакшег откривања одступања. Те речи морају бити изабране пре него што почне анализа. Такође, морају бити пажљиво одабране да воде дискусију у правом смеру и да је ограниче на специфичне проблеме. Избор водећих речи треба да буде такав да се стимулише инвентивно размишљање и омогући спровођење комплетне и свеобухватне анализе. У стандарду *IEC61882* препоручено је седам основних водећих речи за примену у *HAZOP* (Табела 4.5).

Табела 4.5. Основне водеће речи и њихово генеричко значење (BS IEC 61882:2001)

Водеће речи	Значење
НЕ или НЕМА	Комплетна негација намере дизајна
ВИШЕ	Количина је повећана
МАЊЕ	Количина је смањена
ИСТО КАО	Квалитативна модификација/повећање
ДЕО ОД	Квалитативна модификација/смањење
ОБРНУТО	Логична супротност од намере дизајна
НЕШТО ДРУГО	Комплетна замена

Осим основних, употребљавају се и додатне, „допунске водеће речи“, које су потребне да се одреди временско одвијање процеса (Табела 4.6). Водеће речи могу се применити на услове процеса, активности, супстанце, време, место итд.

Табела 4.6. Водеће речи везане за временско одвијање активности

Водеће речи	Значење
РАНО	Везано за сатницу (термин)
КАСНО	Везано за сатницу (термин)
ПРЕ	Везано за налог или секвенцу (термин)
ПОСЛЕ	Везано за налог или секвенцу (термин)

Потребно је напоменути да водеће речи могу бити потпуно другачије интерпретиране у анализи неког другог система (Табела 4.7). Некада се може десити да примена појединих водећих речи не даје резултат који има смисла. Исто тако, некада ће се добити више различитих интерпретација, а све их треба анализирати и забележити.

Табела 4.7. Процесна одступања и примена водећих речи

Врста одступања	Водећа реч	Пример за примену у енергетици и процесној индустрији	Пример за примену у системима аутоматског управљања
Негативно	НЕ	Није постигнуто оно што се намеравало	Нема података или сигнал не пролази
Промена количине	ВИШЕ МАЊЕ	Количина је већа (нпр. виша температура) Количина је мања (нпр. нижа температура)	Подаци пролазе у већој количини од потребне Подаци пролазе у количини мањој од потребне
Промена количине	ИСТО КАО ДЕО ОД	Присутне нечистоће Истовремено се дешава нека друга операција/корак Само део од потребног је постигнут (нпр. флуид не долази у количини у којој треба)	Појављују се неки додатни или лажни сигнали Подаци или сигнали нису комплетни
Замена	ПОВРАТНО НИЈЕ ТО НЕГО ЈЕ	Покрива повратни ток у цевоводу и повратне хемијске реакције Резултати су другачији од оног што је требало постићи (нпр. додат погрешан материјал)	Нормално није применљиво Подаци или контролни сигнали су нетачни
Време	РАНИЈЕ КАСНИЈЕ	Нешто се десило раније него што је требало везано за сатницу (нпр. хлађење, филтрирање...) Нешто се десило касније него што је требало везано за сатницу (нпр. хлађење)	Сигнали долазе сувише рано у односу на задато време Сигнали долазе сувише касно у односу на задато време
Налог или секвенца у процесу	ПРЕ ПОСЛЕ	Нешто се десило прерано као секвенца (нпр. мешање или грејање) Нешто се десило после као секвенца (нпр. мешање или грејање)	Сигнали долазе много раније него што то захтева секвенца Сигнали долазе много касније него што то захтева секвенца

4. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

У табели 4.8. приказане су водеће речи за процесну, хемијску индустрију и производњу енергије (BS IEC 61882:2001).

Табела 4.8. Основне генеричке HAZOP водеће речи за процесну, хемијску индустрију и производњу енергије

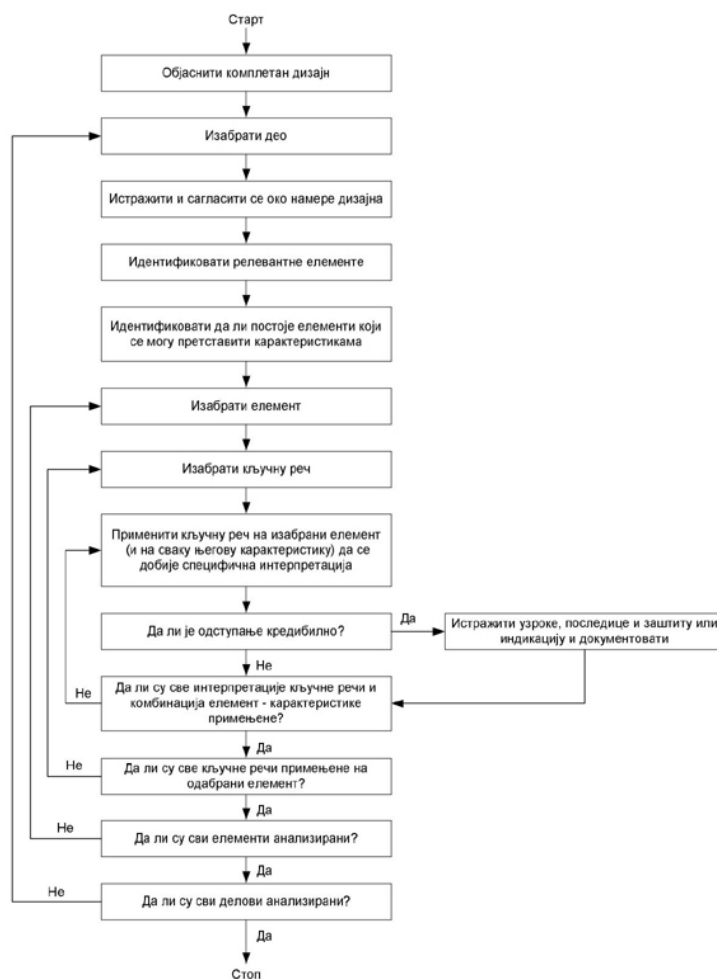
NO FLOW	НЕМА ПРОТОКА
REVERSE FLOW	ПОВРАТНИ ТОК
MORE FLOW	ВЕЋИ ПРОТОК
LESS FLOW	МАЊИ ПРОТОК
MORE LEVEL	ВИШИ НИВО
LESS LEVEL	НИЖИ НИВО
MORE PRESSURE	ВЕЋИ ПРИТИСАК
LESS PRESSURE	МАЊИ ПРИТИСАК
MORE TEMPERATURE	ВЕЋА ТЕМПЕРАТУРА
LESS TEMPERATURE	МАЊА ТЕМПЕРАТУРА
MORE VISCOSITY	ВЕЋИ ВИСКОЗИТЕТ
LESS VISCOSITY	МАЊИ ВИСКОЗИТЕТ
COMPOSITION CHANGE	ПРОМЕНА САСТАВА
CONTAMINATION	КОНТАМИНАЦИЈА
RELIEF	РАСТЕРЕЋЕЊЕ
INSTRUMENTATION SAMPLING	ИНСТРУМЕНТАЛНО УЗОРКОВАЊЕ
CORROSION/EROSION	КОРОЗИЈА/ЕРОЗИЈА
SERVICE FAILURE	ОТКАЗАЛО ИЗВРШЕЊЕ
ABNORMAL OPERATION	АБНОРМАЛНА ОПЕРАЦИЈА
MAINTANANCE	ОДРЖАВАЊЕ
IGNITION	УКЉУЧИВАЊЕ (ПАЉЕЊЕ)
SPARE EQUIPMENT	РЕЗЕРВНА ОПРЕМА
SAFETY	БЕЗБЕДНОСТ

Анализа опасности и операбилности се спроводи коришћењем брејнсторминг технике. *Брејнсторминг (brainstorming)* може се дефинисати као групна креативна техника осмишљена да генерише велики број решења за дати проблем. Брејнсторминг најбоље функционише са минималним језгром тима од четири члана (не рачунајући тим лидера и записничара), који имају одговарајуће искуство на објекту за који се ради студија. Улоге чланова тима, одговорности и овлашћења морају бити јасно дефинисани пре почетка рада.

Лидер има одговорност да на основу свог искуства предложи водеће речи које ће дати ефикасне резултате. Тим потом утврђује могући узрок одступања (нпр. грешка у процесу искључује пумпу) и последице (нпр. контаминација производа). Ако су узроци и последице реални и значајни, они се бележе ради предузимања активности, које се врше изван ове сту-

дије. У неким случајевима тим идентификује одступање са реалним узроком, али непознатим последицама (нпр. непозната реакција производа) и препоручује пратеће студије ради утврђивања могућих последица.

Проблем комплетности истраживања лежи у идентификацији кључних параметара на које треба применити водеће речи. Када се ради о нестандартној опреми или о посебним процесима који зависе од људског фактора, потребно је организовати посебан тренинг да би се добио сет одговарајућих водећих речи. Комплетност и прилагођеност водећих речи кључни је фактор у стварању одговарајућег сценарија и основа за успех *HAZOP* анализе (Слика 4.3).



Слика 4.3. Дијаграм тока за *HAZOP* поступак (BS IEC 61882:2001)

Пре него што *HAZOP* тим да препоруке за измене, одлучује се да ли је садашња ситуација прихватљива. Процес доношења одлука често је најтежи зато што нису утврђени критеријуми за оцењивање. Са становишта безбедности поставља се питање да ли ће конкретна последица бити превише озбиљна да бисмо је толерисали, на које се може релативно једноставно одговорити. Међутим, на питање да ли је вероватноћа толико велика да бисмо је толерисали далеко је теже дати одговор. Ово је подручје где стручно лице за безбедност и здравље на раду у предузећу може помоћи тиму да одреди одговарајуће критеријуме.

Да би се добио прави резултат, *HAZOP* мора бити потпуно документиран. Постоје два прихватљива начина евидентирања:

- Водити потпун записник о свему што је речено током примене водених речи на поједине елементе система;
- Забележити само одступања, идентификоване ризике и оперативне проблеме, заједно са препорученим акцијама. У том случају документ је мањи и лакши за каснију обраду, али је мање користан у процесу касније контроле.

Студија опасности и операбилности треба да садржи:

- идентификоване опасности и проблеме оперативности, заједно са детаљима било каквих одредби за њихову детекцију и/или ублажавање;
- препоруке за даља истраживања специфичних аспеката пројектовања коришћењем различитих техника ако је то потребно;
- активности потребне за решавање неизвесности откривених током студије;
- препоруке за ублажавање проблема који су идентификовани на основу сазнања тима;
- белешке које скрећу пажњу на одређене проблеме које треба решити у раду и одржавању;
- листу свих делова узетих у обзир приликом анализе, заједно са образложењем где су све били укључени/искључени;
- списак свих дијаграма, спецификација, листи података, извештаја;
- списак чланова тима за сваку сесију.

Ови резултати ће нормално бити садржани прилично концизно у *HAZOP* радним листовима (Табела 4.9). Табела радног листа треба да садржи позив на број, елемент, кључну реч, одступање, узрок, последице, потребне акције. Такође може да садржи заштитне мере, рангирање ризика и коментаре (BS IEC 61882:2001).

Табела 4.9. Пример HAZOP радног листа

Наслов студије:					Страна:				
Број документа:					Датум:				
HAZOP тим:					Датум састанка:				
Део разматрања:									
Намена:	Материјал:				Активност:				
	Извор:				Одредиште:				
Редни број	Водећа реч	Елемент	Одступање	Могући узрок	Последице	Заштитне мере	Коментари	Неопх. активн.	Предуз. активн.

4.2.8 Предности и ограничења

Предности HAZOP:

- Обезбеђује средства за систематско и темељно испитивање система, процеса или процедура;
- Генерише решења и препоруке за третман ризика;
- Односи се на широк спектар система, процеса и процедура;
- Дозвољава експлицитно разматрање узрока и последица људске грешке;
- Документује процес, тако да је анализа увек проверљива (подложна контроли).

Ограничења HAZOP:

- Захтева добро дефинисање система, процеса, процедура или активности;
- Детаљна анализа може бити веома дуготрајна и стога скупа;
- Може да се фокусира на проналажење детаљних решења уместо на основне претпоставке;
- Дискусија често може бити фокусирана на детаљна питања дизајна, а мање на друга питања;
- Ослања се на стручност пројектанта, који не може бити довољно објективан да тражи грешке у свом пројекту;
- Фокусира се на један догађај, узрочник одступања.

4.3 Анализа начина и ефеката (и критичности/детекције) отказа

Анализа начина и ефеката (последица) отказа (*Failure Modes and Effects Analysis – FMEA*) једна је од познатијих и широко коришћених метода за процену поузданости техничких система. Развијена је за војску САД, војна процедура *MILP-1629* (сада *MIL-STD-1629A*) названа „*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*“. Првобитно датира од 9.11.1949. године, да би средином 60-их у оквиру задатака *NASE* била коришћена у пројектима авио и свемирске технике. У програмима производне технике, пре свега аутомобилске индустрије, коришћење *FMEA* уследило је тек у другој половини 80-их година и тада *FMEA* постаје алат за менаџмент тоталним квалитетом (*Total Quality Management – TQM*), а 90-их *SixSigma* алат. Индустрија моторних возила (*Automotive Industry Action Group – AIAG*) и Америчко друштво за контролу квалитета (*American Society for Quality Control – ASQC*) у фебруару 1993. године заштитили су ауторска права на *FMEA* стандарде који су били широко распрострањени у индустрији.

Анализа начина и ефеката отказа је алат којим се квалитативно анализирају сви могући начини отказивања компонената система, њихове последице и могућности избегавања отказа или смањивања утицаја отказа на систем. Ова анализа, као што само име наглашава, за основу узима систем или подсистем, разлаже га на појединачне делове, поделове и компоненте, а затим систематски посматра сваку компоненту, начине на које може да откаже и ефекте сваког отказа на сам део и коначно на читав систем или подсистем. Уколико је могуће, анализа укључује квантитативне податке о поузданости (Папић, Холовац, 1994).

У *FMEA* анализи сваки отказ је рангиран према вероватноћи појаве и озбиљности његових последица. Сврха *FMEA* је идентификовање начина отказа опреме/система и анализа потенцијалних утицаја сваког појединачног отказа на систем/фабрику. Људске грешке се, у суштини, не испитују у *FMEA*, међутим, ефекти погрешног управљања обично се описују у начину отказа опреме. *FMEA* није ефикасна у идентификовању комбинација отказа делова опреме који воде ка акциденту. Тип резултата који се добија на основу *FMEA* квалитативан је и укључује процену последица насталих од појединачних отказа. Садржи оквирно рангирање отказа опреме базирано на проценама вероватноће отказа и/или учесталости акцидента (Stojiljkovic & Grozdanovic, 2005).

Анализа начина и ефеката отказа може се проширити да би се извела анализа начина, ефеката и критичности отказа (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis – FMECA*) и анализа начина, ефеката (критичности)

и детекције отказа (*Failure Modes, Effects (Criticality) and Detection Analysis – FMEDA*). Анализа критичности (*Criticality Analysis*) везана је за оцену степена утицаја саставних делова на систем. Под критичношћу се најчешће подразумева релативна мера последица начина отказа и учесталост њиховог дешавања (Јанковић и др., 2009). Због тога на *FMECA* анализу можемо гледати као на надградњу *FMEA* анализе. Анализа начина, последица (критичности) и детекције отказа је такође надградња *FMEA* анализе процеса. Она укључује аутоматску *on-line* дијагностику, која је неопходна за постизање и одржавање поузданости сложених система и за системе који не могу да врше све функције у нормалним радним условима.

4.3.1 Типови FMEA

У основи, постоје два типа *FMEA* (Stephans, 2004):

- *Функционална FMEA*, која се превасходно фокусира на функционалне моделе отказа и њихове узроке; користи се за прелиминарну анализу опасности; помаже у идентификовању критичних тачака у смислу поузданости и безбедности.
- *Хардверска FMEA*, која се примењује на уређаје, опрему, конструкцију и превасходно се бави ефектима отказа.

Детаљнија подела према подручју примене (Јанковић и др., 2009):

- *Конструкцијска FMEA*, примењује се за елиминацију отказивања производа током развоја. Разматрају се сва отказивања у животном циклусу производа, од грешака током конструисања до рециклаже.
- *FMEA процеса*, бави се операцијама које се врше на систему, укључујући производњу, одржавање и коришћење.
- *Системска FMEA*, бави се потенцијално проблематичним подручјима у већим процесима, као што су целокупне производне линије.
- *Услужна FMEA*, користи се за анализу услуге која се нуди кориснику (било да је реч о хотелу или болници).
- *Програмска FMEA*, бави се могућностима отказивања из подручја информационих технологија.
- *Идејна FMEA*, анализира системе и подсистеме у раном периоду њиховог осмишљавања.
- *FMEA опреме*, проучава производне машине и опрему пре процеса набавке, како би се уочили потенцијално слаби елементи и подсистеми, односно они који могу представљати опасност по запослене и околину.

4.3.2 Значај FMEA

Анализа начина и ефеката отказа представља веома флексибилан алат за решавање различите проблематике. То се најпре огледа у могућности самосталног креирања таблица за процену важности, вероватноће појављивања и вероватноће откривања отказа, где се и описно могу представити интервали ризика појединог потенцијалног отказа.

4.3.3 FMEA тим

Анализа начина и ефеката отказа даје најбоље резултате кад се изводи у тиму састављеном од чланова који поседују разноврсна и специфична знања и искуства релевантна за систем који се анализира. Сви чланови тима (аналитичари) који учествују у FMEA морају бити упознати са наменом и функционисањем опреме и моделима отказа, као и са начином на који се откази могу проширити на друге делове система/процеса.

Тим мора имати лидера који ће водити читав процес анализе. Лидер је заправо једини члан тима који мора да познаје саму анализу и да има што је могуће веће искуство из њене примене. Остали чланови тима методу могу научити директно кроз праксу анализе система. У области безбедности и здравља на раду лидер тима, по правилу, треба да буде лице за безбедност и здравље на раду, које осим стручних знања треба да поседује и искуство у примени FMEA анализе.

Чланови тима могу се поделити у две групе. Прва је основни тим, а чине га чланови групе који раде на развоју самог система. Други тим је тим за подршку. Њега чине представници професија које су на било који начин везане за разматрани систем. Чланови првог тима су инжењери (заштите на раду, машински, електро, грађевински...), лекари медицине рада и други стручњаци, пре свега техничке струке. Чланови другог тима могу се бирати у складу са карактеристикама и специфичностима посматраног техничког система и припадајућих радних места, уз укључивање представника запослених и екстерних стручњака, уколико постоји исказана потреба (чланови другог тима су: производни инжењери, инжењери задужени за квалитет, запослени у маркетингу, истраживању тржишта итд).

4.3.4 FMEA ресурси

Време и трошкови FMEA пропорционални су величини и броју система који се анализирају. У просеку, довољан је један сат за две до четири евалуације по аналитичару. У системима са сличним деловима опреме, који обављају сличне функције, временске потребе знатно се умањују због понављања евалуација.

Предвиђањем могућих отказа и њиховим систематским пописивањем, рангирањем, па потом и решавањем, могуће је смањити време и трошкове развоја новог система, трошкове одржавања, смањити време које систем проведе у стању отказа. Не сме се никако изоставити да отказивање (нефункционисање) делова система, као што су организације медицинске хитне помоћи или ватрогасне службе, поред велике материјалне штете често значе и угрожавање здравља и живота људи.

4.3.5 Подручје примене FMEA

Анализа начина и ефеката отказа може да се користи:

- у фази пројектовања (за идентификовање додатних заштитних елемената који се лако могу укључити у нацрт пројекта),
- у фази изградње (за оцену промене опреме изазване променама на терену),
- у фази експлоатације (за оцену постојећег постројења и за идентификовање појединачног отказа који представља потенцијални акцидент, и као допуна детаљнијим проценама опасности као што су *HAZOP* или *FTA*).

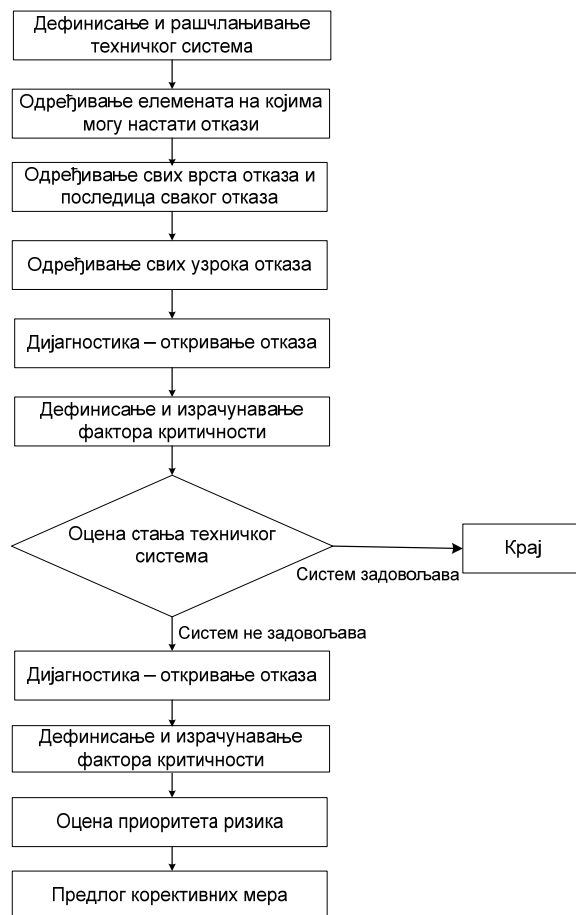
4.3.6 Методологија

Процедура спровођења *FME(C/D)A* студије састоји се од следећих корака:

1. дефинисање система који је предмет анализе;
2. упознавање система;
3. подела система на подсистеме;
4. дефинисање начина (и учесталости) отказа;
5. идентификовање свих последица отказа;
6. дефинисање начина откривања отказа;
7. оцена приоритета ризика;
8. предлог корективних мера.

На слици 4.4. приказан је алгоритам „поједностављеног“ поступка одвијања *FMECA*.

4. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

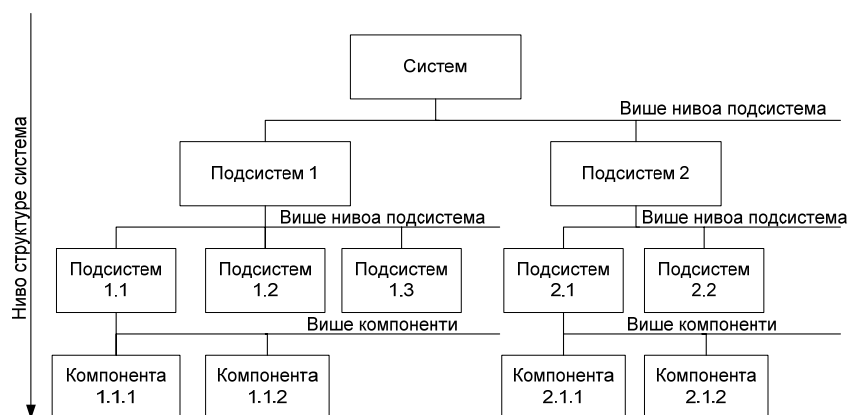


Слика 4.4. Алгоритам „поједностављеног“ одвијања FMECA
(модификовано према: Адамовић и др., 2008)

Процес дефинисања система полази од одређивања граница система. Ако анализирамо производ, тада су границе јасне. Међутим, ако се ради о сложеном систему, какав је, на пример, термоелектрана, задатак би се могао разложити на анализе подсистема постројења, рецимо систем генератора. Ако се анализира подсистем, биће потребно прецизно одредити који елементи и подсистеми спадају у радни задатак.

За спровођење FMEA прво је потребно прикупити улазне документе и референце. Основни улазни документи су аналитичка стабла и/или блок-дијаграми, цртежи и описи система, базе података, архива стеченог искуства, историјски подаци и/или други извори који дају увид у интензитете отказа или друге статистике поузданости.

Следећи корак је подела система на компоненте којима ће бити придружене њихове функције. Систем је хијерархијски организован, што значи да је подељен на подсистеме, подсистеми на склопове, а они на компоненте (Слика 4.5). Растављање треба почети на што је могуће вишем нивоу, а затим ићи наниже. До које дубине анализа система иде, зависи од циљева анализе. Циљ је лако дефинисати ако се аналитичко стабло користи као помоћни документ. Функционална *FMEA* укључује само горње и/или средње гране; *FMEA* техничке опреме укључује читаво стабло. Функционална *FMEA* користи дедуктивну логику, односно поставља питање који узрок може бити и фокусира се на функционалне моделе отказа и њихове узроке. Може се користити рано у програму и обично се спроводи на подсистему или на скупу опреме. Хардверска *FMEA* (*FMEA* техничке опреме) више је индуктивна (постављајући „шта ако“ и „када“ питања над листом општих начина отказа компоненти), и фокус анализе је на ефектима сваког начина отказа. Захтева фиксне податке и иде до нивоa компоненти. Ако се не користи аналитичко стабло, могу од користи бити блок-дијаграми или други документи који описују пројекат да би се дефинисао систем и разјаснио циљ у смислу ширине (границе разлагања) и дубине (степен ангажовања). Припрема систематског разлагања система до захтеваног нивоa детаља (обично до подсистема или група уређаја за функционалну *FMEA* и нивоa компоненти за хардверску *FMEA*) врши се из аналитичког стабла (и/или других улазних докумената).



Слика 4.5. Хијерархијска организација система

Када је систем подељен на саставне делове, може се приступити анализи сваке поједине компоненте по критеријуму могућности отказивања. За компоненту је потребно навести све могуће начине на које она

4. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

може отказати, независно од тога колико могући или невероватни били. Наравно, проблем је осмислити на које све начине може доћи до отказа. За сваки могући начин отказивања потребно је одредити и навести могући узрок или узроке. Поред узрока, потребно је навести и све механизме који својим деловањем узрокују или доприносе могућности отказивања. У ове механизме спадају процеси као што су корозија, ерозија или замор.

Учесталост појаве отказа компоненте је податак који је врло битан кад је у питању критеријум према коме се врши одабир компонената на чијем ће се побољшању радити. Учесталост отказивања је податак који произилази из природе узрока отказивања. Оцена се у пракси даје на једној од две скале, од 1 до 5 (Табела 4.10) или од 1 до 10 (Табела 4.11). У оба случаја већа оцена означава већу учесталост отказивања.

Табела 4.10. Пример скале (1–5) за оцену учесталости отказа
(Јанковић и др., 2009)

Учесталост		
Оцена	Опис	Колико често долази до отказа
1	Готово никад	Једном у 1000 или више година
2	Невероватно	Једном у 100 година
3	Повремено	Једном у 10 година
4	Вероватно	Једном годишње
5	Често	Једном месечно или чешће

Табела 4.11. Пример скале (1–10) за оцену учесталости отказа
(Јанковић и др., 2009)

Учесталост		
Оцена	Опис	Број отказа на милион извршених функција
1	Врло мала могућност појаве отказа	0.1
2	Мала могућност настанка отказа	0.5
3		2
4	Средња могућност настанка отказа	10
5		50
6	Могућност појаве значајног броја отказа	200

Табела 4.11. (Наставак)

Учесталост		
Оцена	Опис	Број отказа на милион извршених функција
7	Велика вероватноћа појаве отказа	1.000
8		5.000
9	Врло велика вероватноћа појаве отказа	20.000
10	Готово сигурно да ће доћи до великог броја отказа	100.000

Откази у систему могу бити: безопасни откази и потенцијално опасни откази. Ако је отказ безопасан, функција система је нарушена или прекинута, али нема опасности по корисника. Потенцијално опасан отказ, уз губитак функције система, може узроковати повређивање или угрозити живот корисника. Озбиљност отказивања, зависно од разматраног система, може се сагледати са више аспеката (Табела 4.12 и 4.13). Оцена је нумеричка и даје се на скали од 1 до 10.

Табела 4.12. Пример скале за озбиљност отказивања (Јанковић и др., 2009)

Озбиљност	
Оцена	Опис
1*	Никакве или минималне последице по корисника
2*	Мања неугодност за корисника
3*	Неугодност за корисника, али без губитка главних функција
4*	Могуће враћање произвођачу
5*	Сигурно враћање произвођачу
6	Отказивање које води неизвођењу основних захтева, могуће мање повреде
7	Отказивање које води озбиљнијим повредама или критичнијем безбедносном проблему
8	Безбедносни проблем – деградација функција уз могућност тешких повреда
9	Потпуно отказивање с вероватном тешком повредом или губитком живота
10	Катастрофално отказивање с великом вероватноћом губитка живота
* Ове грешке нису критичне са аспекта безбедности запослених	

Табела 4.13. Пример скале за оцену ефеката (последица)
(модификовано према: Зељковић, 2000)

Оцена	Ефекат (описно)	Ефекат на систем	Ефекат на људе	Ефекат на возила	Ефекат на процес производње
10	Катастрофалан	Престанак рада система	Смрт	Веома велики отказ	Критичан
8	Значајан	Значајна оштећења система	Озбиљне повреде	Велики отказ	Значајан
6	Средњи	Систем делимично не ради	Значајне повреде	Значајан отказ	Умерен
4	Низак	Мала оштећења система	Мале повреде	Мали отказ	Мали
2	Без ефекта	Без ефекта	Без повреде	Без ефекта	Без ефекта

Такође, потребно је одредити и могуће начине за детекцију отказа: визуелни преглед, коришћење мерних уређаја, растављање склопова, узимање узорака из серије који се испитују неком од метода разорних испитивања итд. У следећим табелама приказане су категорије нивоа критичности и степена детекције које се могу користити приликом процене.

Табела 4.14. Пример скале за оцену нивоа критичности (Зељковић, 2000)

Ниво	Ниво (описно)	Вероватноћа догађаја	Интензитет отказа ($\lambda \cdot 10^{-3}$)	Вероватноћа отказа (у процесу производње)
10	Веома висок	1/недељно	4	>1%
8	Висок	1/месечно	2	0.1–1%
6	Средњи	1/годишње	1	0.01–0.1%
4	Низак	1/5 година	0.5	0.001–0.01%
2	Веома низак	1/>5 година	<0.5	<0.001%

Табела 4.15. Пример скале за детекцију отказа (Зељковић, 2000)

Оцена	Ниво детекције (описно)
10	Без детекције
8	Могућност детекције при завршном испитивању
6	Могућност детекције при испитивању система
4	Могућност детекције при испитивању склопа
2	Могућност детекције при испитивању елемената

У основи, *FMEA* предлаже два начина рангирања ризика од појаве отказа на компонентама, и то: матрицу ризика (*Risk matrix*) и оцену приоритета ризика (*Risk priority number – RPN=R*).

Учесталост догађања (*Occurrence – P*), озбиљност последица (*Severity – C*) и могућност откривања отказа (*Detection – D*) оцењени су нумеричком оценом на скали од 1 до 10, где највећа оцена увек представља најгори могући случај. Оценом 10 означени су откази који се јављају најчешће, имају најгоре последице и најтеже их је открити пре покретања система. Из ових нумеричких вредности могуће је израчунати вредност оцене приоритета ризика:

$$R = P \cdot C \cdot D \quad (4.1)$$

Оцена приоритета ризика (Табела 4.16) кориснику указује на могућност отказивања којом се најпре треба позабавити, нарочито ако је озбиљност утицаја на околину врло висока.

По завршеној анализи, даје се предлог мера којима се може смањити или уклонити могућност одређеног начина отказивања компоненте. Такође се наводе мере које могу умањити последице које би отказивање имало на систем или околину и/или повећати вероватноћу откривања отказа током провере квалитета система.

Табела 4.16. Приказ подлога за оцену приоритета ризика (модификовано према: Радосављевић, Радосављевић, 2010)

Подлоге за оцену приоритета ризика						Оцена приоритета ризика R	
Учесталост вероватноће отказа P		Озбиљност последица отказа C		Вероватноћа откривања отказа D			
Скоро никад се не појављује	1	Без утицаја	1	Практично се увек открива	1	Опис оцене	Вредност оцене
Појединачни случајеви	2	Веома слаб утицај	2	Веома висока вероватноћа откривања	2		
Веома ретко	3	Слаб утицај	3	Висока вероватноћа откривања	3	Мала	<50
Ретко	4	Незнатан утицај	4	Просечна вероватноћа откривања	4		
Ниска вероватноћа	5	Приметан утицај	5	Умерена вероватноћа откривања	5	Средња	50–100
Просечна вероватноћа	6	Знатан утицај	6	Мала вероватноћа откривања	6		
Прилично висока вероватноћа	7	Велики утицај	7	Веома мала вероватноћа откривања	7	Висока	100–200
Висока вероватноћа	8	Гранично-дозвољен (прихватљив утицај)	8	Ретко се открива	8		
Веома висока вероватноћа	9	Веома озбиљан утицај	9	Веома ретко се открива	9	Критична	>200
Скоро увек	10	Катастрофалан утицај	10	Практично се не открива	10		

У поступку спровођења *FMEA* може се користити радни образац који је приказан у табели 4.17.

Табела 4.17. Радни образац за FMEA

Р. бр.	Назив елемента	Функција	Учесталост	Озбиљност	Детекција	P	C	D	R	Сугестије, корективне мере

4.3.7 Предности и ограничења

Предности FMEA:

- Лако се разуме, изводи и релативно је јефтина;
- Обезбеђује основу за идентификацију базичних узрока отказа;
- Развија ефективне корективне акције;
- Идентификује критичне компоненте са аспекта поузданости и безбедности;
- Утврђује алтернативе у свим фазама развоја система;
- Обезбеђује праћење и управљање потенцијалним ризицима у дизајну;
- Представља основу за друге анализе, нпр. анализе одржавања, логистике или безбедности;
- Редукује трошкове.

Ограничења FMEA:

- Не фокусира се на појединачна стања отказа, него на њихову комбинацију;
- Испитивање људске грешке је ограничено;
- Испитивање спољашњих услова је ограничено;
- Евалуација ризика није у потпуности објективна, јер различити тимови могу различито проценити поједине ризике;
- Временски је захтевна.

4.4 Анализа стабла отказа

Анализа стабла отказа (*Fault Tree Analysis – FTA*) развијена је 1962. године у Беловим телефонским лабораторијама, а у вези са лансирањем ракете *Minhtmen*. Циљ је био да се види која комбинација догађаја и околности може дати нежељене догађаје при управљању и лансирању ракете. Метода се касније почела примењивати у систему наоружавања, хемијским процесима, нуклеарним централама, електричним и електронским системима. Ова метода је од великог значаја за компликоване техничке системе,

где функционалне грешке могу да доведу до озбиљних последица. Анализа стабла отказа обједињава техничке факторе, људски фактор и контролне мере.

Анализа стабла отказа је графоаналитичка метода, која даје систематски опис могућих стања у систему чији је резултат нежељени догађај, односно отказ. Нежељени догађаји од којих се полази у анализи стабла отказа откривају се индуктивном анализом. Ови догађаји обично су нежељена стања система, која се могу појавити као резултат функционалних неисправности подсистема, а могу укључити и грешке човека (CCPS, 2002).

Анализа стабла отказа је дедуктивна метода. Спроводи се од врха ка дну (вертикално), односно прво се дефинише вршни (главни) „топ“ догађај (*top event – TOP*), а затим се анализира утицај понашања појединих компоненти система на његово појављивање. На основу познатих чињеница врши се откривање, истраживање и реконструкција могућих догађаја у посматраном систему који доводи до вршног догађаја. У пракси се чешће посматрају и анализирају случајеви нежељеног догађаја због откривања и елиминације критичних места у систему. За примену *FTA* потребно је потпуно разумевање функционисања система, као и знање о отказима опреме и њихов утицај на систем.

За извођење анализе стабла отказа неопходно је:

- постојање добре техничке документације о систему и његовим елементима,
- постојање детаљних информација о начину функционисања система и
- добро познавање система од стране систем-аналитичара.

4.4.1 Значај *FTA*

Анализа стабла отказа кроз сагледавање и разумевање посматраног система омогућава:

- идентификацију потенцијалних отказа који би се десили у подсистему или систему,
- квантитативно изражено стање система,
- потпуне описе узрока и последица,
- правилно доношење процене како, зашто и са којом фреквенцијом отказује систем,
- мерења утицаја промена у систему,
- предвиђање највероватнијих узрока отказа система,
- корекције у фази пројектовања којима се избегавају грешке,
- дијагностику стања система и др.

Значај *FTA* као квалитативног оруђа са квантитативним потенцијалом јесте у рашчлањивању акцидента на основне отказе опреме и људске грешке. Квантитативна процена вршног догађаја је могућа када су доступни подаци о вероватноћама отказа основних догађаја. То омогућава аналитичару поузданости да фокусира превентивне мере на основне узроке, ради смањења вероватноће појаве отказа (вршног догађаја).

4.4.2 *FTA тим*

Анализа стабла отказа може се спровести од стране једног аналитичара, уз стално консултовање са инжењерима, оператерима и другим особљем које има искуства са системом и опремом која се анализира. Приступ један оператер – један график побољшава континуитет у самом графику рашчлањеног отказа, при чему аналитичару морају бити доступне информације којима се одређују грешке и откази који доприносе акциденту. Тимски рад је пожељан када је потребан сложени график рашчлањивања отказа, при чему се сваки члан тима концентрише на појединачни график. Сарадња између чланова тима и другог искусног особља неопходна је за комплетирање процеса анализе.

4.4.3 *FTA ресурси*

Време и трошкови *FTA* уско су повезани са комплексношћу система и зависе од степена рашчлањености анализе. За моделирање мале процесне јединице искусном тиму потребан је један дан или мање. Већи проблеми, са много потенцијалних ризичних догађаја у комплексним системима, могу се анализирати чак и по неколико недеља, иако је ангажован искусан тим аналитичара.

4.4.4 *Подручје примене FTA*

Анализа стабла отказа се користи:

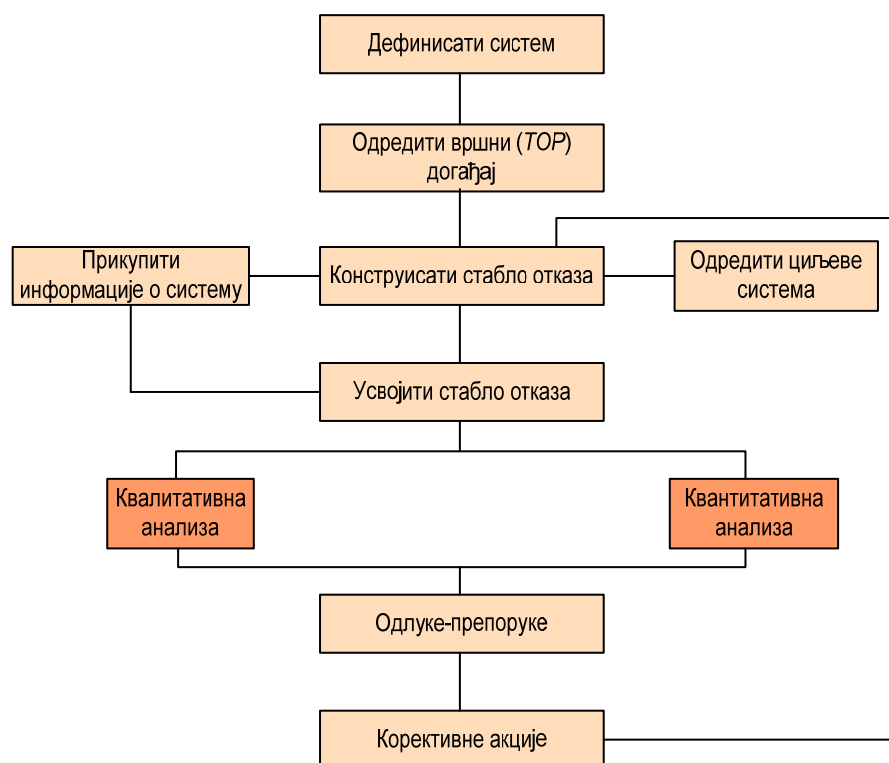
- у фази пројектовања система ради откривања скривених отказа који резултују из комбинације отказа елемената и
- у фази експлоатације система, за идентификовање потенцијалних комбинација отказа за специфичне догађаје, с обзиром да укључује карактеристике оператера и процедуре рада.

4.4.5 *Методологија*

Анализа стабла отказа (Слика 4.6) спроводи се кроз неколико фаза:

- дефинисање система;

- одређивање вршног догађаја (*top event* – *TOP*);
- анализирање специфичности система (уознавање рада система);
- конструкција стабла отказа;
- усвајање стабла отказа;
- оцена стабла отказа (квалитативна и квантитативна анализа);
- обезбеђење препорука и алтернатива за доношење одлука о потребним корективним мерама.



Слика 4.6. Методологија анализе стабла отказа (Ивановић, 1991)

Дефинисање система је стандардан корак у свим методама. У њему се дефинише предмет процене и одређују његове границе.

Вршни (*TOP*) догађај одређује се зависно од циља анализе као нежељени догађај или отказ, чији се узроци и појаве детаљно разматрају. То треба учинити на што је могуће одређенији начин тако да догађаји могу јасно и прецизно да се препознају и одреде. Назив „догађај“ означава дина-

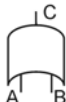
мичку промену стања која се дешава у елементу система или целом систему.

Упознавање рада система који треба да се анализира представља услов добре анализе. Само потпуним познавањем система, његових саставних елемената и њихових међусобних односа може да се изврши логична и комплетна анализа којом се повезују сви потребни и довољни услови за реализацију вршног догађаја. Пре формирања стабла отказа аналитичар мора добро да проучи систем, елементе или производ који се анализира. Извори информација о систему могу бити: технолошке шеме, дијаграми, технички цртежи, функционални блок-дијаграми, приручници за руковање и одржавање, извештаји одржавања и карте отказа технолошких система (ако постоје за посматрани систем, а ако не постоје, могуће је употребити и карте отказа сличних система).

У току рада аналитичар из практичних разлога поставља извесне претпоставке или ограничења за посматрани систем, односно за његове подсистеме. Да би се анализа схватила, неопходно је да се јасно износе и опис система и поставке на којима се она заснива. Описивање система укључује функционалне везе, граничне услове, спољне утицаје и ограничења која утичу на систем. При томе се одређује повезаност догађаја у условима нормалних или измењених радних услова.

Конструкција стабла отказа започиње тако што се на логичан начин наводи догађај који може да буде узрок за реализацију „топ“ догађаја и, сходно томе, прави се комбинација грешака и догађаја који воде до сваког нивоа. Треба употребити одговарајућу логику, која би обезбедила да сви догађаји задовоље „потребне и довољне критеријуме“. Овакав поступак доводи до развоја стабла отказа са Буловим (*Booleon*) капијама, које међусобно повезују догађаје који би могли да дају наведени излаз. Све то се приказује графички стандардним ознакама за стабло отказа, где се користе логичке капије и стандардизовани симболи догађаја и преноса.

Симболи који се користе у анализи стабла отказа сврставају се у две групе: почетни (капије) и догађаји (Harms-Ringdahl, 2001). Основни симболи су приказани на слици 4.7.

СИМБОЛ	ОПИС	ФУНКЦИЈА
	Основни догађај	Основни догађај или грешка
	Неразвијени догађај	Догађај који није развијен до сопственог узрока (неразвијени случајеви)
	Општи догађај	Догађај настао услед више основних догађаја
	Условни (очекивани) догађај	Догађај чије се дешавање очекује током нормалног функционисања система
	I капија	Изазни догађај C јавља се само ако се улазни догађаји (A и B) јаве истовремено
	III капија	Изазни догађај C јавља се уколико се јави било који од улазних догађаја (A или B)
	Трансферни симбол	Показује да се шема даље развија на другом месту

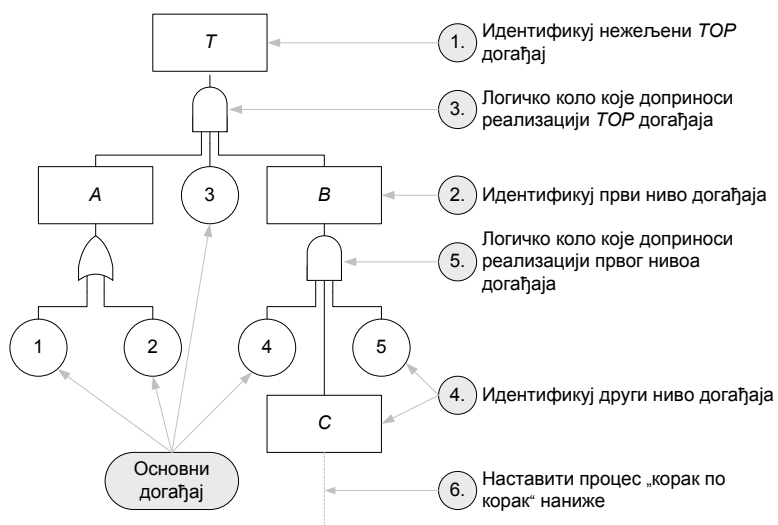
Слика 4.7. Симболи који се користе у анализи стабла отказа

При конструисању стабла отказа треба се придржавати следећих упутстава (Ивановић, Станивуковић, Бекер, 2010):

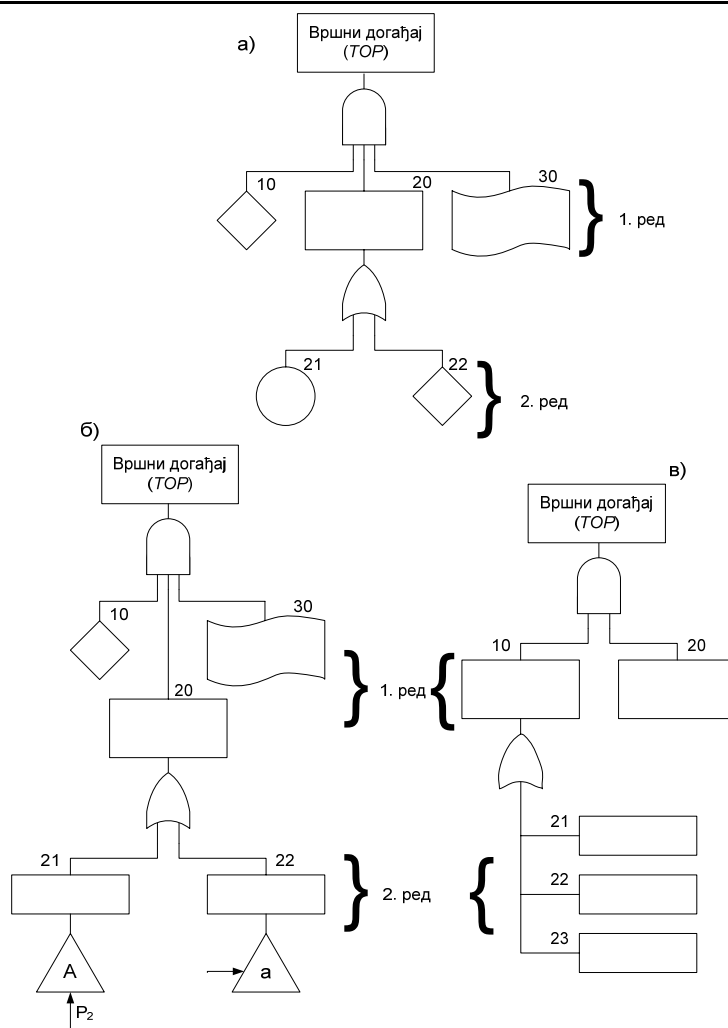
- ♦ *Аналитичко стабло треба да буде онолико једноставно колико то дозвољава сложеност система.* Једноставност, односно сложеност стабла зависи од сложености система, али и од дубине анализе. У том смислу аналитичар треба да буде селективан и прекине даљи ток развоја догађаја када се покаже да није оправдан.
- ♦ *Стабло треба да буде логично.* Анализу стабла треба вршити од вршног ка основним догађајима. Сродни догађаји који су на

истом нивоу логике и детаљности представљају један ред стабла. Догађаји једног нивоа, чија комбинација доприноси неком другом догађају представљају улазе у одговарајућу капију – логичко коло; излаз из логичког кола је догађај на вишем нивоу (Слика 4.8). У идеалном случају сви догађаји из једног реда стабла требало би да се налазе у истом хоризонталном нивоу, као што је приказано на слици 4.9. (а). Међутим, због ограниченог простора при конструисању стабла, они се или повезују заједничком хоризонталном линијом помоћу вертикалних продужетака различитих дужина (Слика 4.9.б) или се везују за једну исту вертикалну линију и уносе један испод другог у виду лествица (Слика 4.9.в).

- ◆ *Одабрани описи треба да буду једноставни, јасни и сажети.* Описи догађаја треба да буду прилагођени кориснику, дакле једноставни и јасни, како би он могао самостално да прати процес анализе.
- ◆ *Број редова стабла на једној страници не треба да буде већи од четири или пет.* Већи број редова обично не може да се репродукује читко и јасно, нити може да се чита без увеличавања.



Слика 4.8. Основни кораци у формирању стабла отказа



Слика 4.9. Нивои стабла отказа

- ◆ Систем нумерисања догађаја испод вршиног треба да буде јасан и доследан.
 - Догађаје треба означавати словима или бројевима.
 - Логичка кола не треба обележавати ни бројевима нити словима.

- Треба користити симболе за пренос да би се избегло дуплирање идентичних грана или сегмената стабла и да би се смањила сложеност стабла.
- Временски редослед или редослед за сродне догађаје у истом реду стабла треба приказивати с леве на десну страну.

Усвајању стабла отказа претходи контрола тачности и комплетности стабла. Овом контролом се утврђују евентуални пропусти и/или евентуалне грешке, односно потврђују намена и функционална условљеност догађаја у стаблу, као и логика реализације вршног догађаја (догађаји на улазу у логичка кола морају бити потребни и довољни).

Потврда пуноважности од стране особа које нису конструисале стабло нужна је да би се обезбедио прави увид у оцену исправности. Понекад је добро да исти проблем анализирају два независна тима стручњака, па да се резултати упореде. Када се заврши са конструкцијом и дефинитивним усвајањем стабла отказа, приступа се његовој квалитативној и квантитативној анализи.

4.4.6 *Квалитативна анализа стабла отказа*

Квалитативна анализа представља одређивање минималних скупова пресека и минималних скупова стаза. Минимални скупови пресека и минимални скупови стаза представљају два еквивалентна извора информација о стању процеса и сазнање о једном или другом довољно је за одређивање вршног догађаја.

Минимални скупови пресека представљају оне скупове догађаја који су меродавни, односно довољни за настанак вршног догађаја. Минималан је пресек који у себи не садржи друге пресеке.

Минимални скуп стаза је најмањи скуп догађаја који не смеју да се догоде да се не би догодио вршни догађај, односно минимални скупови стаза представљају најмање скупове догађаја који условљавају поуздано функционисање система (непојављивање вршног догађаја). Минималан је пут који у себи не садржи ниједан други пут.

Иницијално извођење може бити неминимално или минимално, тако да сваки скуп пресека који садржи минимални скуп пресека није минимални. У табели 4.18. дате су ове разлике.

Табела 4.18. Минимални скупови пресека

Скуп	Скуп пресека	Минимални скуп пресека
1	AB	Да
2	ACD	Не
3	AD	Да
4	CDE	Не
5	ABDE	Не
6	DE	Да

Из табеле 4.18. види се да минимални скупови могу бити 1, 3 и 6 јер не садрже остале скупове пресека. Скуп 2 је неминималан јер садржи скуп 3. Скуп 5 такође је неминималан јер садржи скупове 1, 3 и 6.

Скупови пресека, који су приказани у претходној табели, могу бити представљени као узроци отказа система и приказани Буловом *III* логиком. При томе се користе теореме и аксиоме Булове алгебре (Табела 4.19):

$$\begin{aligned}
 AB + ACD + AD + CDE + ABDE + DE &= \\
 AB(1 + DE) + DE(1 + C) + AD(1 + C) &= \\
 AB + DE + AD
 \end{aligned}$$

Табела 4.19. Теореме и аксиоме Булове алгебре (Ericson, 1999)

Теореме Булове алгебре	
$a + 0 = a$	$a \cdot \bar{a} = 0$
$a + 1 = 1$	$a + \bar{a} = 1$
$a \cdot 0 = 0$	$a + ab = a$
$a \cdot 1 = a$	$a(a + b) = a$
$a \cdot a = a$	$a + \bar{a}b = a + b$
$a + a = a$	
Аксиоме Булове алгебре	
$a \cdot b = b \cdot a$	Закон комутације
$a + b = b + a$	
$(a + b) + c = a + (b + c) = a + b + c$	Закон асоцијације
$(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c) = a \cdot b \cdot c$	
$a(b + c) = ab + ac$	Закон дистрибуције

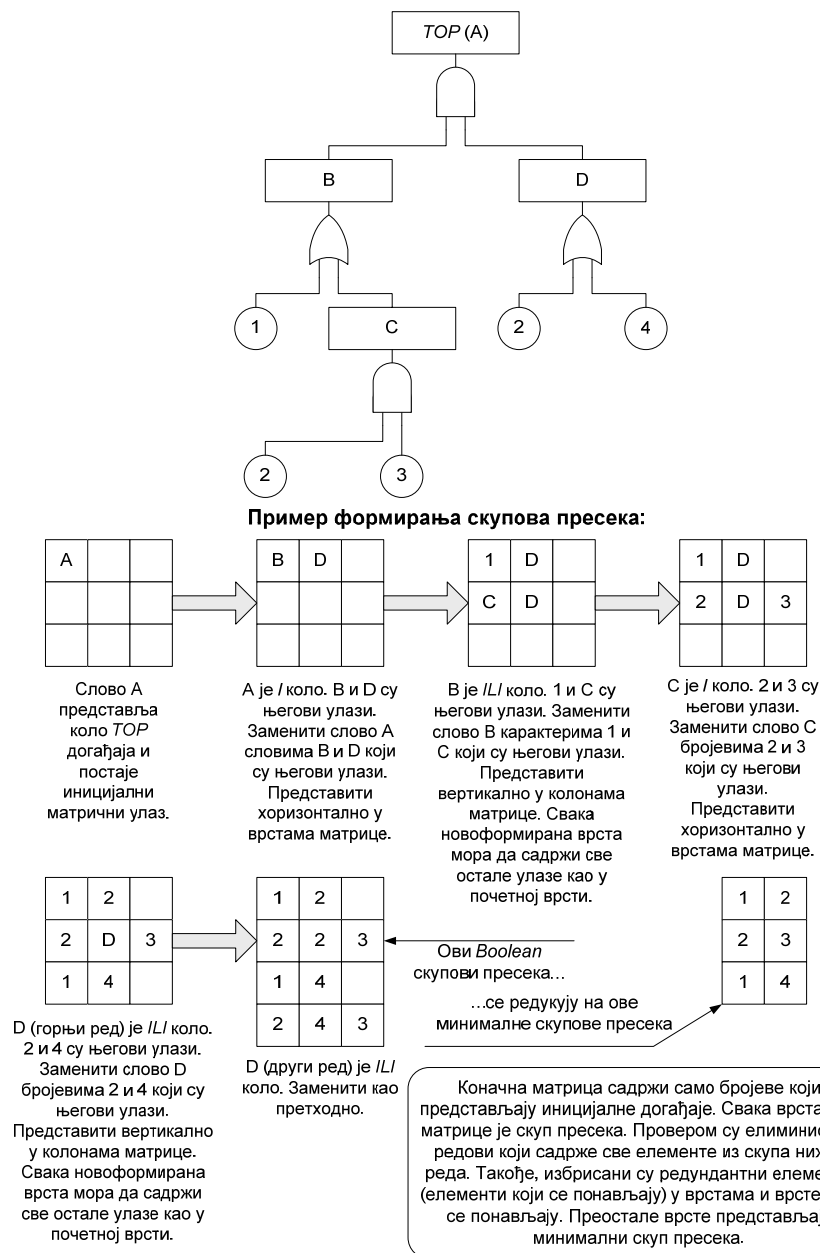
Одређивањем минималних скупова пресека остварен је услов за добијање квантитативних резултата. Важан део квантитативне анализе стабла отказа представља и анализа заједничког или општег узрока (види: Стојиљковић, 2007).

У практичној примени метода минималних скупова пресека има извесне предности у поређењу са методом минималних скупова стаза. Минимални пресеци директно показују који откази и коинциденције отказа доводе до неисправности система и омогућавају да се поменуте ситуације рангирају по вероватноћи, учесталости или другим показатељима и тако утврде најкритичнији догађаји.

4.4.7 Формирање минималних скупова пресека

Процедура формирања минималних скупова пресека дата је на слици 4.10. Ево корака којих се треба држати:

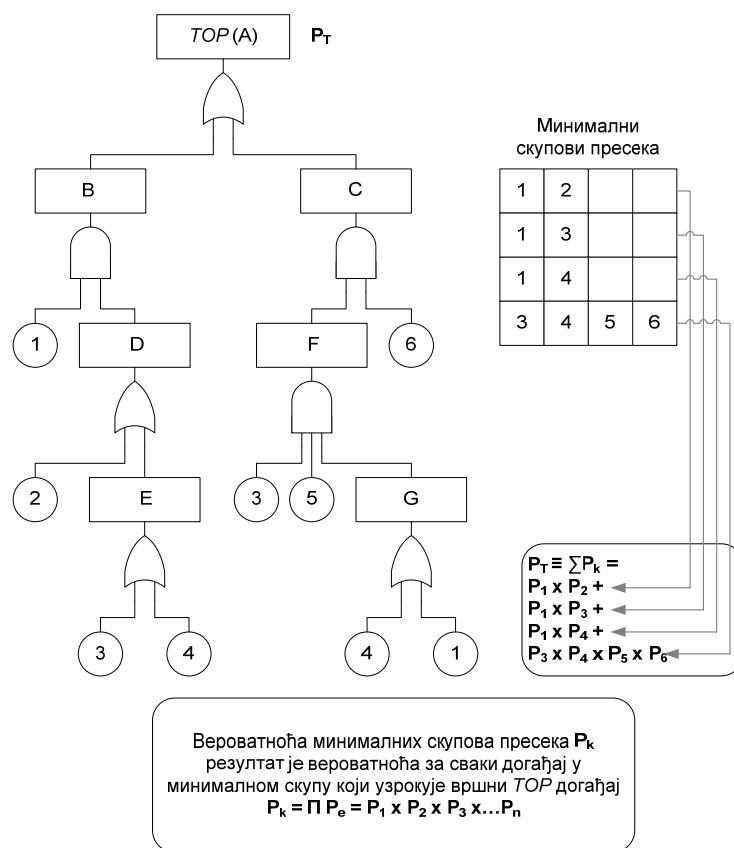
1. Игнорисати све елементе стабла изузев базичних (основних).
2. Почети непосредно испод *TOP* догађаја, доделити јединствено слово и/или број сваком догађају.
3. Наставити процес „корак по корак“ наниже.
4. Формирати матрицу коришћењем слова и/или бројева. Слово које представља коло *TOP* догађаја постаје иницијални матрични улаз. У следећим корацима:
 - 4.1. Заменили слово сваког *I* кола словом/бројем за сва кола/догађаје који су његови улази; представити ово хоризонтално у врстама матрице.
 - 4.2. Заменили слово сваког *ILI* кола словом/бројем за сва кола/догађаје који су његови улази; представити ово вертикално у колонама матрице. Свака новоформирана врста мора да садржи све остале улазе као у почетној врсти.
5. Коначна матрица садржи само бројеве који представљају иницијалне догађаје. Свака врста ове матрице је скуп пресека. Провером елиминисати сваки ред који садржи све елементе из скупа нижег реда. Такође, избрисати редундантне елементе (елементе који се понављају) у врстама и врсте које се понављају. Преостале врсте представљају минимални скуп пресека.



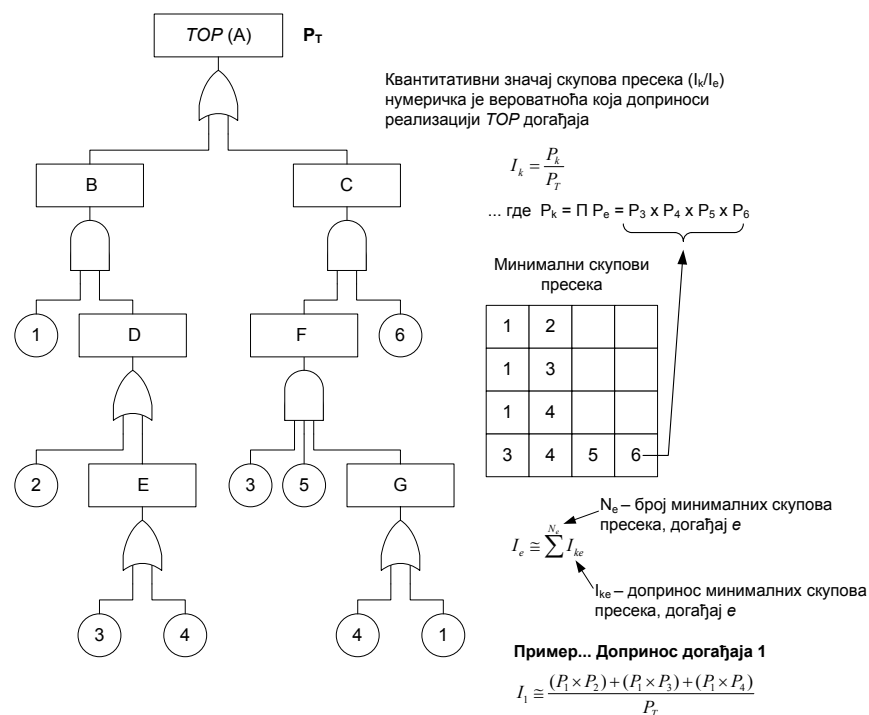
Слика 4.10. Процедура формирања минималног скупа пресека (Clemens, 1993)

Скупови пресека користе се:

- за евалуацију вероватноће *TOP* догађаја (Слика 4.11),
- за утврђивање рањивости од заједничких узрока,
- за анализу вероватноће заједничких узрока,
- за евалуацију важности минималних скупова пресека и догађаја (квалитативна и квантитативна евалуација (Слика 4.12).



Слика 4.11. Примена минималног скупа пресека за евалуацију вероватноће *TOP* догађаја



Квантитативна евалуација важности скупова пресека, тј. прорачун вероватноћа омогућава нумеричко рангирање доприноса отказу система.

Да би се најефикасније смањила рањивост система, редуковати скупове пресека који имају већи значај.

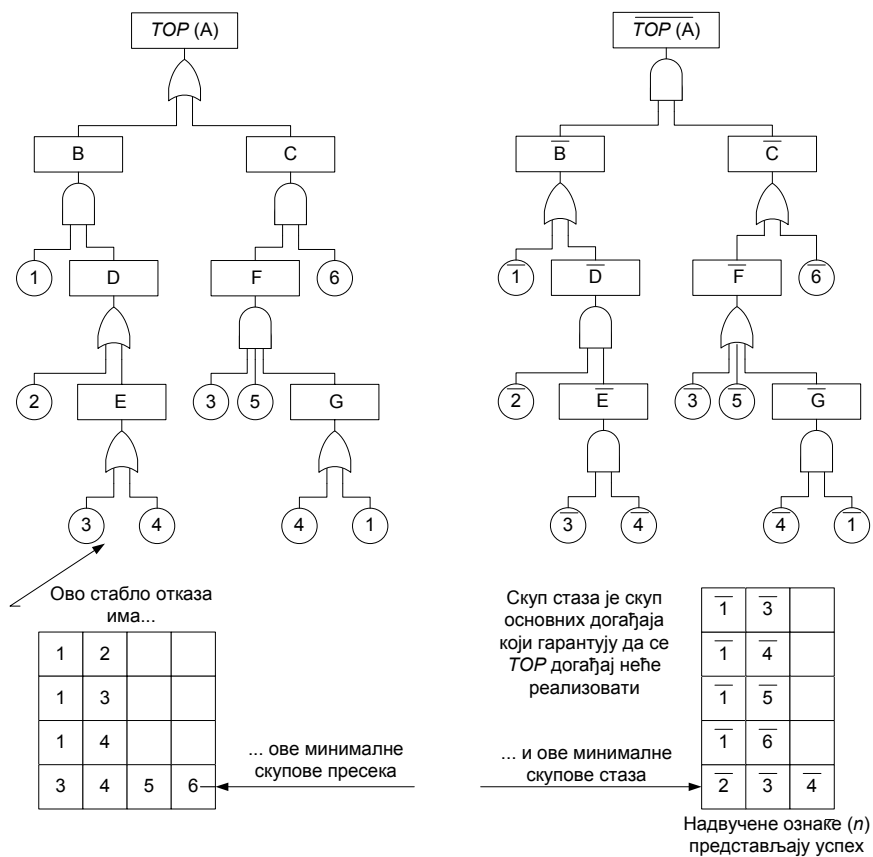
Генерално, "кратки" скупови пресека имају већи значај, и обрнуто, "дугачки" скупови пресека имају мали значај.

Слика 4.12. Примена минималног скупа пресека за евалуацију важности (квантитативна евалуација)

4.4.8 Формирање минималних скупова стаза

Процедура формирања минималних скупова стаза приказана је на слици 4.13 (Clemens, 1993):

1. Заменили сва *I* кола *ILI* колима, односно сва *ILI* кола *I* колима.
2. Заменили све догађаје супротним догађајима.
3. Применили исту процедуру као за формирање матрице скупова пресека.
4. Резултат процедуре су скупови стаза, односно минимални скупови стаза.



Слика 4.13. Процедура формирања минималног скупа стаза

На основу стабла отказа и минималног скупа стаза може се:

- конструисати блок-дијаграм поузданости (Слика 4.14),
- израдити студија изводљивости (Слика 4.14) и
- прорачунати вероватноћа безотказног рада система, тј. вероватноћа да ће систем успешно извршити своју функцију без отказа.



Слика 4.14. Израда студије изводљивости на основу минималног скупа стаза

4.4.9 Квантитативна анализа стабла отказа

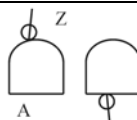
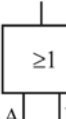
Квантитативна анализа стабла отказа заснива се на коришћењу метода теорије вероватноће и математичке статистике. Предложени су многи начини како приступити директном срачунавању вероватноће стабла отказа. Већина техника примењена је на стабла у релативно једноставним системима са мањим бројем догађаја и једноставним логичким односима, обично само за *I* и *III* логичке капије. Употреба *NE* логике у форми *NI* и *NILI* непотребно компликује евалуацију, тако да се оне не разматрају. Када се логичке капије примене на велике, комплексне и сложене системе, потребан је дуг период за израчунавање отказа. Израчунавање траје дуго и због потребе да се посматрају разне фазе примене система и због поправке отказа и услова детекције који не зависе од основних догађаја на улазу.

Стабло отказа може се квантификовати на један од три начина, и то:

- анализом „капија по капија“ (*Gate by Gate*),
- анализом минималних скупова пресека (*Minimal Cut Set*),
- симулацијом *Monte Carlo*.

Анализа „капија по капија“. Основна логичка кола за конструкцију стабла отказа су *I* и *ILI* кола. Код ове анализе приступ *I/ILI* је прихватљив. Или се догађај деси или не. *I* капија значи да излазни догађај постоји само ако се сви догађаји испод те капије догоде, а *ILI* капија значи да ће излазни догађај те капије да се догоди ако се било који догађај испод капије догоди. Тврдња о догађају може бити окарактерисана као „тачна“ или „нетачна“. Ово такође може бити изражено и логичким вредностима 1 и 0, што значи да је могуће применити бинарну логику и Булову алгебру.

Улазни и излазни догађаји могу бити изражени и у облику низа логичких израза или у облику таблица истинитости. Слика 4.15. показује како су ове различите форме међусобно повезане (Harms-Ringdahl, 2001). Анализа стабла отказа често се користи и за прорачуне вероватноће (на слици 4.15. укључена је и функција вероватноће). Вероватноћа да ће се *A* појавити унутар адекватног временског оквира обележена је са *P(A)*. Вероватноћа да се *A* неће појавити је *P(Z)*. Изрази за *P(X)* и *P(Y)* биће применљиви само ако се претпостави да се *A* и *B* независно јављају.

Функција	<i>I</i>	<i>ILI</i>	<i>NE</i>																						
Симбол																									
Алтернативни симбол																									
Опис функције	$X = AB$ $X = A \& B$ $(X = A \cap B)$	$Y = A + B$ $(Y = A \cup B)$	$Z = A'$ $(Z = \tilde{A})$																						
Таблица истинитости	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </table>		0	1	0	0	0	1	0	1	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>		0	1	0	0	1	1	1	1	<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	0	1	1	0
	0	1																							
0	0	0																							
1	0	1																							
	0	1																							
0	0	1																							
1	1	1																							
0	1																								
1	0																								
Вероватноћа	$P(X)=P(AB)=P(A)P(B)$	$P(Y)=P(A+B)=P(A)P(B)+P(A)P(B)$	$P(Z)=1-P(A)$																						

Слика 4.15. Различити начини описивања логичких веза

Методологија евалуације вероватноће у стаблу отказа може се применити на било који број улазних јединица и стога, да би се јасно

илустровале технике евалуације, анализираћемо систем са три улазне јединице за сваки тип логичке капије (I , ILI , и „два од три“ у ознаци $2/3$).

Табела 4.20. представља таблицу истинитости за три елемента A , B и C и сродна стања отказа у односу на тип логичке капије који се разматра. За дати елемент у табели: ознака A означава „елемент A је у отказу“, а ознака $\bar{A}$ (не $\bar{A}$) означава „елемент A је исправан“ (није у отказу).

Табела 4.20. Таблица истинитости за логичке капије са три елемента

Стање	Елементи			Стања отказа		
	A	B	C	ILI	I	$2/3$
1	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$			
2	$\bar{A}$	$\bar{B}$	C	+		
3	$\bar{A}$	B	$\bar{C}$	+		
4	$\bar{A}$	B	C	+		+
5	A	$\bar{B}$	$\bar{C}$	+		
6	A	$\bar{B}$	C	+		+
7	A	B	$\bar{C}$	+		+
8	A	B	C	+	+	+

Табела 4.20. показује да отказ система до кога доводи излазна вредност ILI капије сачињава групу стања отказа од 2 до 8. То значи:

$$\begin{aligned}
 \text{отказ система} &= \text{излазна вредност логичке капије} \\
 &= \text{стање 2 } ILI \text{ стање 3 } ILI \dots \text{ стање 8} \\
 &= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}C + ABC \\
 &= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}\bar{B}(\bar{C} + C) + \bar{A}B(\bar{C} + C) + AB(\bar{C} + C) \\
 &= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}\bar{B} + \bar{A}B + AB \\
 &= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}\bar{B} + A(\bar{B} + B) \\
 &= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}\bar{B} + A \\
 &= \bar{A}(\bar{B}C + \bar{B}) + A \\
 &= \bar{A}(\bar{B}(C + B)) + A \\
 &= \bar{A}(\bar{B}(C + B)) + A \\
 &= \bar{A}C + \bar{A}B + A \\
 &= \bar{A}C + B + A \\
 &= C + A + B
 \end{aligned}$$

Булова излазна вредност из ILI логичке капије отказа са три улазне вредности је $A + B + C$, а вероватноћа излаза из ILI капије са три улаза биће:

$$P(E_{III}) = 1 - ((1 - P(A))(1 - P(B))(1 - P(C))).$$

Уопштавањем претходног израза, вероватноћа излаза, за логичко *III* коло са *n* улаза, биће:

$$P(E_{III}) = 1 - \prod [1 - P(E_i)], i = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

где је:

$P(E_i)$ – вероватноћа појаве *i*-тог догађаја на улазу у *III* логичку капију;

n – укупан број догађаја на улазу.

Према табели 4.20. до отказа система са *I* логичком капијом доводи стање 8. Булова излазна вредност из *I* логичке капије отказа са три улазне вредности је *ABC*, а вероватноћа излаза из *I* капије са три улаза биће:

$$P(E_I) = P(A)P(B)P(C).$$

Дакле, вероватноћа излаза, за логичко *I* коло са *n* улаза, може се одредити према изразу:

$$P(E_I) = \prod P(E_i), i = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

где је:

$P(E_i)$ – вероватноћа појаве *i*-тог догађаја на улазу у *I* логичку капију;

n – укупан број догађаја на улазу.

Табела 4.20. показује да су стања 4, 6, 7 и 8 релевантна стања отказа у логичкој капији 2/3 већинског одабира. То значи:

$$\begin{aligned} \text{отказ система} &= \text{стање 4 III стање 6 III стање 7 III стање 8} \\ &= \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC \\ &= \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB(\overline{C} + C) \\ &= \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB \\ &= \overline{A}BC + A(\overline{B}C + B) \\ &= \overline{A}BC + A(C + B) \\ &= \overline{A}BC + AC + AB \\ &= C(\overline{A}B + A) + AB \\ &= C(B + A) + AB \\ &= CB + CA + AB \end{aligned}$$

Булова излазна вредност за логичке капије већинског одабира са три улазне вредности је $AB + AC + BC$. Стога ће вероватноћа догађаја на излазу из 2/3 логичког кола, бити:

$$P(E_{2/3}) = 1 - (1 - P(A)P(B))(1 - P(A)P(C))(1 - P(B)P(C)) \quad (4.4)$$

Квантитативна анализа разматра се са становишта отказа непоправљивих и поправљивих елемената система. С тога је за ову анализу потребно обезбедити следеће податке:

- средње време до отказа (*Mean Time To Failures – MTTF*) или интензитет отказа $\lambda = 1/MTTF$;
- средње време између отказа (*Mean Time Between Failures – MTBF*);
- средње време поправке (*Mean Time To Repair – MTTR*) или интензитет поправке $\mu = 1/MTTR$.

Подаци се могу обезбедити од произвођача, из литературе, од консултаната за одржавање, из приручника, досијеа о ранијем одржавању итд. На основу ових података може се одредити поузданост елемената, односно вероватноћа отказа на излазу из I или III кола.

Основни откази у стаблу отказа бирају се тако да буду статистички независни догађаји, тј. да остварење неког од догађаја не утиче на вероватноћу настанка другог догађаја.

Квантитативна анализа стабла отказа подразумева одређивање или процену средњег времена до појаве отказа и средњег времена трајања отказа, затим симулирање отказа одговарајућим статистичким поступком, са циљем одређивања вероватноће појаве вршног нежељеног догађаја, обухватајући при томе све могуће путеве у стаблу отказа.

Анализа минималних скупова пресека. Минимални скупови пресека се могу користити за евалуацију вероватноће „топ“ догађаја и за евалуацију важности минималног скупа пресека и догађаја.

На основу минималних скупова пресека може се написати апроксимативни израз за вероватноћу отказа (важи за мале вероватноће отказа) и на тај начин приближно проценити вероватноћа отказа система:

$$P_T = \sum P_{MSP,i} \quad (4.5)$$

Квантитативна евалуација важности минималног скупа пресека врши се на основу њиховог доприноса реализацији „топ“ догађаја који се дефинише индексом минималног скупа пресека:

$$I_{MSP,i} = \frac{P_{MSP,i}}{P_T} \quad (4.6)$$

где је: P_T – вероватноћа реализације *TOP* догађаја; $P_{MSP,i}$ – вероватноћа реализације *i*-тог минималног скупа пресека која се одређује помоћу израза:

$$P_{MSP,i} = \prod_{j=1}^{N_i} P^{(j)} \quad (4.7)$$

где је: $P^{(j)}$ – вероватноћа *j*-тог догађаја у минималном скупу пресека, а N_i – број догађаја у *i*-том минималном скупу пресека.

Квантитативна евалуација важности догађаја врши се на основу индекса догађаја којим се дефинише допринос конкретног догађаја реализацији *TOP* догађаја:

$$I_E = \frac{\sum_{k=1}^{N_e} P_{MSP,k}}{P_T} \quad (4.8)$$

где је: $P_{MSP,k}$ – вероватноћа *k*-тог минималног скупа пресека који садржи догађај *E*; N_e – број минималних скупова пресека који садрже догађај *E*.

Симулација Monte Carlo. Многи системи су веома комплексни за коришћење аналитичких техника, али се они могу проценити разматрајући улазне компоненте као случајне променљиве и спровођењем симулације одабиром компоненти у циљу одржавања *N* могућих исхода жељеног резултата.

Monte Carlo симулација може се користити за:

- процену утицаја код конвенционалних аналитичких модела,
- израчунавање вероватноће када аналитичке технике нису применљиве.

Улазни подаци за *Monte Carlo* симулацију су: добар модел система, информација о типовима улаза, извори неизвесности који ће бити разматрани и захтевани резултати.

Поступак за *Monte Carlo* симулацију је следећи (ISO 31010):

- Дефинисање симулације или алгоритма који представљају што је могуће боље понашање система који се анализира.
- Симулација се врши више пута да се добије више резултата. Симулира се једначина која пружа везу између улазних параметара и резултата. Вредности улазних параметара су узете са одговарајућим расподелама вероватноће које представљају природу неизвесности у овим параметрима.
- Добијени резултати могу бити обрађени конвенционалном статистиком да би пружили информације као што су средње вредности, стандардне девијације, интервали поверења.

- Излазни резултат може бити само једна вредност, односно може бити изражен као вероватноћа, или као фреквенција расподеле, или може бити идентификација главних функција код симулација које имају велики утицај на резултате.

У основи, *Monte Carlo* симулација користи се да процени свеукупну расподелу исхода који могу настати или кључне показатеље расподеле, као што су:

- вероватноћа дефинисаних исхода,
- вредности исхода код којих постоји проблем да ли ће бити премашене.

Предности *Monte Carlo* симулације укључују следеће:

- метода, у суштини, може да прилагоди било коју расподелу улазне променљиве, укључујући основну расподелу изведену посматрањем сличних система,
- модели се релативно лако развијају и могу да се прошире када је то потребно,
- било који утицаји или односи који настају у стварности се могу представити, укључујући суптилне ефекте као што су условне зависности,
- осетљиве анализе се могу применити за идентификацију слабих и јаких утицаја,
- модел се лако може схватити као однос између улазних података и исхода,
- модел пружа оцену тачности резултата,
- софтвер је лако доступан и релативно јефтин.

Недостаци *Monte Carlo* симулације су следећи:

- тачност решења зависи од броја симулација које могу да се изведу,
- ослања се на могућност да представи неизвесност параметара као валидну расподелу,
- велики и сложени модели могу бити изазов, али могу и отежати да се многи аналитичари укључе у процес,
- техника не може адекватно проценити велике последице и малу вероватноћу догађаја.

4.4.10 Предности и ограничења

Предности *FTA*:

- Помоћно средство при идентификовању ризика у комплексним системима;
- Омогућава фокусирање отказа за отказом без губљења целокупног оквира проблема;
- Даје преглед како откази/грешке могу да доведу до озбиљних последица;
- Они који већ имају нека знања о овој анализи лакше схватају крајње резултате;
- Пружа могућност процене вероватноће.

Ограничења у примени *FTA*:

- Метода је прецизна, али је сувише опширна;
- Захтева много времена, информација и рада, с тим у вези и велике издатке за сложене системе, па је потребно упоредити трошкове које изазива појава релевантног нежељеног догађаја са трошковима анализе;
- Захтева аналитичара који добро познаје и методолошке поступке и предмет анализе (елемент, подсистем и систем у целини);
- Захтева детаљну документацију која треба да буде доступна;
- За реалне системе условљена је примена компјутера уз одговарајуће програмске пакете;
- Због појаве великог броја минималних скупова пресека, неопходно је вршити поједина занемаривања, тј. не узимају се у обзир сви откази који доводе до вршног догађаја, већ само они које усвоји аналитичар као највероватније, што утиче на објективност резултата;
- Постоје потешкоће при утврђивању података о поузданости елемената;
- Објективност добијених резултата умногоме зависи од тачности статистичких података;
- Тешкоће у тумачењу добијених резултата анализе.

4.5 Анализа стабла догађаја

За анализу поузданости и ризика у системима са могућим акцидентима посебно су значајна стабла догађаја (*Event Tree*) и стабла одлука (*Decision Tree*). То су индуктивне логичке методе за идентификацију различитих могућих исхода почетног (иницијалног) догађаја, а разликују се по томе да ли људска контрола може да утиче на исходе (случај стабла одлука) или не може (случај стабла догађаја).

Анализа стабла догађаја (*Event Tree Analysis – ETA*) јесте метода за процену потенцијалних неповољних исхода изазваних конкретним отказом опреме, система или људском грешком, који се у овом случају називају „иницијални догађај“. Анализа стабла догађаја је аналитичка техника за истраживање безбедности система, примењива на физичке системе са или без оператера и на менаџмент системе као подршка одлучивању. Она разматра реакцију оператера или заштитног система на иницијални догађај при одређивању потенцијалних нежељених исхода. Веома је слична анализи стабла отказа, само што се схематски приказује хоризонтално, и обично слева удесно, а *FTA* вертикално и од врха ка дну. Комплементарна је са другим техникама анализе поузданости и безбедности система, нпр. *FME(C)A*.

Резултати овакве анализе јесу низови догађаја, односно хронолошки распоређене групе отказа и грешака које доприносе хаварији, несрећи или катастрофи. Резултати описују могући исход кроз низове догађаја, кроз успешну реакцију (безбедан систем) или отказе заштитних функција (изгубљена продуктивност, оштећење погона или опреме, повреде или фатални исход), који следе након иницијалног догађаја.

Анализа стабла догађаја врло добро се примењује на системима са већ постојећим заштитним системом или процедуром као одговор на конкретне иницијалне догађаје. За примену *ETA* потребно је познавање иницијалних догађаја (откази опреме или поремећаји система који потенцијално могу изазвати акцидент) и познавање заштитних система или процедура које потенцијално могу умањити утицај иницијалног догађаја.

4.5.1 Значај *ETA*

Значај *ETA* огледа се у следећем:

- Проучава реакције и одговоре система на иницијалне догађаје и омогућава процену вероватноће успешног или неуспешног реаговања, као и последице таквог исхода.
- Погодна је за откривање могућих стања и следа догађаја који су неповољни за понашање система у дужем времену и за укључивање у разматрање одлука којима се процес може усмеравати.
- Значајна је за анализу ризика технолошких система, као и за идентификацију мера за побољшање система заштите и других безбедносних функција.
- Очекивана вероватноћа низова догађаја може бити квантификована уколико је позната вероватноћа појединачних догађаја.

4.5.2 *ETA тим*

Анализа стабла догађаја може се спровести од стране једног аналитичара, али је уобичајено да се ангажује тим од два до четири стручњака. Тимски приступ побољшава анализу, што резултира бољим дефинисањем структуре догађаја. Тимом руководи лидер који организује и води састанке. Поред тога, једна од његових основних активности јесте стално подизање ефективности анализе.

4.5.3 *ETA ресурси*

Време и трошкови за анализу стабла догађаја изузетно зависе од броја и комплексности иницијалних догађаја и заштитних функција укључених у анализу. Потребно је три до шест дана за евалуацију неколико иницијалних догађаја у малој процесној јединици. За веће и комплексне процесне јединице потребно је две до четири недеље за евалуацију више иницијалних догађаја и одговарајућих реакција заштитних функција.

4.5.4 *Подручје примене ETA*

Анализа стабла догађаја се користи:

- у фази пројектовања, ради идентификовања потенцијалних акцидентата изазваних претпостављеним иницијалним догађајима; резултати се користе за дефинисање безбедносних детаља који ће се уврстити у пројекат система;
- у фази експлоатације, за процену адекватности постојећег заштитног система или за испитивање потенцијалних исхода отказа опреме.

4.5.5 *Методологија*

Анализа стабла догађаја спроводи се коришћењем седам корака:

1. дефинисање система;
2. идентификовање иницијалног догађаја;
3. идентификовање система заштите;
4. креирање стабла догађаја (моделирање секвенци догађаја);
5. усвајање стабла догађаја;
6. оцена стабла догађаја;
7. документовање препорука за доношење одлука о потребним корективним мерама.

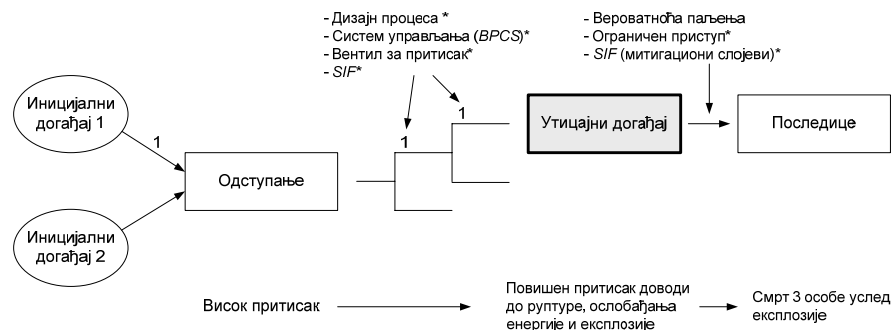
Први корак стандардан је за све анализе – дефинише се предмет процене и његове границе.

Иницијални догађаји (узроци) представљају све поремећаје у систему који захтевају активирање система заштите. Приликом дефинисања иницијалног догађаја треба одговорити на следећа питања (Rausand, 2005):

- О којој врсти догађаја се ради? (нпр. цурење гаса, пожар);
- Где се дешава почетни догађај? (нпр. производна хала);
- Када се догађај дешава? (нпр. током одржавања).

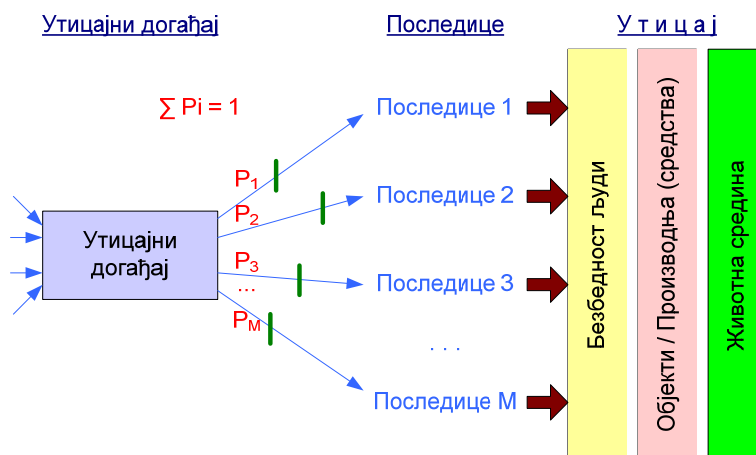
Иницијални догађај може бити: отказ система или отказ опреме (губитак енергента, разна попуштања и пуцања, случајне обуставе рада постројења и сл.), грешка процеса, грешка оператора. Иницијални догађај може бити претпостављен. За сваки догађај потребно је идентификовати: потенцијално ширење акцидента, зависности у систему, условне одговоре система и сл.

Иницијалним догађајем (*initiating cause*) почиње ланац догађаја који доводи до нежељеног утицаја на процес (нпр. губитак расхладне воде). Иницијални догађаји увек су представљени својом учесталашћу (Слика 4.16). Могу се односити на отказе опреме, грешке процеса или оператора.



Слика 4.16. Пример иницијалног и утицајног догађаја

Утицајни догађај (*impact event*) јесте догађај у коме су присутни први знаци штете по људе, имовину или животну средину (нпр. надпритисак у сепаратору који доводи до оштећења сепаратора, испуштања запаљиве течности и експлозије). Утицајни догађај може имати различите последице (Слика 4.17).



Слика 4.17. Утицајни догађај – анализа последица

Већина добро пројектованих система има имплементирану бар једну баријеру (пожељно је да их буде више), тј. *систем заштите* који ће елиминисати или умањити последице потенцијалних акцидената. Вероватноћа да ће акцидент водити до нежељених последица зависи од тога да ли ће заштитни системи функционисати или не. Последице могу да зависе и од накнадних догађаја и новонасталих фактора:

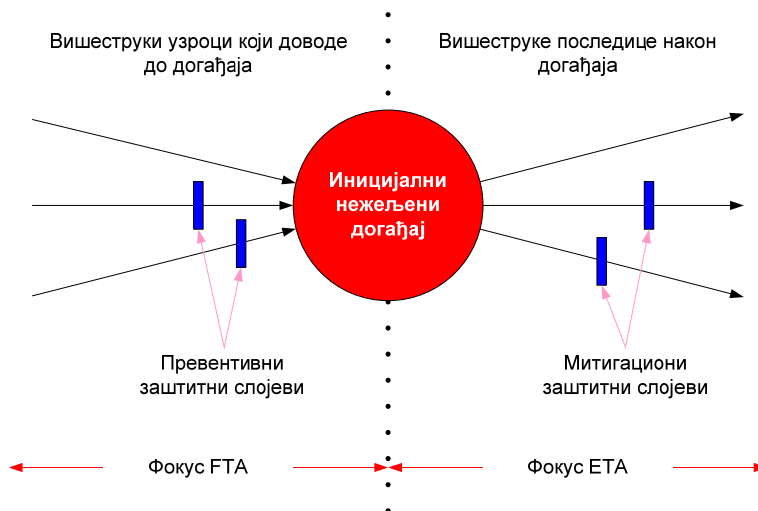
- Да ли ће доћи до запаљења гаса који цури или не?
- Да ли су запослени у тренутку када се догађа акцидент присутни или нису?
- Какав је смер ветра у тренутку дешавања акцидента?

Системи заштите могу да буду техничке или организационе природе (процедуре, правила и сл.). У систему могу да постоје и превентивни и митигациони заштитни слојеви (Слика 4.18).

Превентивни заштитни слојеви:

- Пројекат процесног постројења (технолошког система) треба да омогући што бољу заштиту, односно спречи опасности колико год је то могуће.
- Систем за управљање процесом одржава процесне променљиве унутар безбедних граница и може се сматрати превентивном заштитом.
- Алармни системи морају бити независни од система који прате; активирају се у случају отказа система за управљање процесом и опомињу оператера да је потребно његово укључивање у процес.

- Оператери су активно укључени у заштитне слојеве који се тичу аларма и система мониторинга (ово може бити оправдано, али се не препоручује за критичне ситуације).
- Физичка заштита (блокада процеса).



Слика 4.18. Фокус ETA/FTA и заштитни слојеви

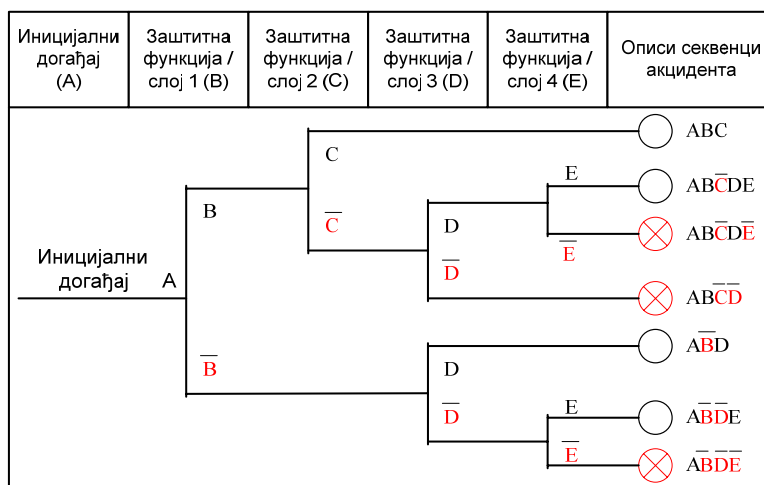
Митигациони заштитни слојеви:

- Репресивна заштита (системи за дојаву пожара, системи за детекцију гасова, системи за гашење пожара).
- Одговор предузећа на ванредне ситуације.
- Одговор локалне заједнице на ванредне ситуације.

Системи заштите за сваки појединачни акцидент треба да буду пописани по редоследу којим би требало да се активирају у случају појаве акцидента, на пример: аутоматски системи детекције (нпр. откривање пожара), аутоматски безбедносни системи (нпр. систем за гашење пожара), аларми који упозоравају запослене и оператере, процедуре и акције оператера.

Креирање стабла догађаја почиње дефинисањем иницијалног догађаја. Иницијални догађај у стаблу догађаја по правилу је отказ виталне компоненте система (квар неког дела опреме или инструмента, погрешан потез оператера), а онда следи одређени број гранања (отуда потиче и израз стабло), у зависности од фактора који могу утицати на развој догађаја. Значи, стабло догађаја почиње иницијалним догађајем, од кога се развијају један или више ланаца међудогађаја, да би се завршило различитим крај-

њим исходима. Оваква стабла имају једну или више грана које представљају могућности дешавања више догађаја. Те гране одређују какве су последице могуће као крајњи исходи (Слика 4.19). Дакле, крајњи исходи налазе се на крају сваке гране и њихова вероватноћа одређује се праћењем низа догађаја који води од иницијалног догађаја до крајњег исхода (број могућих исхода је функција броја догађаја у свакој грани). Свакој грани припада њена вероватноћа догађаја, као и сваком догађају у грани. Типично је да један догађај има више крајњих исхода, па тако гране имају своје подгране. Гране у стаблу догађаја најчешће су комплементарни догађаји. На пример, догађај у некој грани могао би бити отказ сигурносног вентила. Група догађаја састоји се од два догађаја, и то: сигурносни вентил је отказао (1) и сигурносни вентил је одрадио (2). Мада се комплементарни догађаји често дешавају, ипак то није увек случај. Рецимо, један догађај који ствара три гране може бити агрегатно стање хемијске супстанце која се ослободила, а оно може бити: чврсто (1), течно (2), гасовито (3). У том случају ова група догађаја не мора бити узајамно искључива. Када се ослободи течни нафтни гас, агрегатно стање може бити у исто време гасовито и течно, па су обе гране важеће.



Слика 4.19. Пример одређивања вероватноће крајњег исхода

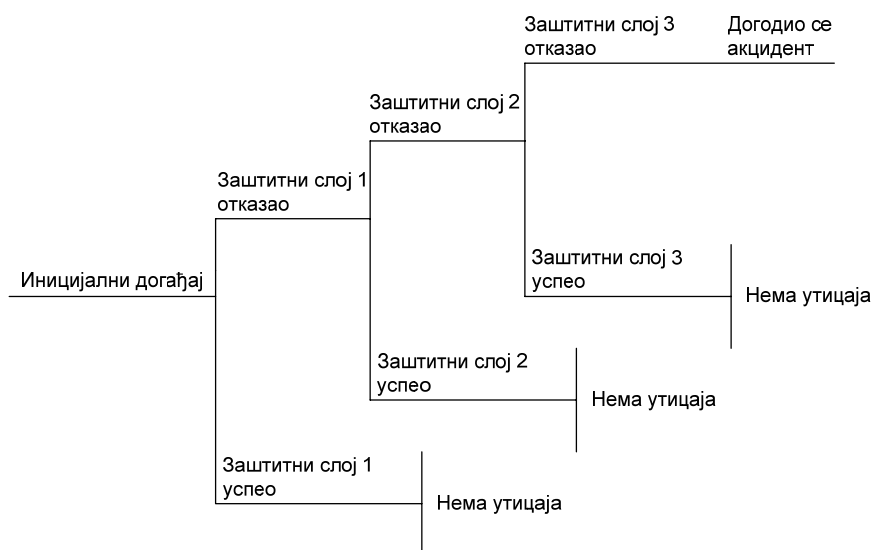
Различити начини реализовања иницијалног догађаја називају се секвенце догађаја. Једна секвенца састоји се од иницијалног догађаја и отказа елемената, који воде до нежељене последице (пожара, експлозије, контаминације и сл.). Секвенце се завршавају успехом или неуспехом, и тако приказују различито понашање система заштите.

Усвајању стабла догађаја претходи контрола тачности и комплетности стабла. Провера тачности и комплетности стабла догађаја врши се са циљем утврђивања евентуалних пропуста и/или грешака, с обзиром да мора бити задовољена намена стабла и функционална условљеност и логика реализације иницијалног догађаја, што претпоставља адекватно дефинисане и условљене последице.

4.5.6 Квалитативна и квантитативна анализа стабла догађаја

Квалитативна анализа подразумева анализу секвенци догађаја, као и анализу узрока отказа заштитних слојева. Уколико су у поступку формирања стабла догађаја анализирани само независни системи заштите (независни заштитни слојеви), таква анализа назива се анализа заштитних слојева (*Layer of Protection Analysis – LOPA*). Независни слој заштите јесте слој чије функционисање није условљено понашањем других заштитних слојева.

Анализа заштитних слојева (Слика 4.20) јесте варијанта анализе стабла догађаја која је ограничена и оптимизована за специфичне ситуације. Под специфичношћу ситуације подразумева се да иницијални догађај (узрок) може довести до акцидента, али један или више независних слојева заштите могу спречити да се акцидент деси.



Слика 4.20. Пример стабла догађаја

Улази у *LOPA* укључују: основне информације о ризицима, као и опасности које су идентификоване помоћу прелиминарне анализе опасности (*Preliminary Hazard Analysis – PHA*), информације о контролама – заштитним слојевима, фреквенције иницијалних и утицајних догађаја, вероватноће отказа заштитних слојева, мере последица и дефиниције прихватљивог ризика.

Илази из *LOPA* су: препоруке за било какву даљу контролу и ефикасност ових контрола у смањивању ризика, процена нивоа заштите (*Safety Instrumented Level – SIL*), када је у питању безбедност аутоматских система заштите (*Safety Instrumented System – SIS*), учесталост појединих акцидентата (када је у питању квантитативна анализа).

Квалитативна *LOPA* којом се дефинише број заштитних слојева, може да се користи у комбинацији са графиком ризика за поправак категорије вероватноће, или *SIL*.

Пре *SIL* селекције потребно је утврдити колики је ризик у процесу пре имплементације заштитног система. Погрешно изабране вредности *SIL* главни су узроци акцидентата у различитим индустријама. За одређивање *SIL* користе се матрице (Слика 4.21) и график ризика.

		Тежина последица		
		Мале	Озбиљне	Веома велике
Вероватноћа	Велика	SIL 2	SIL 3*	SIL 3*
	Средња	SIL 1	SIL 2	SIL 3*
	Мала	NR	SIL 1	SIL 3*

Слика 4.21. Матрица ризика ANSI/ISA-84.01-1996 у коме не постоји категорија *SIL4*

Типичне категорије последица и вероватноће које се примењују у матрицама ризика приказане су у табели 4.21. и 4.22.

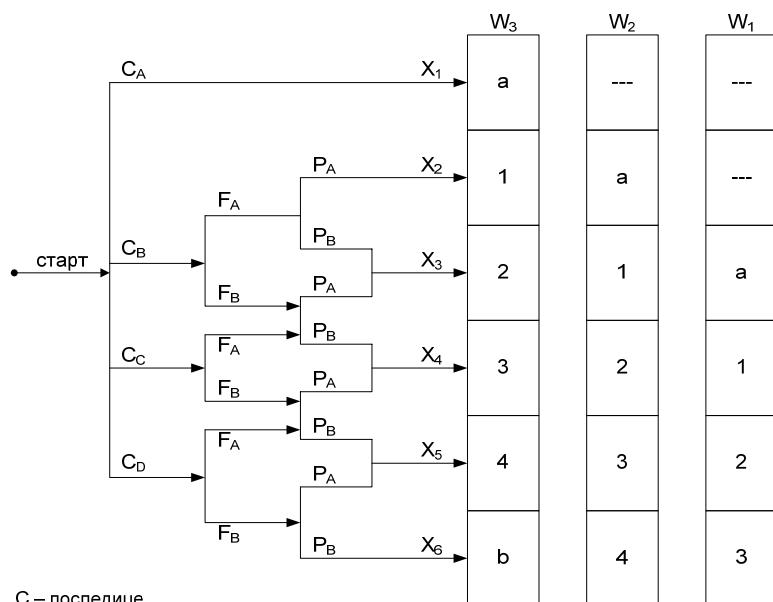
Табела 4.21. Типичне категорије последица које се примењују у матрицама ризика

Категорије према тежини последица	Опис
Лаке	Захватају у почетку ограничен простор или се односе на само један догађај, али се могу проширити ако се благовремено не предузму корективне акције.
Озбиљне	Последице које могу изазвати озбиљне повреде или погибије у погону или ван њега, као и материјалне штете до пет милиона <i>US</i> долара у погону, односно један милион ван погона.
Тешке	То су последице које су пет пута теже од озбиљних последица.

Табела 4.22. Типичне категорије вероватноће за примену у матрицама ризика

Категорије вероватноће	Учесталост годишње	Опис
Мала	$<10^{-4}$	Отказ или низ отказа са врло малом вероватноћом да се догоде у току радног века погона.
Средња	$10^{-2}-10^{-4}$	Отказ или низ отказа са малом вероватноћом да се догоде у току радног века погона.
Велика	$>10^{-2}$	Отказ за који се резонски може очекивати да се догоди у току радног века погона.

График ризика квалитативни је алат за процену ризика. У графику ризика су заступљене категорије: вероватноће догађаја, последица, запоседнутости простора и вероватноће да особље избегне опасност (Табела 4.23, 4.24, 4.25, 4.26). На слици 4.22 приказан је график ризика према међународном стандарду *IEC 61508:2003* који дефинише четири нивоа *SIL*.



C – последице
 F – запоседнутост простора
 P – вероватноћа избегавања опасности
 W – учесталост догађаја
 a – означава да не постоје посебни захтеви за редукцију ризика (није потребно уградити SIS)
 b – означава да уграђени SIS није довољан да редукује ризик до прихватљивог нивоа
 „---“ упућује да није потребна никаква сигурносна функција да би систем био безбедан
 Бројне ознаке представљају одговарајуће нивое SIL

Слика 4.22. График ризика (IEC 61511:2003)

Табела 4.23. Типичне категорије последица изражене путем вероватноће губитка живота

Категорија	IEC 61511-3	IEC 61508
C_A	Мање повреде	Мање повреде
C_B	$PLL = 0.01 - 0.1$	Озбиљне повреде или погибије
C_C	$PLL = 0.1 - 1.0$	Вишеструке погибије
C_D	$PLL > 1.0$	Велики број смртних исхода

Табела 4.24. Типичне категорије последица изражене у облику величине угрожаваања околине

Категорија	Опис	Додатне напомене
C_A	Ослобађање опасних материја са малим ефектима по околину, али довољно велико да би се известила управа погона.	Умерено цурење из прирубнице или вентила, мања бара изливене течности, мање загађење тла без ефекта на подземне воде.
C_B	Ослобађање опасних материја унутар оgrade фабрике које изазива већу штету.	Облак штетног гаса излази ван граница постројења након оштећења на цевоводу или компресору.
C_C	Ослобађање опасних материја које излази ван оgrade фабрике, које изазива веће штете, али које могу бити брзо отклоњене, без тежих накнадних ефеката по околину.	Ослобађање штетних пара или аеросола, са и без појаве киселих киша, које изазивају привремене штете на биљкама или животињама.
C_D	Ослобађање опасних материја које излази ван оgrade фабрике, које изазива веће штете, које не могу бити брзо отклоњене или изазивају дуготрајне ефекте по околину.	Изливање штетних течности у реку или море. Ослобађање штетних пара или аеросола, са и без појаве киселих киша, које изазивају дуготрајне штетне последице на растињу и животињама. Таложење чврстих честица из атмосфере (прашине, чађи, пепела). Изливање течности које може угрожити подземне воде.

Уз помоћ графика *SIL* се одређује тако што се уцртава пут од почетне тачке на левој страни до квадратних поља на десној страни, праћењем претходно изабраних категорија за последице, запоседнутост простора и вероватноће избегавања опасности. Комбинација ових трију категорија одређује који ће ред бити изабран. Које ће од три квадратна поља у реду бити изабрано, зависи од категорије учесталости захтева W_1 , W_2 , или W_3 (Табела 4.27).

Табела 4.25. Типичне категорије запоседнутости простора

Категорија	Опис
F_A	Ретка или нешто чешћа изложеност особља у зони ефеката акцидента. Зона ефеката је запоседнута мање од 10% укупног времена.
F_B	Честа или перманента присутност људи у зони ефеката акцидента.

Табела 4.26. Типичне категорије вероватноће избегавања опасности

Категорија	Опис	Услови за избор P_A
P_A	Одабрати ако су испуњени неки од услова наведени у колони десно.	Руководалац ће бити алармиран ако дође до отказа у заштитном систему <i>SIS</i>. Постоје независне инсталације од <i>SIS</i> да се опасност предупреди или омогући евакуација из потенцијално опасне зоне. Време од момента кад руководалац прими упозорење о опасном стању у процесу и појаве акцидента веће је од један сат или је дефинитивно довољно за неопходне акције.
P_B	Услови из десне колоне нису испуњени.	

Табела 4.27. Типичне категорије учесталости догађаја

Категорија	Опис
W_1	Мање од 0.03 пута годишње.
W_2	Између 0.03 и 0.3 пута годишње.
W_3	Између 0.3 и 3 пута годишње (Напомена: График ризика не важи ако је учесталост догађања већа од 3 пута годишње).

У графику ризика поступак се одвија на исти начин за све параметре, осим за категорије учесталости догађаја. Категорију учесталости треба одредити само на основу иницијалног догађаја, јер се у тој фази поступка заштитни слојеви не узимају у обзир. Након што су одабране све категорије ризика, при чему су узети у обзир само иницијални догађаји, одређују се заштитни слојеви. Број заштитних слојева користи се за поправак било категорије вероватноће било самог *SIL*.

Нека су, на пример, категорије учесталости догађаја – W_1 , W_2 и W_3 . Ако учесталост иницијалног догађаја спада у категорију W_3 и ако постоји један заштитни слој који може да спречи акцидент, категорија треба да се промени у W_2 . Ако постоје два таква заштитна слоја, категорија учесталости догађаја треба да буде W_1 . На сличан начин, ако категорија W_3 доводи до селекције *SIL* 4, постојање једног заштитног слоја условљава да се *SIL* 4 преведе у *SIL* 3.

Поступак *квантитативне анализе* је следећи (ISO 31010:2009):

- идентификују се иницијални узроци нежељеног исхода, њихове фреквенције и последице;
- изабере се пар узрок–последица;
- идентификују се и анализирају слојеви заштите који спречавају да узрок доведе до нежељених последица;
- процењује се вероватноћа отказа сваког заштитног слоја;
- фреквенција иницијалног узрока се комбинује са вероватноћама отказа или успеха сваког независног заштитног слоја да се одреди фреквенција нежељене последице.
- израчунати ниво ризика упоређује се са прихватљивим нивоима ризика да би се утврдило да ли је потребна додатна заштита.

Вероватноћа исхода везана је за иницијални догађај и заштитне слојеве преко логичког *I* кола. То значи да учесталост иницијалног догађаја треба помножити вероватноћама отказа свих заштитних слојева да би се добила вероватноћа исхода.

На основу резултата оцене стабла догађаја одређују се главне баријере и утицајни фактори (откази и услови реализације), који доприносе реализацији појединих последица, што је и био циљ анализе. Стабло догађаја кориснику омогућава сагледавање критичних путева ка најнеповољнијој последици, као и прописивање мера за њихово спречавање или умањивање. Могуће мере су постављање нових система заштите, модификација постојећих система заштите, измене постојећих система или процеса, увођење нових или измена постојећих процедура и сл. Могуће активности су процена прихватљивости система током пројектовања, идентификација шанси за унапређење система или процеса, оправдање распоређивања средстава приликом рада на унапређењима система.

Важно је комплетно и следљиво описивање анализе (Слика 4.23), опсега, уведених претпоставки, коришћене документације, претпостављених алтернатива и предложених мера и активности, са циљем *документовања анализе и препорука за доношење одлука о потребним корективним мерама*.



Слика 4.23. Радни образаи за LOPA (Rausand, 2005)

4.5.7 Предности и ограничења

Предности *ETA*:

- Методичан приступ погодан за откривање могућих стања и следа догађаја;
- Већим делом применљива уз рачунарску подршку;
- Применљива на разним нивоима сложености система;
- Визуелна презентација односа узрока и последица;
- Релативно једноставна за примену;
- Добра основа за процену потреба за увођење нових процедура и функција безбедности.

Ограничења ETA :

- Свака анализа подразумева развој једног иницијалног догађаја.
- За моделирање реалних постројења потребан је већи број стабала догађаја;
- Не постоји стандард за графичко приказивање стабла;
- Знатан утицај аналитичара на укључивање свих зависности и утицаја;
- Детаљно познавање постројења и елемената за добру анализу;
- Лако могу да се превиде суптилне системске зависности;
- Непогодна за анализу понашања система у времену и укључивање у разматрање одлука којима се процес може усмеравати.



5. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ ЉУДСКЕ ПОУЗДАНОСТИ

5.1. *Анализа људске грешке*

5.2. *Приказ метода за процену људске поузданости*

5.3. *Метода процене и редукције људске грешке*

5. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ ЉУДСКЕ ПОУЗДАНОСТИ

Техничко-технолошки развој представља прогрес само ако су искључени извори и узроци опасности у радној и животној средини, који могу да угрозе здравље људи, природна и материјална добра. Међутим, и најбоља техничка решења безбедног функционсања система могу да буду угрожена због људске грешке. Због тога је приликом разматрања поузданости и безбедности техничких система незаобилазно питање поузданости људског фактора.

Схватање да основу поузданости производних система чини поуздан технички систем резултирало је високопоузданом техником и технологијом. Међутим, и у високопоузданим техничким системима и технолошким процесима долази до отказа чији је иницијални узрок ван њих самих. Ако се изузму узроци који су резултат деловања окружења на посматрани систем, најчешћи фактори непоузданости система јесу пропусти, погрешно или неблаговремено извршени, односно неизвршени задаци од стране човека (људи) (Grozdanovic, Stojiljkovic, & Josimovic, 2013).

Анализа литературе упућује на закључак да је човек непосредни узрочник 20–90% свих отказа система (у копненом транспорту 60–70%, у авиосаобраћају $\approx$ 75%, у индустрији $\approx$ 70%, у армији од 74% у мирно-допском периоду до 90% у ратним условима) (Савић, 1992).

Ако упросечимо удео људских грешака у иницирању акцидената на 50%, према резултатима истраживања Белова (Белов, 1996), удео осталих узрока је следећи: средства и предмети рада (18%), технологија (8%), простор за рад (16%), спољашњи фактори (8%). Ово сазнање условило је нагли пораст интересовања за проучавање поузданости човека са циљем елиминисања, односно редукције његових грешака.

5.1 Анализа људске грешке

Анализа људске грешке разматра људски удео у настанку неке опасности и ризика. Она се обично односи не само на идентификацију људске грешке него и на прелиминарну идентификацију мера за редукцију грешака.

Свака процена људске грешке обављена без адекватних процеса идентификације биће нетачна и неадекватна, тако да ће ниво ризика бити потцењен. Због тога је веома значајно да истраживач разуме холистичку

природу људске грешке унутар комплексних система и да је свестан различитих врста људских грешака које могу довести до акцидента. Такође је неопходно да се истраживач добро припреми за област и систем који истражује и да обезбеди све неопходне алате којима ће идентификовати све људске грешке поуздано и сигурно. Значи, он мора разумети основну природу различитих типова људских грешака које се могу догодити у комплексном окружењу.

Анализа људске грешке најзначајни је део у процени, јер ако је значајна грешка изостављена, она неће бити разматрана и резултати могу озбиљно потценити ефекат људске грешке на посматрани систем (Grozdanović, 2005a). Због тога је неопходно да се на сваком кораку у процедури дефинисања и у анализи активности, односно задатака разматрају следеће групе грешака (Swain & Guttman, 1983; Гроздановић, 1999):

- *грешка пропуста* – радња неизвршена (када се не спроводе одговарајуће одлуке, нпр. пропуштена – неизвршена радња);
- *грешка извршења* – радња извршена неадекватно (када се активности непотпуно извршавају, када је радња извршена у погрешној секвенци или превише рано или касно);
- *грешка погрешног извршења* – када се активности погрешно изведу.

Ово је хеуристички класификациони систем поделе људских грешака, који је развијен кроз искуство и експертизу поменутих истраживача у области људске поузданости. Ова подела није заснована на теоријским приступима, већ је изведена из проучавања различитих технолошких система, тј. из практичних анализа.

У анализи грешака, поред претходно поменуте класификације грешака, веома је важно придржавати се и системског приступа, који поред већ наведених узима у разматрање и узајамна дејства човека и система, па су стога важне и следеће групе грешака (Spurgin, Lydell, Hannaman, & Lukic, 1987; Grozdanović & Mladenović, 2004):

- грешке у поступку одржавања система које утичу на безбедност система (латентне грешке);
- грешке оператера које су иницирале несрећу;
- грешке у поступцима којима оператери могу зауставити акцидент (активирање система безбедности, гашење пожара) или могу поново успоставити почетно радно стање опреме и система;
- грешке које могу пролонгирати или погоршати ситуацију (пропуштена, лоша дијагноза).

Начин на који ова два приступа делују је, као прво, разматрање задатка или редоследа догађаја, а затим разматрање, у свакој фази, шта је оператер могао погрешно да уради (нпр. оператер је могао изоставити

окретање вентила, или га окренути у погрешном смеру). Ова два приступа укључују класификацију грешака и морају бити примењени на сам опис задатака, а онда и за разматрање поступака унутар описа, за идентификацију грешака, као и избор техника за квантификацију грешака, које ће се применити на посматрани систем.

Постоји још неколико типова грешака, *организационе* и *социо-техничке грешке*, које су битне за процену људске поузданости (Dorner, 1987):

- повећање тенденције за избегавање реаговања у ванредним ситуацијама;
- опадање воље за доношењем одлука;
- формулисање већег броја глобалних хипотеза;
- потешкоће у анализи експоненцијалног развоја несреће и сл.

Социо-техничке грешке врло су тешке за предвиђање, али се могу догодити у стварности. Тренутно најбољи начин поступања са социо-техничким грешкама на квалитативном нивоу јесте развијање добро организоване безбедносно-управљачке структуре, уз избегавање предрасуда или шаблонског понашања. Насупрот томе, најбољи начин за поступање са њима на квантитативном нивоу јесте уношење одређеног нивоа опрезности у сваку процену дијагноза. Грешке које такође морају бити правилно класификоване јесу оне које утичу на организацију, посебно у високоризичним системима.

Главне предности класификационог система људских грешака су следеће:

- истраживачу нуди структуру за идентификацију грешака, или ретроспективно, за класификацију догађаја;
- нуди средства за приказивање идентификације људских грешака поуздано и са могућношћу понављања, све до нивоа када два независна истраживача могу да идентификују исте грешке;
- може дефинисати основне разлоге и узроке грешака, те тако учинити процену луциднијом;
- нуди средства којима подаци о људским грешкама могу бити прикупљани, упоређивани са идентификованим људским грешкама и затим предвидљиво квантификовани;
- теоретски, добар класификациони систем ће појачати (а понекад чак и гарантовати) опсежност процеса идентификације грешака, тако да неће бити пропуста грешака.

Међутим, у свему овоме постоје два проблема или два недостатка класификације, и то:

- ако класификациони систем није комплетан, важне грешке могу бити изостављене из анализе и

- ако је класификација грешака нетачна или површна, разлике у типологији грешака могу се превидети, што касније води према неодговарајућој и нетачној квантификацији људске грешке.

Класификациони системи људских грешака користе се на три начина:

- за анализу акцидентата: идентификовати шта се десило, а затим спречити понављање и извести закључке из таквих анализа;
- за идентификацију људских грешака: идентификовати грешке које могу имати утицај на функционисање система, као и на ниво ризика у њему;
- за квантификацију људских грешака: упоредити постојеће податке о идентификованим људским грешкама ради квантификације вероватноће људске грешке.

Класификација људских грешака је ослонац идентификације људских грешака, њена инфраструктура и грађа. Када се одвија процедура идентификације људских грешака, користи се и систем класификације, било имплицитно или експлицитно, на бази модела или интуиције и на приближан или прецизан начин.

Фаза идентификације људске грешке најкритичнија је фаза у процесу процене људске поузданости јер ако су грешке пропуштене у овој фази, оне неће бити квантификоване или смањене, него ће остати као скривене, латентне грешке у самој процени. Највећи напор мора се фокусирати на покушај развијања свеобухватног система, а само додатни напор на поправљање његове поузданости, што је можда и разумљиво, пошто свеобухватан систем може имати бољи учинак од поузданог али несвеобухватног, поготово ако га користи више истраживача (Grozdanovic & Vuckovic, 2002).

Развој метода за идентификацију људске грешке значајан је, јер добро урађена идентификација јесте добра основа за квантификацију људске грешке. Постоји више метода које имају примену у анализи људских грешака са циљем смањења потенцијалних акцидентата. Оне се заснивају превасходно на психолошко-ергономским принципима при идентификацији грешке. Неке од њих су:

- Системско предвиђање и редукција људске грешке (*Systemic Human Error Reduction and Prediction Approach – SHERPA*) (Embrey, 1986);
- Генерички систем моделирања грешке (*Generic Error Modelling System – GEMS*) (Reason & Embrey, 1986; Reason, 1987; 1990a; 1990b);
- Анализа потенцијалних узрока људске грешке (*Potential Human Error Causes Analysis – PHECA*) (Whalley, 1988);

- Анализа опасности и операбилности (*Hazard and Operability Analysis – HAZOP*) (Kletz, 1986).

Међутим, приликом употребе било које методе за идентификацију људске грешке пажња се мора усредсредити:

- на идентификацију екстерног механизма грешке (*External Error Mechanism – EEM*): све људске грешке могу бити категорисане у спољашње механизме грешке (нпр. „грешка пропуштања“ или „неурађено“ ако оператер не реагује на аларм);
- на идентификацију психолошког механизма грешке (*Psychological Error Mechanism – PEM*): ови описи дефинишу, у психолошком и/или ергономском смислу, како се грешка заиста десила (нпр. „грешка у реакцији“ може бити или због погрешног разумевања сигнала или због смањених могућности оператера);
- на идентификацију фактора обликовања учинка (*Performance Shaping Factors – PSF*): фактори који утичу на перформансе оператера (временска ограничења, адекватна обука или адекватне процедуре...) могу бити корисни приликом идентификације људске грешке (Grozdanovic, 2005b).

Све методе за идентификацију људске грешке идентификују типове спољашње грешке, јер је то неопходан корак у интеграцији елемента људске грешке у оцењивању вероватноће безбедности. Ако су и фактори обликовања учинка идентификовани, то може имати утицаја на оне методе које користе те факторе као део процеса квантификације. Ако су и фактори обликовања учинка и психолошки механизми грешке идентификовани, онда је извесно коришћење стварних података за квантификацију вероватноће људске грешке, све док се зна који механизми и који фактори обликовања учинка подржавају податак (под претпоставком да је такав податак расположив) (Grozdanovic & Stojiljkovic, 2006).

Разлика између екстерних и психолошких механизма посебно је важна ако се жели постићи редукција грешке. Дакле, ако су познати механизми грешке, ефективни механизам редукције биће јасније наведен. Процес редукције људских грешака захтева правилно разумевање саме грешке, а не једноставно, грубо описивање грешке (нпр. оператер притиска тастер), јер постоје различити разлози зашто се људска грешка може догодити (неадекватна обука, неодговарајући стереотипи којима је привржен оператер, неадекватно обележавање, дизајн или изглед радног простора...) (Stojiljkovic, Grozdanovic, & Cenic, 2011). Постоје четири начина за редукцију људских грешака, и то: превенција путем промене у хардверу или софтверу, повећање системске толеранције, повећање корекције грешке и редукција грешке у извору. Прва два начина за смањење утицаја људске грешке на анализиран систем усмерена су на смањење системског нивоа ризика и

смањење последица преко промена у самом систему, захтевају тимски рад експерата људске поузданости, ергонома и дизајнера система. Друга два начина имају за циљ смањење вероватноће људске грешке. Хел и Глендон (Hale & Glendon, 1987) предлажу још неке аспекте редукције. То су: повећање предвидљивости, повећање опажања, повећање нивоа управљања, повећање вештина и надлежности оператера, стратегије за редукцију грешке.

Међутим, приликом примене метода идентификације грешке јављају се извесни проблеми, и то приликом доношења одлука, на пример, када оператер покушава да постави дијагнозу у ванредној ситуацији. Велики број несрећа које су се десиле у блиској прошлости (Чернобил (*Chernobyl*), Бопал (*Bhopal*), Острво Три Миље (*Three Mile Island*)...) показале су да је једна од најзначајнијих потенцијалних људских грешака погрешна дијагноза током ванредних ситуација, иако је тешко предвидети форму те погрешне дијагнозе. Ова форма је битна с обзиром на то да погрешна дијагноза може довести до несигурног стања или акцидента, али може довести и до погоршања стања ствари које су се могле догодити уколико оператери нису интервенисали. Једна од метода којом је покушано да се утврди природа могућих погрешних дијагноза јесте помоћу матрица које се састоје од различитих могућих сценарија, подељених на симптоме. Друга истраживања базирана су на симулацији оператера (Woods, Roth, & Pople, 1987).

Значи, анализа људске грешке требало би да укаже на главне тачке у низу, где би откриће грешке било могуће, на пример, преко индикација (појављивање аларма) и преко провере и интервенције других чланова персонела. Анализа људске грешке значајан је извор који се може искористити за идентификацију грешке. Многи професионалци који се баве анализом ризика стичу искуство идентификујући грешке у студијама безбедности или из оператеровог искуства или као учесници у безбедносним анализама. Због тога је вредно усвојити хибридне моделе идентификације грешака, као и користити формалне системске методе. Изрека „две главе су паметније од једне“ нарочито је тачна у анализи и идентификацији грешака.

5.2 Приказ метода за процену људске поузданости

Проучавање поузданости човека, у смислу формирања јединствене методологије за њену квантификацију, посебно је интезивирано актуализацијом проблема безбедности и ризика система, због великог енергетског капацитета производних система и примене нових технологија и материјала. Ово указује на неопходност процене поузданости човека као интегралног дела процене ризика система. У ову процену треба укључити не само оператере (непосредне извршиоце одређених задатака) већ и људе који су укључени у глобалну организацију и управљање системом.

На поузданост човека утиче велики број фактора. Због тога се она изражава великим бројем показатеља. Фактори поузданости оператера могу се поделити у пет група (Савић, 1992):

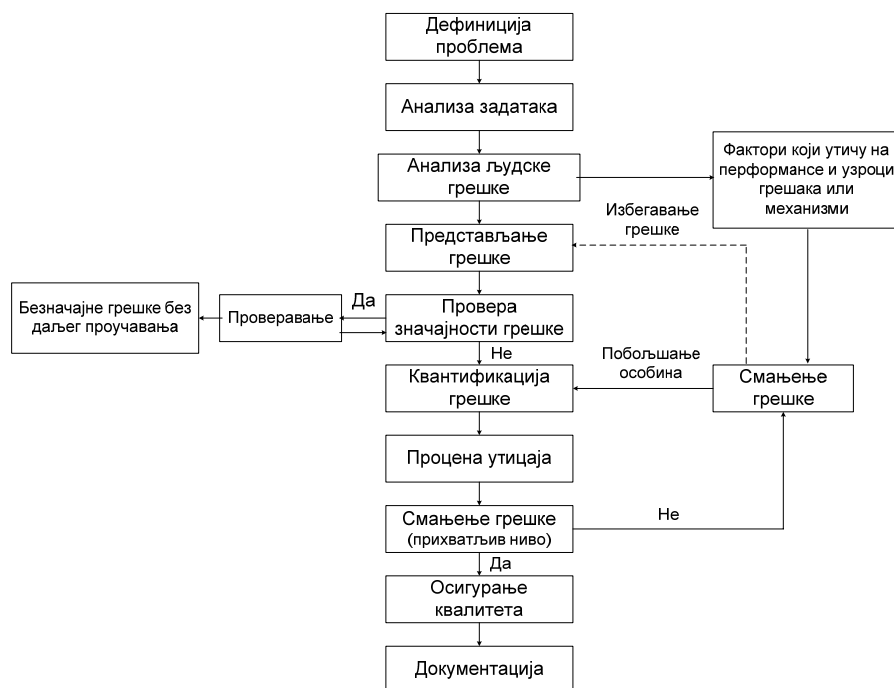
- *психофизиолошке карактеристике* (карактеристике чула, брзина дејства, тј. време реакције оператера);
- *функционално стање* (монотонија, замор, преоптерећење, стрес);
- *фактори материјалне средине* (микроклима, осветљење, бука);
- *фактори радног места* (прилагођеност радног места антропометријским и психофизиолошким карактеристикама оператера);
- *сложеност задатка* (моторни или логички задаци).

С обзиром да је практично немогуће изградити безопасна и савршена средства рада, потпуно искључити грешке човека приликом радне делатности, обезбедити потпуну изолацију људи и средства за рад од негативних утицаја фактора радног простора, целисходније је изабрати такву организацију радне делатности која ће уважити реалне могућности појаве иницијалних фактора ризика и садржати мере, поступке и средства за благовремено елиминисање услова или смањење последица реализације ових фактора (Grozdanovic & Stojiljkovic, 2005a, 2005b).

По Кирвану (Kirwan, 1994) за успешно решавање проблематике процене људске поузданости потребан је системски прилаз који се састоји од десет методолошких корака (Слика 5.1), и то:

1. дефиниција проблема – дефинише могућа стања отказа проузрокованих људским грешкама;
2. анализа задатака – формирање детаљних описа задатака које човек врши да би постигао циљеве система и идентификација могућих грешака при реализацији тих задатака;
3. анализа људске грешке – идентификација грешака које угрожавају карактеристике система и могућих начина за смањивање броја грешака и редуковање последица тих грешака;
4. представљање грешке – моделирање процеса развоја грешке, уз логичке претпоставке и уз могућност квантификовања последица те грешке;
5. проверање значајности грешке (рангирање грешке) – врши се на основу критеријума о утицају грешке на квалитет функционисања система, узимајући у обзир само оне грешке које битно утичу на промену тог функционисања;
6. квантификација грешке – врши се са циљем да се одреде вероватноћа људске грешке и вероватноћа исправке учињене грешке, како би систем могао да функционише у складу са постављеним циљевима;

7. процена утицаја – где се оцењује како поузданост човека утиче на поуздано функционисање целог система и постизање системских циљева и, ако је потребно, које су примарне људске грешке и фактори који негативно утичу на поузданост система;
8. смањење грешке – одређивање конкретних начина и средстава за повећање поузданости човека путем смањивања и минимизирања његових грешака;
9. осигурање квалитета – инсистирање на одржавању захтеваног нивоа квалитета производа или система и смањивању грешке човека само до тог нивоа којим се не угрожава захтевани квалитет;
10. документација – израда документације која садржи адекватну базу података путем које је процењивање људских грешака разумљиво, проверљиво и применљиво.



Слика 5.1. Кораци у процени људске поузданости (Kirwan, 1994)

Последњих деценија интензивно се ради на проучавању људских грешака као важног елемента квалитета и безбедности техничких система.

За правилну анализу људске грешке потребно је обезбедити адекватне податке, квалитетну обраду информација и правилно повезивање различитих база података. Постоје два основна типа података о људској грешци (Grozdanovic & Vuckovic, 2002):

- квалитативни подаци, на основу којих се одређује главна стратегија смањења људске грешке, као и одређена специфична смањења људске грешке;
- квантитативни подаци, који могу бити у облику релативног податка, „вероватноћа грешке a је $1/2$ грешке b “, или апсолутног податка, нпр. „вероватноћа грешке a је 0.1 “.

Индустријске студије о акцидентима идеалан су извор података о људским грешкама, али многи разлози отежавају добијање таквих података (Стојиљковић, 2011):

- тешкоће при процени броја могућности да се грешка догоди у сложеним задацима,
- поузданост података,
- поверљивост, односно одсуство жеље да се подаци публикују,
- различити узроци и механизми грешке,
- непостојање свести о корисности евидентирања и сакупљања података,
- застаривање података, с обзиром на перманентно иновирање технологије и захтева радног места,
- неадекватне генерализације експерименталних података,
- дуго време неопходно за прикупљање потребних података итд.

Постојање тако сложених питања попут ових довело је до приступа који се не ослања на податке, већ на коришћење експертског мишљења. Експертско оцењивање примењује се онда када је оцењивање објеката или њихових карактеристика немогуће реализовати објективним мерењем, као и у условима неизвесности, када се не располаже потребним полазним информацијама. Користећи висок степен знања, искуство, интуицију, познавање понашања елемената у истим или сличним условима, експерти доносе суд о највероватнијој реализацији елементарних догађаја, њиховом међусобном односу и њиховом утицају на укупан ризик система (Цхадая, Подосенова, 2008).

У бројним иностраним и домаћим радовима анализиране су методе које се користе за процену људске грешке, засноване на експертском оцењивању (Swain & Guttman, 1983; Seaver & Stillwell, 1983; Williams, 1986; Comer, Seaver, Stillwell & Gaddy, 1984; Kirwan, 1994; 1995; Grozdanovic & Savic, 2001; Grozdanovic, 2005a; Стојиљковић, 2011; Stojiljkovic, Grozdanovic, & Stojiljkovic, 2012). То су следеће методе:

1. Метода апсолутне вероватноће процене (*Absolute Probability Judgement – APJ*);
2. Метода парног поређења (*Paired Comparisons – PC*);
3. Метода процене и редукције људске грешке (*Human Error Assessment and Reduction Technique – HEART*);
4. Метода за предвиђање нивоа људске грешке (*Technique for Human Error Rate Prediction – THERP*);
5. Метода индекса вероватноће успеха (*Success Likelihood Index Method – SLIM*);
6. Метода дијаграма утицаја приближавања (*Influence Diagrams Approach – IDA*);
7. Метода поузданости људске когнитивности (*Human Cognitive Reliability – HCR*);
8. Емпиријска техника за процену грешке оператера (*Tecnica Empirica Stima Errori Operatori – TESEO*).

Све методе за квантификацију људске поузданости заснивају се на израчунавању вероватноће људске грешке (*Human Error Probability – HEP*), што је мера људске поузданости. Вероватноћа људске грешке дефинише се на следећи начин:

$$HEP = \frac{n}{N} \quad (5.1)$$

где је:

- n – број догађаја конкретне грешке (грешке човека),
- N – број могућности, тј. активности да се та грешка догоди.

Оцењивање метода за процену људских грешака (Табела 5.1) заснивало се на оцењивању следећих квантификатора:

- тачности – нумеричка тачност, која се упоређује са познатом вероватноћом људске грешке и усаглашава између експерата и оцењивача;
- валидности – упоређивање резултата једне методе са резултатима друге у исте сврхе (емпиријска и компаративна валидност);
- употребљивости – обезбеђивање квалитетног одвијања процеса, након смањивања и ублажавања последица грешака;
- ефективности коришћења изворних података – и то по опреми и персоналним захтевима;
- прихватљивости – од стране научне заједнице и корисника;
- развијености – садашњи степен развијености и развојни потенцијали.

Табела 5.1. Оцена постојећих метода за процену људских грешака (Kirwan, 1995)

	HEART	APJ	THERP	SLIM	PC	IDA	HCR	TESEO
тачност	средња	средња	средња	средња	средња	ниска	ниска	ниска
валидност	висока	средња/ висока	средња	средња	средња	средња	ниска	ниска
употреб- љивост	висока	средња/ висока	средња	висока	ниска/ средња	средња/ висока	ниска/ средња	средња/ висока
ефектив- ност у ко- ришћењу изворних података	висока	средња	ниска/ средња	ниска/ средња	ниска/ средња	ниска/ средња	средња	висока
прихват- љивост	средња/ висока	средња	висока	средња/ висока	средња/ висока	средња	ниска/ средња	ниска
развије- ност	средња	висока	висока	средња/ висока	средња	ниска/ средња	ниска	ниска

Из табеле 5.1. види се да су најбоље оцењене методе *HEART*, *APJ*, *THERP*, *SLIM*, нешто слабије *PC* и *IDA*, а најслабије методе *TESEO* и *HCR*.

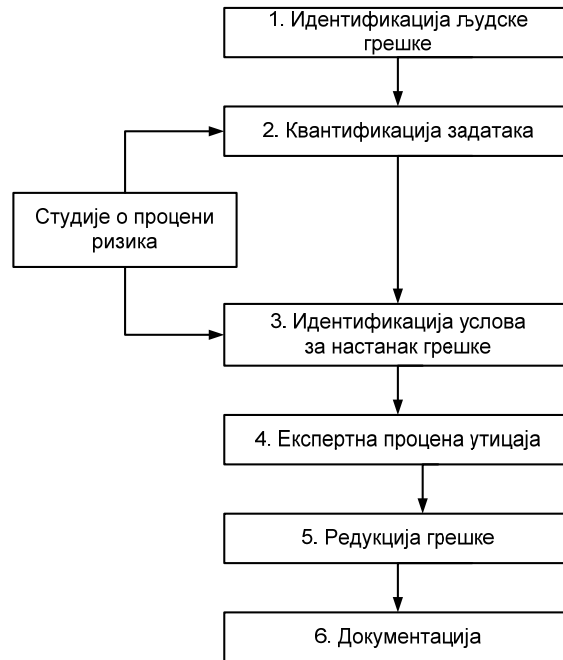
Четири методе, и то *APJ*, *PC*, *IDA* и *SLIM* користе групу експерата да би проценили *HEP*, с тим што *APJ* и *PC* користе процене експерата за указивање на противуречности анализираног процеса, а *SLIM* и *IDA* користе мишљење експерата за идентификовање фактора који доводе до људских грешака (увежбаност, поштовање процедуре, повратне везе, учени ризик, време реаговања и др.).

Методе *TESEO*, *THERP* и *HEART* се заснивају на базама података и индивидуалном експертском оцењивању. *HCR* покушава да квантификује когнитивне грешке, као функцију протеклог времена од почетка акцидента и представља вероватноћу дијагнозе.

5.3 Метода процене и редукције људске грешке

Метода процене и редукције људске грешке (*Human Error Assessment and Reduction Technique – HEART*) заснива се на знању о људским

активностима (Слика 5.2). Релативно је брза метода за процену људске грешке која се лако разуме и једноставно користи.



Слика 5.2. Процедурални кораци HEART методе (Стојиљковић, 2011)

Дакле, процедура за HEART обухвата 6 корака:

1. *Идентификација људске грешке*. То је скуп смерница за идентификацију узрока људске грешке за одређени сценарио. Ове смернице омогућавају квалитативни увид у врсте грешака и експерт их може користити приликом квантификације грешака.

2. *Квантификација задатака*. Има битан утицај на извођење *HEP* јер услови за настанак грешака, у основи, повећавају номиналну вредност *HEP* када се постави општа категорија која служи као граница изнад које се људска поузданост не повећава. Међутим, у пракси експерти се не слажу увек око избора опште категорије зато што су описи различитих категорија по природи општи. Тако на пример оно што један експерт сматра сложеним задатком, за другог је то враћање система у првобитно стање и разлика у номиналној *HEP* је сложена. Такође, уколико експерт сматра да задатак може да се смести у две категорије, онда нижа категорија (она која представља најпоузданије деловање) треба да буде изабрана јер повећава

прецизност методе и смањује песимистичне резултате. Одређивање номиналне људске непоузданости на основу класификације типа задатка (сложен задатак, рутински задатак, итд.), дато је у табели 5.2.

Табела 5.2. Класификација задатака (модификовано према: Willams, 1986; Kirwan, 1994)

Опис задатака		Предложене границе номиналне људске непоузданости (5 – 95)%
(А)	Тотално непознат задатак, изведен на брзину, без знања о вероватноћи могућих последица.	0.55 (0.35 – 0.97)
(Б)	Промена или довођење система на ново или почетно стање, без провере.	0.26 (0.14 – 0.42)
(В)	Комплексан задатак који захтева висок ниво разумевања система.	0.16 (0.12 – 0.28)
(Г)	Прилично прост задатак, изведен брзо или са ограниченом пажњом.	0.09 (0.06 – 0.13)
(Д)	Општи, рутински, високо практичан, брз задатак, укључујући релативно низак ниво вештине.	0.02 (0.007 – 0.045)
(Ђ)	Премештање или промена система на почетно или ново стање пратећи процедуру, са малим проверама.	0.003 (0.0008 – 0.007)
(Е)	Комплетно познат, добро пројектован и исправан, рутински задатак, извођен од стране високо мотивисаних, добро истренираних и искусних оператера, који су свесни могућих импликација или отказа, са довољно времена да се исправи потенцијална грешка.	0.0004 (0.00008 – 0.009)
(Ж)	Поступити тачно према делу анализираног система (чак и у случају када постоји један супервизор и под условом да се исправно тумачи однос елемената у систему).	0.00002 (0.000006 – 0.0009)

3. Идентификација услова за настанак грешке. Услови за настанак грешке (*Error Producing Conditions – EPC*) су веома битни за одређивање *NEP* јер они негативно утичу на људске карактеристике (Табела 5.3). Коришћење малог броја *EPC* производи прецизније резултате. Уколико се користи превише *EPC*, номиналне *NEP* ће веома брзо порасти, чак и уколико су коришћене ниже опште категорије. Стога је важно да само они *EPC* који су очигледно присутни у сценарију експерт може да користи, како би се избегла песимистична процена. Веома је важно да се избегну они *EPC* који се већ сматрају општим категоријама (нпр. *EPC* који је повезан са

оптерећеношћу временом није потребан уколико је задатак категорије А, која се тиче оптерећености временом, већ изабрана).

Табела 5.3. HEART EPC (модификовано према: Williams, 1986; Kirwan, 1994).

Р. бр.	Услови за настанак грешке	Максимум утицаја (ME)
1.	Непозната ситуација која је потенцијално важна, али која се дешава ретко или неуобичајно.	X 17
2.	Кратко време за откривање и корекцију грешке.	X 11
3.	Низак однос сигнал-шум.	X 10
4.	Занемаривање информација које су лако доступне.	X 9
5.	Неадекватан пренос просторних и функционалних информација оператеру.	X 8
6.	Неадекватан однос између оператеровог и дизајнеровог менталног модела.	X 8
7.	Погрешна моторна дејства.	X 8
8.	Меморија за пријем и пренос информација је препуњена.	X 6
9.	Непозната или супротна техника.	X 6
10.	Пренос специфичних занања у извођењу различитих задатака.	X 5.5
11.	Двосмисленост у стандардима.	X 5
12.	Пропусти између уочене и реалне опасности.	X 4
13.	Неадекватан систем повратне спреге.	X 4
14.	Неадекватна акција након извршене контроле.	X 4
15.	Неискуство или редизајнирање оператеровог искуства.	X 3
16.	Недовољан квалитет информације пренете међусобном комуникацијом оператера.	X 3
17.	Недовољна провера или тестирање излазних информација.	X 3
18.	Неусаглашеност између краткорочно и дугорочно постављених циљева.	X 2.5
19.	Недовољно диференцирање улазних информација.	X 2.5
20.	Неадекватано образовање оператера у односу на постављене задатке.	X 2
21.	Подстицај за коришћење алтернативних процедура.	X 2
22.	Неадекватно увежбавање реакције на основу предпостављеног менталног модела.	X 1.8
23.	Непоуздани инструменти.	X 1.6
24.	Потреба за процењивањем адекватности реакције оператера.	X 1.6
25.	Нејасно додељивање функција или одговорности.	X 1.6
26.	Нејасни начини одржавања и унапређивања промовисане делатности.	X 1.4

4. *Експертна процена утицаја*. Процена односа утицаја (*Proportions of Affect – POA*) је најтежи део за експерта јер избор општих категорија *EPC* је веома сложен процес. За сваки *EPC* врши се експертна процена вероватноће на скали од 0 до 1. Обухватање *EPC* који имају релативно мали утицај (нпр. вредности мање од 0.1) на сценарио су противне основној филозофији *HEART*, и имаће заиста мали утицај на укупну вероватноћу. Употреба лажно прецизних *POA* (нпр. 0.43) такође, не припада *HEART* процени. Коришћење великих *POA*, нпр. већих од 0.9, мора се пажљиво разматрати јер у већини примера који се тичу *EPC* таква употреба означава веома лош систем или задатак који се повезује са избором *PSF* у *SLIM*, где се на крају процењене скале сматрају најгорим условима. Сценарије са великим бројем *EPC* експерти нерадо користе јер они стварају конфузне и лоше резултате.

Када се изврши експертска процена вероватноће (*EP*) на скали од 0 до 1, онда се одређује процена укупног ефекта (*E*) на следећи начин:

$$E = ((ME - 1) \cdot EP) + 1 \quad (5.2)$$

У табели 5.4. представљени су додатни поступци, тј. додатне процене утицаја које могу бити коришћене како приликом имплементације *HEART* методе, тако и приликом избора предлога за редукцију грешака.

На основу класификације задатка и процењеног ефекта за сваки *EPC* одређује се укупна вероватноћа људских грешака.

Табела 5.4. *Процене утицаја важне за редукцију грешака*

Примена нових техника (X6)	Нове технике у оквиру истог методолошког приступа треба примењивати селективно само у случају ако старе технике не дају адекватне излазне вредности.
Неопажање опасности (X4)	Анализу опасних ситуација треба вршити више пута јер постоји могућност да се неке од њих јасно не уоче.
Стварни сукоб (X2.5)	Руководство треба стално да врши тест узајамне компатибилности и тамо где су потенцијални конфликти идентификовани, треба одмах реаговати и елиминисати сукоб на рационалан начин, са циљем успостављања хармоничног и свеобухватног управљања и контроле.
Тренинг (X3)	Лош квалитет информација у процедурама и примењена неадекватна обука утичу и на лошу међусобну интеракцију оператера.
Неискуство (X3)	Лични приступ процењивању опасности може бити адекватан само код искусних оператера, док остали морају да користе стандардизоване процедуре.
Низак морал (X1.2)	Руководство мора константно да подржава активности оператера побољшавајући, кроз разна додатна објашњења и упутства, безбедност његовог рада.

5. *Редукција грешке.* Врши се у зависности од процене номиналних вероватноћа и извршеног рангирања. Мере за редукцију грешке су корисне, али у многим случајевима је бескорисно користити само услове за настанак грешке јер су они општи, а не специфични за систем. Експерти могу имати своју интерпретацију постојећих мера побољшања или нових мера предвиђених на основу квалитативне анализе (нпр. анализе грешака или задатака изведене пре квантитативног одређивања). Дакле, експерти имају могућност да додају неки механизам за редукцију грешке (*Error Reduction Mechanism – ERM*) или стратегију за редукцију грешке (*Error Reduction Strategies – ERS*) који потичу из квалитативних анализа.

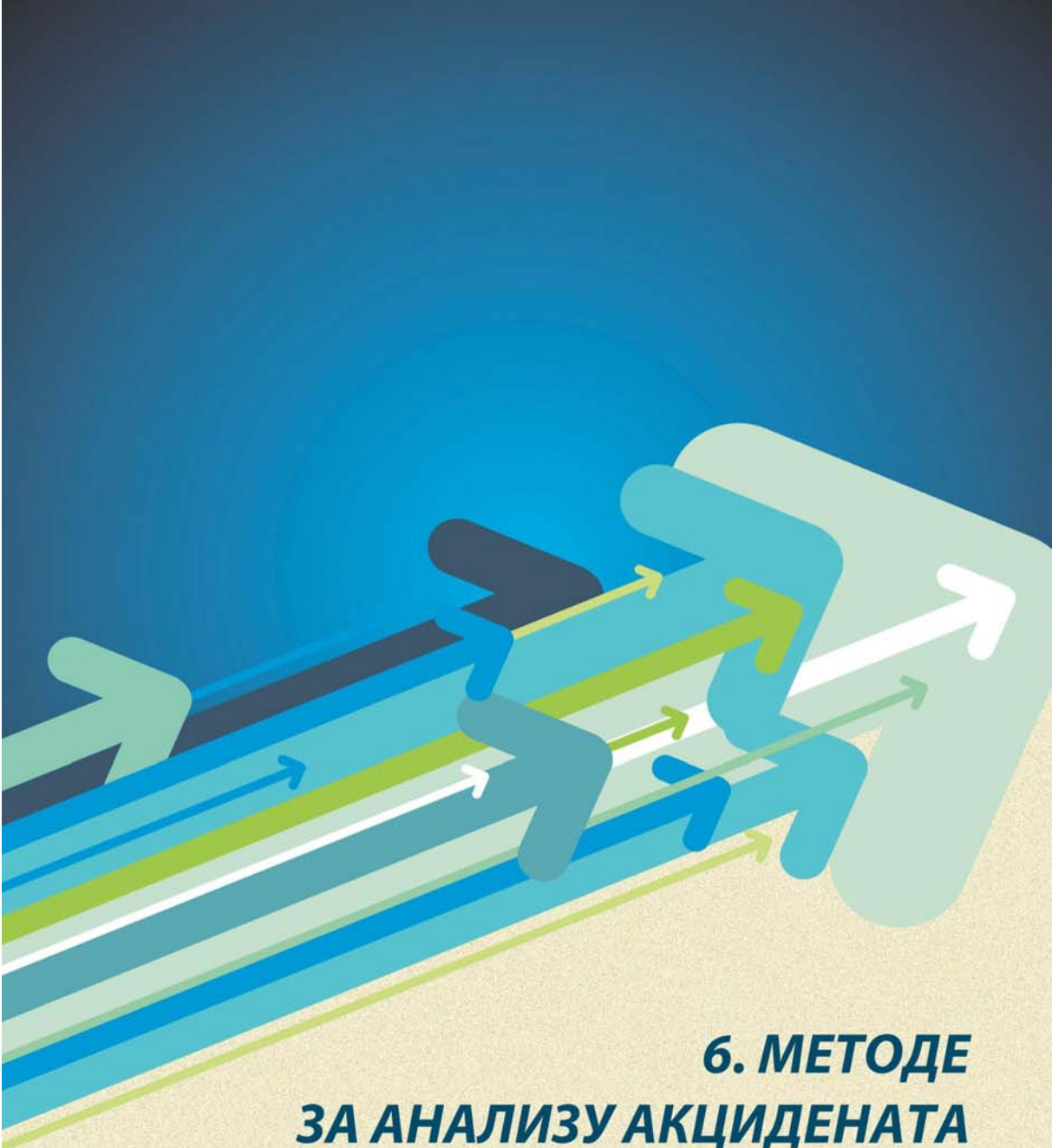
6. *Документација* је веома важна уколико се врши велики број *HEART* израчунавања. Битно је да претпоставке експерта буду адекватно забележене, а нарочито да се води рачуна о експертној процени утицаја.

Предности *HEART*:

- изузетна свестраност примене;
- захтева скромна материјална средства за рад;
- концентрише се на оне факторе који имају значајан ефекат, тј. утицај;
- обезбеђује брза и једноставна израчунавања вероватноће грешке;
- кориснику даје предлоге за редукцију грешака.

Недостаци *HEART*:

- избор *EPC* се базира на литературним подацима о људским карактеристикама;
- различит начин употребе *EPC* од стране различитих експерата. Међутим, ово се може решити искуственим оправдањем да *HEART* може адекватно предвидети *HEP*;
- теоретски неки *EPC* могу да се преплићу (нпр. време и сложеност), а ипак таква преплитања не могу бити јасно приказана;
- практично изведене *HEP* и типичан број *PSF* (и њихових *POA*), које експерт укључује у сценарио сматрајући их битним, веома су осетљиве.



6. МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ АКЦИДЕНАТА

- 6.1. Анализа функције безбедности
- 6.2. Анализа одступања
- 6.3. Анализа промена
- 6.4. Анализа безбедности рада
- 6.5. Комплексна метода за процену
нивоа укупне опасности од акцидента

6. МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ АКЦИДЕНАТА

Традиционалне методе за анализу акцидента анализирају само извештаје о акцидентима, без успостављања корелационих односа између релевантних фактора узрока и последица акцидента, и не могу предложити адекватна решења за обезбеђивање поузданог рада човека-оператера. Због тога су у овом поглављу представљене напредне методе за анализу акцидента. Наводимо неке од њих:

- анализа функције безбедности;
- анализа одступања;
- анализа промена;
- анализа безбедности рада;
- комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента.

За сваку од наведених метода важи да се применом адекватне информационе подршке повећава ефикасност примене, транспарентност процеса и генерисање одговарајућих информација за тимове у циљу адекватне процене ризика и подршке одлучивања о заштити и унапређењу радне и животне средине (Grozdanovic & Stojiljkovic, 2005b).

6.1 Анализа функције безбедности

Анализа функције безбедности (*Safety Function Analysis – SFA*) користи се за истраживање и анализу акцидента, а са циљем извођења релевантних закључака о функцијама безбедности и њиховим слабостима.

Функција безбедности прилично је чест термин, али не постоји његова прецизна дефиниција у литератури. Због тога се може користити у различитим контекстима.

Општа дефиниција функције безбедности гласи: „Функција безбедности је техничка, организациона или комбинована функција која може умањити вероватноћу и/или последицу акцидента и других нежељених догађаја у систему“ (Stephans, 2004).

За практичну и оперативну примену свака функција безбедности описује се групом параметара. Најважнији су:

- *ниво апстракције* – почиње на најнижем нивоу дефинисањем конкретних решења (нпр. безбедни пренос или одржавање температура

туре). На вишем нивоу може подразумевати заштиту од прекорачења процесних параметара (функционално решење). На још вишем нивоу може укључити контролу процеса;

- *ниво сложености система* – односи се на хијерархију система (компоненте, подсистеми, машине, одељења и цео систем). Може се проширити и на социјални ниво тако што ће се укључити закони који регулишу безбедност, ватрогасне бригаде, системи за случај опасности и сл.;
- *тип функције безбедности* – описује шта је укључено у функцију безбедности. Подела се врши на техничке, организационе и људске функције;
- *тип објекта* – карактерише објекат и његову безбедност. То може бити технички систем, софтвер, контролна соба и опрема у њој итд.

Функција безбедности може се описати сетом карактеристика да би се описао њен допринос безбедности. Примери одговарајуће карактеризације су (ИЕС, 1998):

- последице отказа функције безбедности, које могу указати колико је важна функција безбедности, као и то да ли отказ води директно ка акциденту, ка латентном отказу и слично;
- отпорност функције безбедности на одступања, непоштовање процедуре и друго;
- могућност или немогућност потврде (резултати функције безбедности поклапају се са очекиваним исходом);
- ефикасност функције безбедности има за циљ утврђивање мере колико функција безбедности испуњава свој циљ.

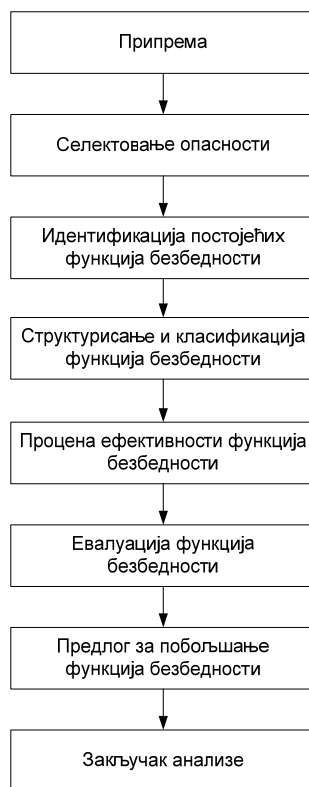
Могу се укључити и друге групе карактеристика, као што су: различити фактори који могу умањити безбедност, нпр. активни откази, латентна стања, фактори радног места, локалне околности и сл. (Reason, 1997).

6.1.1 Подручје примене, тим, ресурси

Анализа функције безбедности узима систем и/или радно место и његове опасности као полазну тачку (углавном се ова примена и разматра). Користи се за истраживање акцидентата из прошлости, а са циљем извођења закључка о функцијама безбедности и њиховим слабостима. За сваку функцију безбедности неопходно је извршити процену да ли је она прихватљива или се препоручује побољшање. Може се спровести од стране пројектног тима или локалне радне групе која добро познаје и систем и анализу, а време и трошкови анализе су директно пропорционалини величини система који се истражује.

6.1.2 Методологија

Анализа функције безбедности садржи шест главних корака, укључујући и припремне активности и доношење закључака анализе (Слика 6.1).



Слика 6.1. Процедура анализе функције безбедности (Harms-Ringdahl, 2000)

Припрема. – Пре него што се почне са спровођењем анализе, морају се дефинисати основни циљеви и основна стања система. То подразумева, на пример, границе система који се анализира, шта треба укључити у анализу, идентификацију постојећих опасности у систему, врсте опасности за које треба анализирати функције безбедности (опсег анализе треба бити ограничен на акциденте у радној средини, али може бити проширена тако да укључује и акциденте животне средине), преовлађујуће услове оперативности, спровођење анализе у одређеном временском року и са одређеним ресурсима.

Селектовање опасности. – Врши се међу опасностима за које се анализирају функције безбедности. То може подразумевати енергију, суштинске девијације или поремећаје. Број опасности може бити велики и због тога је веома важно да се изврши избор најважнијих. У супротном, анализа може бити превише компликована.

Идентификација постојећих функција безбедности. – Постоје два приступа у идентификацији функција безбедности. Први се односи на попис општих функција безбедности и на идентификацију најважнијих. Други подразумева идентификацију одређених опасности применом питања на следећи начин (Harms-Ringdahl, 2001):

- Како задржати ниску вероватноћу појаве акцидента?
- Како задржати низак ниво последица?
- Како смањити штету у случају појаве акцидента?

Одговори на ова питања могу се добити из интервјуа или у групним дискусијама.

Структурисање и класификација функција безбедности. – У фази структурисања од велике користи може бити анализа основних параметара функција безбедности. То су: ниво апстракције, ниво сложености система, тип функције безбедности и тип објекта.

Процена ефективности функција безбедности. – Циљ ове фазе јесте да се обезбеде процене неких карактеристика функција безбедности. За то постоје бројне алтернативе. Ако су доступне релевантне информације, може се извести мање/више традиционална процена поузданости. Једноставан начин је да се изврши класификација функција безбедности по „важности“, „ефективности“ и „намени“.

Важност се може категорисати у четири групе са безбедносне тачке гледишта. То су (Harms-Ringdahl, 1987):

- без утицаја на безбедност (без утицаја на вероватноћу појаве и потенцијалну последицу акцидента);
- мали утицај на безбедност;
- већи утицај на безбедност;
- велики утицај на безбедност.

При томе треба претпоставити да функција безбедности испуњава захтеве функционалности. Процена се може извршити унапред, нпр. сагледавањем колико је значајан удео функције безбедности у целокупној поузданости. Међутим, препоручљиво је да се изврши прелиминарна оцена на једноставан начин. За најважније функције безбедности може се извести исцрпна анализа.

Ефективност је својство система које се карактерише вероватноћом да ће систем успешно ступити у дејство и вршити своју функцију циља у пројектованом времену и датим условима окружења. Ефективност може бити изражена као степен успеха, који се изражава као комбинација функционалности и расположивости (расположивост је одређена перформансама поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке). Овај степен се креће у опсегу од 0% за функцију за коју се процењује да ће отказати под свим околностима, до преко 99,99% за функцију која је добро постављена.

Намена функције безбедности може се укључити у процену. Посебно значајна може бити у процесу планирања, када је потребно дефинисати намену, у сагласности са различитим решењима. Намена се може поделити у четири категорије (Harms-Ringdahl, 2000):

- функција безбедности без намене и без утицаја на безбедност;
- функција безбедности без намене, али са утицајем на безбедност;
- функција безбедности са наменом, али и са другим функционалним сврхама;
- функција безбедности са строгим наменом за побољшање безбедности (вероватноћа или ублажавање последица).

Предност код разматрања намене јесте у томе што може пружити добру подршку при процени „степенa успешности“ тиме што дефинише жељени резултат.

Евалуација функција безбедности. – У основи, ова фаза разматра да ли су функције безбедности довољно добре за контролу опасности. За сваку функцију безбедности мора се извршити процена да ли је прихватљива или се препоручује побољшање. За то се може користити скала прихватања ризика која је примењена у анализи енергије. Резултат ове фазе може бити потврда система безбедности или неких његових делова. Резултат може бити и препорука за побољшање неке функције безбедности и/или допуна једном или више њих.

Предлог за побољшање функција безбедности. – Неке функције безбедности морају се побољшати у смислу ефикасности и/или елиминације слабих тачака. Такође, потребно је неке функције безбедности побољшати, с обзиром на уску област коју оне покривају.

Закључак. – Анализа се завршава сачињавањем извештаја. Овим се сажима анализа и дају се резултати, претпоставке и основе за процену.

6.1.3 Предности и ограничења

Метода „анализа функције безбедности“ општег је карактера и применљива је на све аспекте анализираних система. Спроводи се са циљем да се идентификују најважнији параметри (ниво апстракције, ниво система, тип функције безбедности, тип објекта) и опишу најважније карактеристике функције безбедности како би се описао и њен допринос безбедности система. Главни недостатак ове методе је то што је прилично опширна, дуготрајна и, стога, скупа. Може да се фокусира на проналажење општих решења уместо на најважније претпоставке. Резултати анализе функције безбедности се представљају у формама које нису унифициране, што додатно отежава анализу.

6.2 Анализа одступања

Анализа одступања (*Deviation Analysis – DA*) првобитно је развијена специјално за примену у случају акцидента. Међутим, принцип одступања даље је развијен, да би се анализа одступања на крају модификовала у општу методу (Harms-Ringdahl, 1986). Ова метода може се применити на мање системе, нпр. радно место или поједине операције, а може обухватити и цео систем. Метода укључује и развој превентивних мера.

Одступање (девијација) може се дефинисати као догађај или стање које одступа од правилне, планиране или уобичајене функције. Функција може бити техничка функција, људска или организациона активност (Grozdanovic, 2005b).

Постоји велики број термина који се користе за означавање одступања, рецимо поремећај, квар, грешка, отказ, људска грешка, ризични поступак. Појам одступање користи се у бројним методама, посебно у *HAZOP* и *FMEA*. У њима се врши техничко моделирање система, а одступање је углавном физичког или техничког типа. На општем нивоу, променљива величина система дефинише се као одступање када њена вредност одступа од нормалне. Ево неких од променљивих величина система: догађај или поступак (нпр. део процеса или људске активности), стање (нпр. стање компоненти), интеракција између система и његове околине.

Многа одступања могу се појавити унутар система. Последице могу бити различите. Неке могу водити ка повећању ризика, друге могу бити безопасне. Табела 6.1. приказује класификацију последица одступања.

На основу табеле 6.1. може се закључити да последице типа 1 воде директно у акцидент, међутим, њима обично претходи неколико других одступања. Типови 2 до 5 повећавају ризик у систему. „Латентни отказ“ може постојати унутар система дуго време пре него што буде примећен.

Пример овога је противпожарни аларм (ако пожар почне, аларм није од користи). Дубљи аспект класификације тиче се степена до кога се одступање може исправити да би се систем вратио у безбедно стање. Важно је напоменути да већина одступања нису ни откривена ни исправљена, јер нека одступања не морају нужно да изазову негативни ефекат. Однос између одступања и увећаног ризика, односно учесталости појаве акцидента може бити комплексан. Може се јавити серија одступања, једна да претходи другој, пре него што се појави акцидент. Оваква теорија назива се „домино ефекат“ (Heinrich, 1931). Реалнији приступ је разматрање великог броја симултаних одступања, који се могу комбиновати и довести до акцидента.

Табела 6.1. Класификација последица одступања (Harms-Ringdahl, 2001)

Последица	Коментар
1. Директан акцидент	Одступање директно води ка акциденту. На пример, крила авиона отпадне у ваздуху.
2. Потенцијални акцидент	Акцидент се појављује уколико су људи у опасној зони или ако је систем у одређеној оперативној фази.
3. Индиректни акцидент, као последица одступања	Одступање само по себи не води ка акциденту, али може започети ланчану реакцију.
4. Акцидент у комбинацији (латентни отказ)	Одступању се придружују одређена независна стања, која могу довести акцидента.
5. Увећање вероватноће акцидента	Само одступање не значи да ће се акцидент догодити, али увећава вероватноћу опасних одступања.
6. Безопасна	Одступање не води увећању ризика.
7. Повећање безбедности	Одступање може да повећа безбедност. На пример, оператер не поштује неисправну пословну инструкцију и тако ради на безбедан начин.

Одступања се могу комбиновати на различите начине. Важна карактеристика у неким методама анализе поузданости система, као што су стабло отказа и стабло догађаја, јесте испитивање и разјашњавање односа између одступања. Нека одступања у систему могу бити веома велика. Која одступања су најважнија и колико обимно их треба испитати зависиће од циља и амбиције анализе. Анализа може бити ограничена на одступања типова од 1 до 5 (Табела 6.1). Алтернативно, може бити ограничена на једну или неколико следећих категорија одступања (Harms-Ringdahl, 2000):

- могу директно довести до повреде,
- доводе до слабљења или погоршања функције безбедности,
- захтевају корекције за случај опасности у производном току,
- озбиљно ремете производњу или планирање чине немогућим,
- увећавају склоност људи ка чињењу грешака (екстерни поремећај) и сл.

Основни елементи анализе одступања могу се сумирати у неколико тачака:

- акцидентима увек претходи одступање, и оно повећава ризик у систему;
- познавање потенцијалних одступања у систему омогућава боље разумевање узрока акцидента;
- ризик од акцидента може се умањити, тј. њиме се може управљати ако се на време идентификује одступање;
- систем производње састоји се од техничких, људских и организационих елемената;
- постоји неколико врста одступања, важно је разматрати техничка, људска и организациона одступања;
- исти принципи могу се користити за анализу система и за истраживање акцидента.

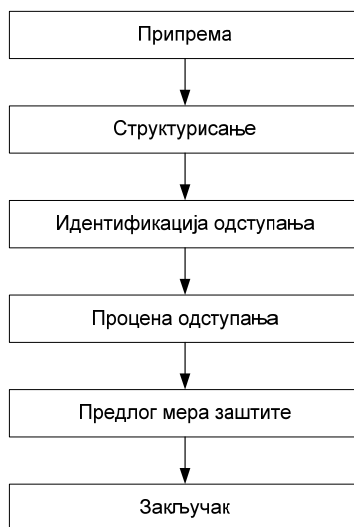
6.2.1 Подручје примене, тим, ресурси

Анализа одступања служи за проучавање система и активности у њему. Циљ је идентификовати унапред одступање које може узроковати акцидент. Анализа обично укључује фазе у којима су генерисани предлози за унапређење безбедности система. Метода се може примењивати на мање системе, нпр. на радно место или поједине операције, а може обухватити и цео систем. Принцип је исти, али приступ структурисања и идентификације одступања варира према типу система.

Анализа одступања може се спровести од стране мултидисциплинарног тима са проценитељем. Проценитељ мора да познаје саму анализу и да има што је могуће веће искуство из њене примене. Остали чланови тима методу могу научити директно кроз праксу анализе система. Чланови тима треба да имају неопходне квалификације и искуство у вези са радом система који се анализира. Време и трошкови анализе су директно повезани са величином и комплексношћу система који се анализира.

6.2.2 Методологија

Анализа одступања спроводи се на начин који је сличан анализи енергије и анализи безбедности рада, а садржи и исте фазе (Слика 6.2).



Слика 6.2. Процедура анализе одступања (Harms-Ringdahl, 2001)

Припрема обухвата дефинисање дела (величине) система који треба покрити анализом и одређивање оперативних услова које треба обезбедити. У исто време, одређује се шта не треба уврстити у анализу. Општа сугестија је да не треба бити превише ограничаван у доношењу ових одлука. Други елемент припремних активности јесте обезбеђивање доступности информација неопходних за анализу. За то може користити радни образац за анализу одступања.

Структурисање је важан део анализе. Структурисање се мора спровести пажљиво и пожељно је одвојити довољно времена за њега. Сврха структурисања је осигуравање да цео систем буде покривен, као и подела система на елементарне функције. Систем је структурисан функционално, на основу функција и активности. Резултат структурисања може се представити као дијаграм. Почетна тачка је опис операција. Оне су подељене у блокове одговарајуће величине. Да би се покрио општи аспект, препоручује се додавање блока са називима као што су опште, планирање или организација, што служи као подсетник за укључивање организационих аспеката у току спровођења испитивања. Структурисање подразумева и сачињавање листе за очигледне (главне) активности и помоћне активности (одржавање, транспорт амбалаже у управљању отпадом итд.).

Ево неких од примера како се структурисање може извршити:

- на производним линијама одређени број корака се изводи у низу, могу се пратити различите везе у ланцу производње, и оне се могу поделити у различите секције;
- за транспортни систем класификација се може извршити за различите начине употребе превозних средстава;
- треба извести низ акција, односно активности (на пример, за припремање доручка структурисање се изводи једноставно, пописом разних активности које су неопходне за припрему оброка).

Када је структурисање завршено, обезбеђена је листа различитих секција или функција, које се анализирају једна за другом.

Идентификација одступања. – Циљ ове фазе анализе јесте откривање најважнијих одступања. Није могуће узети у обзир сва могућа одступања, јер би укупан број био изузетно велик. За почетак се разматра колико је критична безбедност у испитиваном делу система. Ако се испостави да је значајно и за безбедност и за производњу, тај се део детаљније разрађује. У супротном, идентификација се може брзо завршити.

Листа провере функције система и одступања приказана у табели 6.2. може се користити за анализу. Сачињена је као додатак за идентификацију одступања и базирана је на техничким, људским и организационим функцијама. Не треба је посматрати као таксономију одступања, јер је базирана на функцијама система. Могу се јављати преклапања категорија. Листа провере у анализи одступања структурисана је у сагласности са функцијама система, али одступања могу бити различита, и то (Harms-Ringdahl, 2000): нема, врло мала, веома велика, погрешан тип, погрешан редослед, погрешно место, превише касно или рано, захтева превише или премало времена и сл.

За сваки део система улажу се напори да се идентификују одступања која могу довести до акцидента или имају друге негативне последице. Добра полазна тачка може бити описивање сврхе дела који се анализира (користи се листа провере за функције система и одступања). За одређене функције, као што су материјали или процедуре, као подршка може служити листа типова одступања. Анализа се може наставити одступањем које је процењено као посебно важно. На пример, ако је одређена компонента критична, анализа се наставља фокусирањем на одржавање (O4) и контролу и корекцију (O5). Када постоји могућност да људи начине грешке у руковању машинама и где је вештина оператера важна за безбедност, онда треба обратити пажњу на менаџмент персонела (O2), или инструкције и информације (O3) итд. (Табела 6.2).

Табела 6.2. Листа провере функције система и одступања
(модификовано према: Harms-Ringdahl, 2000; 2001)

Функција	Одступање
Техничка	
T1. Општа функција	Одступање од нормалног, намераваног или очекиваног функционисања система.
T2. Техничка функција	Отказ компоненте или модула, прекид довода електричне енергије итд.
T3. Материјал	Лош квалитет, погрешан квалитет, погрешан датум испоруке итд.
T4. Средина	Отпад, слабо осветљење, лоши временски услови, било које привремено поремећено стање средине.
T5. Техничке безбедносне функције	Штитници за машине, блокатори, монитори итд., који недостају, неисправни су или су неадекватни.
Људска	
Љ1. Операција/кретање	Пропуст или погрешан корак у мануалном задатку.
Љ2. Управљање	Пропуст или грешка у контроли система.
Љ3. Пословна процедура	Грешка, спровођење подзadataка погрешним редоследом.
Љ4. Планирање личних задужења	Одабир неприкладног решења, непоштовање правила и безбедносне процедуре.
Љ5. Решавање проблема	Избор решења на опасан и небезбедан начин.
Љ6. Комуникација	Грешка комуникације, било у слању или примању поруке.
Љ7. Опште	Недоследност у потребама система за људством, мањи ниво вештина и знања.
Организациона	
O1. Оперативно планирање	Непостојање плана, некомплетан или неприкладан план.
O2. Менаџмент персонала	Неадекватно особље, недостатак вештина.
O3. Инструкције и информације	Неадекватне информације. Нема пословних инструкција.
O4. Одржавање	Неадекватно или се не следи рутина.
O5. Контрола и корекција	Неадекватна или се не следи рутина.
O6. Менаџмент промена и дизајна	Неадекватне рутине за планирање, проверу и процедуру.
O7. Конкурентне операције	Различите операције ометају једна другу.
O8. Безбедносне процедуре	Недостају, неадекватне су, изостављене су.

Процена одступања односи се на процењивање озбиљности идентификованих одступања. Метода сама по себи не препоручује на који начин процену треба вршити, тако да се могу користити разни приступи класификацији и процени ризика, као код анализе енергије. У неким случајевима могуће је прикупити информације о учесталости или озбиљности одступања, што може помоћи у процени. Подаци се могу прикупити кроз интервјуе, из записника о операцијама или из белешки о поправкама.

Предлог мера заштите. – У овој фази најбоље је размишљати што слободније и креативније да би се развио што већи број идеја, које се потом селекују и модификују. Анализа одступања подразумева једноставну, али систематску методу генерисања заштитних мера. За повећање безбедности система побољшања треба базирати на одступања која су идентификована као опасна. Треба предложити мере које могу (Harms-Ringdahl, 2001):

- елиминисати могућност појаве одређеног одступања: означава промену у активностима или уређајима, да би се уклонила могућност појаве одступања (овај тип мере је ефикасан, али врло компликован за примену);
- умањити вероватноћу појаве: редуковање вероватноће појаве одступања. Технички откази могу се решити бољим одабиром компоненти, процедуром одржавања итд. Људске грешке могу се ублажити бољим односом човек–машина, обуком, побољшањем процедура итд.;
- ублажити последице одступања: подразумева укључивање техничких решења, нпр. постављање блокатора или побољшање могућности за оператера да поврати систем ако начини грешку;
- омогућити рану идентификацију одступања и обезбедити планове корекције на безбедан начин. Минималан захтев је да оператер зна како да делује када се одступање појави.

Листа функција система и одступања (Табела 6.2), посебно њен део за организацију, може се користити као додаток приликом дефинисања мера заштите. Идеје се уносе у записник анализе, потом се врши селекција идеја и оно што се одабере обликује се у предлог који садржи више различитих мера безбедности.

Закључак. – Анализа се закључује састављањем резимеа. Он може садржати извештај о условима под којима је спровођена анализа, најважнија одступања и опасности и предложене мере заштите. Радни образац који може послужити у документовању спроведене анализе одступања приказан је у табели 6.3.

Табела 6.3. Радни образац у анализи одступања

Функција/Део	Одступање	Опасност/Коментар	Оцена	Предложене мере

6.2.3 Предности и ограничења

Анализа одступања спроводи се са циљем да се идентификују и анализирају сва одступања (техничка, људска и организациона) која могу довести до акцидента или других проблема у анализираном систему. Ова анализа има једноставне и флексибилне принципе општег карактера, тако да је применљива за све аспекте анализираних система. Омогућава једноставну, али систематску анализу генерисања заштитних мера. Због великог броја могућих одступања на различитим нивоима веома је отежано структурисање, што је и главни недостатак ове методе. Такође, метода сама по себи не препоручује на који начин процену треба вршити, тако да се могу користити разни приступи класификацији и процени ризика од стране различитих експерата, што може умањити објективност анализе.

6.3 Анализа промена

Анализа промена (*Change Analysis – CA*) једна је од техника које се користе за анализу безбедности система. Представља једноставан, праволинијски процес, који је релативно брз и лак за учење и примену. Добро дизајнирани и изграђени системи могу да постану неефикасни и/или опасни без ефективне контроле промена. Због тога анализа промена треба да се изводи као део процеса провере на свакој контролној тачки, са циљем остваривања безбедности система.

Сврха анализе јесте састављање списка промена и систематско испитивање свих промена, одређивање значаја или утицаја промена и препоручивање одговарајућих контрапромена да би се осигурало да безбедност операције не трпи негативан утицај промене. За спровођење анализе промене потребно је детаљно разумевање система пре и после промене. Стандардни документи који могу допринети разумевању система и пројекта су: опис пројекта, укључујући аналитичка стабла, текстуалне описе, цртеже, блок-дијаграме, шематске планове, процедуре операција и одржавања, организационе структуре, опис послова, квалификацију особља и сл.

Свака промена неопходна је у процесу развоја неког система и она може бити позитиван фактор који повећава ефективност и/или безбедност организације или операције. Међутим, промена је скоро увек узрочни или

врло значајан фактор у настанку акцидентата. Да ли је промена добра или лоша умногоме зависи од начина на који су промене планиране, спровођене и контролисане.

6.3.1 Подручје примене, тим, ресурси

Анализа промена користи се у фази експлоатације система за процену промена и одређивање контрапромена ради одржавања система у равнотежи. Даје најбоље резултате ако се примењује на мање системе или делове система. Може се примењивати од стране једног експерта или мултидисциплинарног тима са проценитељем. Анализу обично спроводи тим, чији чланови морају да поседују разноврсна и специфична знања и искуства релевантна за систем који се анализира. Време и трошкови анализе зависе од величине система који се анализира. У просеку, довољан је један сат за две до четири евалуације по аналитичару. У сличним системима временске потребе знатно се умањују због понављања евалуација.

6.3.2 Методологија

Општи приступ анализи промене врло је једноставан, било да се примењује за контролу система или у анализи акцидентата (Слика 6.3).



Слика 6.3. Дијаграм анализе промена (Stephans, 2004)

Анализа промена спроводи се тако што се најпре одреде две ситуације које ће се поредити. Када се анализа промене користи као средство за контролу система, ова детерминација је врло једноставна. Нови или предложени систем или процењена ситуација је евалуирана ситуација која се пореди са старим или постојећим системом или упоредном ситуацијом. У анализи промена, акцидентна ситуација се такође пореди са неком упоредном ситуацијом. Постоје три основне алтернативе за упоредну ситуацију (Stephans, 2004):

- Прва може бити иста операција или организација у ранијем временском периоду. На пример, пореди се особље, процедуре, постројење и техничка опрема, средина, задаци и други фактори у време акцидента са истим факторима (пре једног сата/дана/недеље/године) пре акцидента. Одабир упоредних тачака у времену зависи од природе операције и брзине при којој се догодила значајнија промена.
- Други избор за упоредну ситуацију јесте поређење акцидентне ситуације са сличном операцијом у којој се није догодио акцидент. На пример, могу се поредити два слична постројења која производе исте производе од истих материјала у истој средини, или две војне јединице са истом мисијом, истом организацијом, истом врстом опреме, возила, авиона, потчињене истим правилима и истом физичком и командном окружењу (на пример, суседни тенковски батаљони или борбене ескадриле).
- Трећи избор, који је и најчешће коришћен, јесте поређење акцидентне ситуације са идеалном ситуацијом, односно поређење стварних догађаја са догађајима који би се одвијали да све функционише исправно. Особље се пореди са идеалним кадровима, здравим, потпуно едукованим; постојећа опрема се пореди са опремом која би требало да буде на радном месту; средина се пореди са „адекватном и конфорном“ средином.

Следећи корак у анализи промена јесте прикупљање потребних информација о предложеној (или акцидентној) ситуацији и упоредној ситуацији да би се потпуно разумело особље, процедуре, постројење и техничка опрема, средина и сл. Ако је анализа промена део контроле дизајна, овај корак може захтевати само проверу релевантних цртежа и пројектне документације. Међутим, анализа акцидента може захтевати обимно прикупљање и анализу евиденције људства, физичке евиденције и документационе евиденције из свих темељних истрага ранијих акцидента.

Наредни корак у спровођењу анализе промена јесте пажљиво набрајање свих разлика између предложене (или акцидентне) ситуације и одговарајуће упоредне ситуације. Кључни сегмент ове фазе јесте трагање за свим променама или разликама, као и избегавање процене или анализе значаја промене док се не идентификују све промене. Све промене (односно, разлике између тренутне ситуације и ситуације за поређење) систематски се евидентирају. Потом се свака промена или разлика пажљиво анализира. Када је могуће, препоручују се контрапромене да би се осигурало да идентификоване промене не деградирају укупну безбедност пројекта или операције (или да би се осигурало да промене које су узрочни фактор акцидента буду адекватно контролисане контрапроменама).

За документовање комплетне анализе промена може се користити следећи радни образац (Табела 6.4).

Табела 6.4. Радни образац за анализу промена (Stephans, 2004)

Субјекат/ Организација				
Фактори	Процењена ситуација	Упоредна ситуација	Разлике/ Значај	Коментари
Шта Објект/објекти Енергија Откази Заштитни уређаји Где На објекту У процесу Место Када У времену У процесу Ко Оператер Сарадник Супервизор Други Задатак Циљ Процедура Квалитет Радни услови Средина Прековремени рад Распоред рада Одлагање Иницијални догађај Контрола управе Контролни ланац Анализа опасности Мониторинг Контрола ризика				

Приликом попуњавања табеле 6.4. потребно је придржавати се следећих правила:

- *Заглавље.* Попуњава се одговарајући блок.
- *Колона 1 – Процењена ситуација.* Користи се списак кључних речи (шта, када, где...) да би се пажљиво упоредио сваки аспект предложене (акцидентне) ситуације са упоредном ситуацијом. Сваки фактор који је промењен или различит пописује се тако да одговара предложеној (акцидентној) ситуацији.
- *Колона 2 – Упоредна ситуација.* За сваки фактор из колоне 1 у колону 2 уносити упоредни фактор за тренутну или безбедну ситуацију.
- *Колона 3 – Значај.* У колони 3 бележи се значај или разлике између фактора уписаних у колони 1 и одговарајућих фактора уписаних у колони 2 (ако нема разлике, то треба нагласити).
- *Колона 4 – Коментари.* У колони 4 бележе се све опасности или потенцијалне опасности у вези са променом и предлаже се одговарајућа контрапромена да би се побољшала безбедност операције.

6.3.3 Предности и ограничења

Анализа промена јесте метода општег карактера, применљива је на све аспекте анализираних система и њени принципи су флексибилни и једноставни. Представља једноставан, праволинијски процес, који је релативно брз и лак за учење и примену. Користи се за анализу безбедности система процењивањем промена и одређивањем контрапромена ради одржавања система у равнотежи. Погодна је за проналажење брзих одговора и идентификовање непознатих узрока (грешака) који могу повећати ризик система. Главни недостатак ове методе огледа се у томе што усваја да је систем са којим се анализирали систем упоређује довољно безбедан, што у пракси није увек случај.

6.4 Анализа безбедности рада

Анализа безбедности рада (*Job Safety Analysis – JSA*) је „квалитативна анализа која користи скале за опис величине потенцијалних последица акцидента и вероватноћа појава тих последица. Скале се могу прилагодити околностима и могу се користити различити описи за различите ризике“ (Harms-Ringdahl, 1987). Ова метода назива се још и анализа пословне безбедности.

Анализа безбедности рада оријентисана је на задатке и обично се примењује за рутинске активности као превентива за безбедан рад. Користи се посматрањем рада и искуством као основом за идентификовање опас-

ности и могуће контроле ситуације. Спроводи се тако што се одређена активност разложи на основне елементе и на тај начин се идентификује опасност која се може јавити у сваком од тих елемената, а затим се процењује вероватноћа и последица сваке од идентификованих опасности. Прикупљени подаци се уносе у матрицу, на основу које се одређује ризик. Уводи се одговарајућа контрола за сваку активност и мере, у зависности од ризика. Приказ акцидента врло је близак енергетском моделу (садржи попис различитих енергија у анализираном систему).

6.4.1 Подручје примене, тим, ресурси

Анализа безбедности рада узима као основу систем (радно место) и разматра све могуће опасности и штетности које се могу јавити у систему. Може се примењивати од стране једне особе или радног тима. Анализу обично спроводи тим сачињен од супервизора, оператера и експерата из области безбедности и ризика. Главни разлози за ангажовање тима су: добијање више информација о активностима и условима у којима се изводи анализа, добијање поузданих података за процену ризика и боље перспективе за предлоге заштитних мера.

Колико је времена потребно за анализу зависи од различитости задатака и од ефикасности учесника који је спроводе. Важи правило да идентификација опасности траје 5 минута по фази рада. Број фаза рада може бити између 20 и 50, тако да се може очекивати да фаза идентификације траје између једног сата и пола дана.

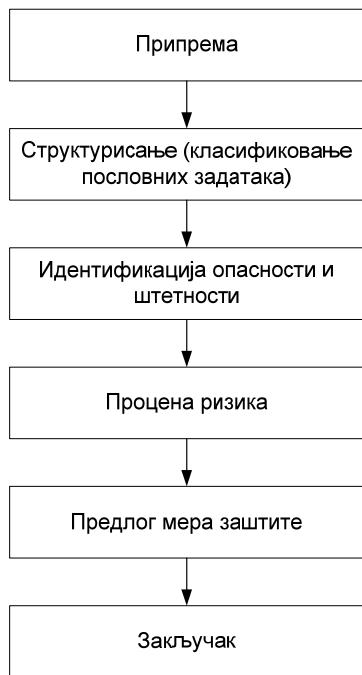
6.4.2 Методологија

На слици 6.4. приказане су главне фазе анализе безбедности рада.

Припрема подразумева дефинисање и успостављање граница радних задатака који се анализирају, као и прикупљање информација о процедурама које су посебно важне за извршавање задатака. Потребне информације се могу добити из интервјуа, писаних радних упутстава и процедура (понекад су неправилни, увек некомплетни), затим из приручника о машинама, из радних студија (ако су доступне), директним посматрањем и записима, путем фотографија, видео записа (који су изузетно корисни за задатке који се ретко извршавају), из извештаја о акцидентима и сл.

Структурисање подразумева састављање листе радних задатака. Припрема се одговарајућа детаљна листа различитих фаза активности, односно задатака који се анализирају. Дobar основни материјал садржи стандардне инструкције за обављање задатака, али се оне разматрају само као полазна тачка, јер се не могу сматрати ни комплетним ни исправним. Важно је разјаснити посебне задатке и оне који се ретко изводе. Разматрају

се стандардна радна процедура, припрема за рад и завршетак посла, периферне и повремене активности (набавка материјала, чишћење итд.), неправилности у производњи, посао у целини, укључујући и однос са описом посла, планирањем и другим релевантним задацима, затим одржавање и контрола, најважнији типови поправки и сл.



Слика 6.4. Главне фазе анализе безбедности рада

Идентификација опасности и штетности састоји се од неколико подфаза које се спроводе једна по једна. За сваку подфазу обрађују се одређена питања:

- Какав тип повреде се може појавити? Повреде укљештења/нагњечења или нанесене ударцима, покретним деловима машине; објекти у покрету или на висини итд; посекотине или убоди, оштри предмети итд; пад, рад на висини итд; опекотине, тровање.
- Да ли се посебни проблеми или недостаци могу увећати у току рада?
- Да ли је радни задатак тежак или нелагодан?
- Да ли се задатак обично обавља на другачији начин од препорученог или постоји тенденција одступања од редовне процедуре?

Процена ризика подразумева процењивање сваке идентификоване опасности и штетности. Метода сама по себи не препоручује тип процене који треба користити, тако да се могу користити разни приступи у процесу процене ризика.

Предлог мера заштите јесте фаза анализе безбедности рада базирана на опасностима и штетностима које се сматрају озбиљним. Праве се предлози за унапређење опреме и помоћних средства за рад, радних рутина и метода (да ли се посао може обавити на другачији начин), за елиминацију потребе за одређеним радним задацима, затим за побољшање пословних инструкција, обуке итд., за планирање сналажења у ванредним ситуацијама, опрему и средства за личну заштиту и друго.

Ова фаза анализе претежно се састоји од формирања идеја. Корисно је ако се генеришу идеје за више алтернативних решења, јер је некад за умањење ризика потребно више мера или је нека заштитна мера тешка за спровођење, па је потребна алтернатива. Неколико различитих чинилаца који су на неки начин слични могу се интегрисати у један, нпр. ако опасности имају сличне узроке или ако је потребна заједничка заштитна мера. Предложене мере се уносе у образац извештаја.

Закључак. – Анализа се закључује сумирањем резултата. У једноставним случајевима може се користити радни образац као код анализе енергије за извештавање о резултатима. Дакле, може се користити листа радних задатака и записник о спроведеној анализи како би се добиле поуздане информације за увођење мера са циљем побољшања извођења редовних радних активности, као и мера за смањење ризика на радном месту.

6.4.3 Предности и ограничења

Анализа безбедности рада има за циљ идентификацију опасности и штетности на радном месту. Примењује се за рутинске активности као превентива за безбедан рад. То је једноставна, „праволинијска“ метода, која се релативно лако спроводи. Веома је корисна и брза када се примењује на мале системе или мануалне послове (нпр. машина која ради у индустрији, уређај у грађевинарству итд.). Главни недостатак ове методе је то што је сувише традиционална, не анализира могуће нове опасности и ризике и мање је корисна за примену у аутоматизованим системима, када тимови треба да сарађују, или генерално, када је неопходна анализа целог система.

6.5 Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента

Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента (*The Complex Method for Assessment of Overall Hazard of an Accident – CMA*) веома је практична и једноставна метода за анализу акцидента. Чине је прорачуни опасности које су изазване технолошким процесима, деловањем људског фактора и окружењем. Ова три основна фактора имају своје параметре који их квантитативно одређују.

6.5.1 Подручје примене, тим, ресурси

Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента користи се у фази експлоатације система за процену опасности које су изазване технолошким процесима, деловањем људског фактора и окружењем. Спроводи се од стране мултидисциплинарног тима. Користећи висок степен знања, искуство, интуицију, познавање понашања елемената у истим или сличним условима експерти доносе суд о највероватнијој реализацији догађаја, њиховом међусобном односу и њиховом утицају на укупан ниво опасности од акцидента. Време и трошкови анализе уско су повезани са комплексношћу система који се анализира. За делове система или мале процесне јединице искусном тиму потребан је један дан или мање. Већи проблеми, са много потенцијалних ризичних догађаја у комплексним системима, могу се анализирати чак и по неколико недеља, иако је ангажован искусан тим експерата.

6.5.2 Методологија

Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента садржи следеће кораке:

- прорачун опасности изазваних технолошким процесом (TP),
- прорачун опасности изазваних деловањем људског фактора (LJF),
- прорачун опасности изазваних деловањем окружења (O),
- прорачун укупног нивоа опасности од акцидента (U),
- препоруке за процену нивоа укупне опасности од акцидента.

Ниво укупне опасности од акцидента дат је следећим изразом (модификовано према: Majer et al, 1998; Стојиљковић, 2007):

$$U = TP \cdot O - LJF \cdot \frac{TP}{30} \quad (6.1)$$

Опасност изазвана технолошким процесом одређена је изразом:

$$TP = PU \cdot IR \cdot PR \cdot MP \quad (6.2)$$

где је:

PU – вредност могућих последица акцидента

1 – занемарљиве, 2 – значајне, 3 – озбиљне,
4 – велике, 5 – веома велике.

IR – изложеност ризику од акцидента

1 – мала, 2 – средња, 3 – велика.

PR – могућност превенције

1 – слаба превенција, 1.5 – прихватљива превенција,
2 – добра превенција.

MP – мере приправности

1 – низак ниво приправности, 1.5 – средњи ниво приправности,
2 – висок ниво приправности.

Опасност изазвана деловањем људског фактора одређена је изразом:

$$LJF = OLJ + OU + NS \quad (6.3)$$

где је:

OLJ – степен оспособљености људи за деловање у случају акцидента

1 – слаба оспособљеност, 1.5 – средња оспособљеност,
2 – добра оспособљеност.

OU – адекватност одговора на акцидент

1 – неадекватан, 1.5 – полуадекватан, 2 – адекватан.

NS – оцена санације

1 – лоша санација, 2 – добра санација, 3 – одлична санација.

Опасност изазвана деловањем окружења одређена је изразом:

$$O = UO + KLJS + DU \quad (6.4)$$

где је:

UO – уређеност окружења

1 – слаба уређеност, 1.5 – задовољавајућа, 2 – одлична уређеност.

KLJS – компатибилност људи и система

1 – слаба компатибилност, 1.5 – средња компатибилност,
2 – добра компатибилност.

DU – други утицаји

0.5 – скоро незнатан, 1 – мали утицај, 1.5 – велики утицај.

Ниво укупне опасности од акцидента креће се у распону од минималне $U_{min} = 2.4$ до максималне $U_{max} = 316$.

Одређивање могућег нивоа укупне опасности од акцидента односи се на утврђивање нивоа на основу места настанка, обима могућих последица, изложености ризику, могућности превенције, мера приправности, степена оспособљености људи за деловање у случају акцидента, адекватног одговора на акцидент, оцене нивоа санације, нивоа уређености окружења, нивоа компатибилности људи и система и нивоа других утицаја (Стојиљковић, 2007).

У табели 6.5. дате су препоруке за процену нивоа укупне опасности од акцидента.

Табела 6.5. Процена нивоа укупне опасности од акцидента

Ниво укупне опасности		Коментар
I	2.4–60	Релативно безопасно стање. Негативне последице од акцидента (уколико се јаве) ограничене су на инсталацију или део инсталације и не очекују се негативни ефекти по ширу околину.
II	60–120	Потребно је смањити опасност. Последице акцидента захватиле би један део или цео индустријски комплекс, без негативних ефеката по ширу околину.
III	120–180	Значајна опасност. Последице од акцидента се са индустријског комплекса могу пренети на околину и очекују се последице на делу или целој територији општине или града.
IV	180–240	Велика опасност. Последице се могу проширити на територију више општина.
V	240–316	Веома велика опасност. Акцидент је веома широких размера, негативне последице прете да се прошире ван граница државе.

Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента заснива се на синергетској примени метода за процену ризика и експертном оцењивању.

Да би се идентификовале опасности изазване технолошким процесом, људским фактором и окружењем и да би се одредила изложеност људи и материјалних добара, потребна је детаљна анализа техничко-

технолошког процеса и уређености окружења, која се може добити коришћењем неопходне документације којом располаже анализирани комплекс (технички опис система, опрема и планови делатности особља, главни пројекат објекта и сл.) и снимањем стања на терену (Stojiljkovic, Grozdanovic, & Glisovic, 2011).

За идентификацију опасности, формирање листе нежељених догађаја, опис извора опасности, фактора опасности, услова настајања и развоја акцидента користи се прелиминарна анализа опасности (*Preliminary Hazard Analysis – PHA*).

Први корак *PHA* у смислу идентификације опасности јесте прављење списка потенцијалних опасности (*Preliminary Hazard Listt – PHL*) користећи следеће методе: *EA*, *HAZOP*, *FME(C/D)A*, *JSA*, *MORT* и др.

Како је човек главни узрок у највећем броју акцидената, користи се и теоријски оквир за квантификацију компатибилности човека и система у тренутку могуће реализације акцидента (види: Гроздановић, 2003а).

Ради обезбеђивања свих неопходних података пре приступања процени конкретног случаја могу да се примене и следеће методе: дијаграм узрок–последица (*Cause-Consequence Diagram – CCD*), модели анализе последице (*Consequence Analysis Models – CAM*) итд.

Мере приправности приликом акцидента, оспособљавање људи, одговор на акцидент, процена нивоа санације могу да се одреде коришћењем писаних докумената којима располаже анализирани комплекс, као и правилника и законских прописа из анализиране области.

6.5.3 Предности и ограничења

Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента има за циљ прорачун опасности које су изазване заједничким деловањем технолошких процеса, људског фактора и окружења. Ова метода је једноставна за употребу, погодна за идентификацију појединачних опасности и ефикасна за доношење адекватних процена нивоа укупне опасности од акцидента. Захтева групу експерата, али, као и код сваке групе, може се јавити проблем састава и окупљања експерата. Како метода има тенденцију ка извесним одступањима, као и личним конфликтима експерата, веома је важно пажљиво одабирање експерата да валидност методе не би била нарушена.



7. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА УПРАВЉАЧКЕ ДЕЛАТНОСТИ

7.1. Систем управљања безбедношћу,
здрављем и заштитом животне средине

7.2. Аудит

7.3. Пропуст менаџмента и стабло ризика

7. МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА УПРАВЉАЧКЕ ДЕЛАТНОСТИ

Методе које су оријентисане ка организационо-управљачким делатностима утврђују како је систем пројектован, како се спроводе радне активности, ко ради на постројењима, како се системом управља, које заштитне мере постоје и сл. Квалитет и правилно усмерење ових активности има пресудну важност за анализу и процену опасности и начине контроле ризика. Организационо-управљачке активности у разним системима који се анализирају нису увек правилно координисане и њихово усклађивање представља велики проблем. Писана документација открива само део реалних захтева и потреба. Оно што често представља проблем је то да постоје неформални путеви при доношењу одлука, различити приступи људи који одлучују шта је оно што је релевантно и сл. (Grozdanovic & Stojiljkovic, 2005c).

У сагледавању ове сложене организационо-управљачке проблематике користе се различите технике, алати или системи, а неке од њих су следеће:

- систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине;
- аудит;
- пропуст менаџмента и стабло ризика.

7.1 Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине

Током ранијих деценија много је напора посвећено безбедности у индустрији. Упркос томе, десио се велики број озбиљних акцидентата као нпр. Фликсборо (*Flixborough, 1974*), Севесо (*Seveso, 1976*), Бопал (*Bhopal, 1984*), Мексико (*Mexico, 1984*) итд. Ови акциденти довели су до сазнања за потребом управљања аспектима безбедности и ефикаснијом интеграцијом система индустријских комплекса, посебно у процесима под високим притиском, високом температуром и са употребом отрова, запаљивих или експлозивних материја, а са циљем да се осигура безбедност запослених и окружења. Такође, пожар и експлозија на платформи *Piper Alpha* у Северном мору (*North Sea, 1988*), који су однели око 167 људи, проузроковали су шок у истраживањима нафте и гаса у производној индустрији. Истрага и

извештај Лорда Калена (Lord Cullen, 1990) о овом случају довели су до закључка да је неопходно укључивање система управљања безбедношћу и здрављем на раду у све сегменте индустријске делатности да би се смањили велики ризици на прихватљив ниво (према: Poels, 1999).

Док је здравље запослених у индустрији била врло важна тема током ранијих 80-их година прошлог века, широко интересовање индустрије за радне услове, ергономска и психолошка стања запослених јавило се касније. Веома значајан интернационални допринос био је развој програма „адекватне бриге“ у Канади (1984), који је интегрисао безбедност, здравље и аспекте животне средине у активностима хемијске индустрије, тј. интегрисао систем управљања квалитетом (*ISO 9000:1987*) и систем управљања заштитом животне средине (*EMAS*, 1993; *ISO 14001:1996*) (*ISO 9000:1987*; *BS8800:1996*).

7.1.1 Интегрисани систем менаџмента

До сада развијени системи менаџмента квалитетом (*Quality Management System – QMS*), заштитом животне средине (*Environmental Management System – EMS*), здрављем и безбедношћу на раду (*Occupational Health & Safety Assessment System – OHSAS*) представљају парцијални одговор на напред наведене области и одговарајуће захтеве квалитета. Између њих постоји висок степен сродности, преклапања, али постоје и специфични захтеви за сваки од наведених система менаџмента. Такође, између ових система могу се успоставити одређене релације и на тај начин извршити покушај њихове интеграције, водећи рачуна и о специфичностима сваког појединачног система. Интеграција система обухвата три фазе: декомпозицију свих система које треба интегрисати, издвајање заједничких елемената интеграције и интеграцију декомпонованих система.

Интегрисани систем управљања представља виши ниво организације система и нови квалитет у односу на поједине системе чијом интеграцијом је настао. Оквир за њихову интеграцију и интерактивно деловање је „квалитет схваћен као прагматична системска дисциплина“ (Костић, 1999), али и ризик као неизбежни пратилац свих система. Анализа циљева и карактеристика система управљања квалитетом и управљања ризиком указује на неопходност интеграције ових система у остваривању јединственог циља – менаџмента тоталним квалитетом (*Total Quality Management – TQM*). Парцијално разматрање ових система и њихов паралелан рад даје мање ефекте од решавања проблема на нивоу јединственог интегрисаног система. Дефинисање и остваривање циљева подсистема у оквиру јединственог циља интегрисаног система гарантује висок ниво његове ефективности и ефикасности.

Интеграција система менаџмента има своју стратегијску и тактичку компоненту. Стратегијска компонента подразумева одлуку о интеграцији система менаџмента, дефинисање језгра интеграције, дефинисање поступка интеграције, уз обавезно утврђивање циљева и стратегије. Тактичка компонента односи се на израду плана и програма интеграције, праћење поступка интеграције, одлучивање у одређеним контролним тактикама и извештавање за стратегијски ниво (Крстић, Стојиљковић, Кусало, Стојиљковић, 2011).

Према Арсовском (Арсовски, 2001), основу интеграције парцијалних система чине: исте интересне групе (запослени, руководство, пословни партнери, становништво, држава, акционари), исти процеси у организацији и окружењу, слични концепти управљања процесима, слични концепти управљања ресурсима, исти концепти мерења, анализе и унапређења, иста одговорност руководства, иста визија, мисија и пословна политика организације.

Према оцени водећих стучњака у свету, интегрисане системе менаџмента чине: систем менаџмента квалитетом (*QMS*) – стандард *ISO 9001:2008*, систем менаџмента заштитом животне средине (*EMS*) – стандард *ISO 14001:2004*, и систем менаџмента здрављем и безбедношћу на раду (*OHSAS*) – стандард *OHSAS 18001:2005*.

Организације које се баве производњом пољопривредних производа, меса и осталих животних намирница, као и организације које припремају храну, често у свој интегрисани систем укључују и менаџмент систем за безбедност хране (*Food Safety Management System*) – стандард *ISO 22000:2005*, који у себи садржи и *HACCP* принципе (*Hazard Analysis Critical Control Points – HACCP*) (*HACCP/ISO 22004:2006*).

Међутим, како информације (нпр. финансијски подаци, подаци о начину рада организације, о запосленима,...) представљају један од кључних ресурса у савременом пословању организације, развијена је серија стандарда из фамилије *ISO/IEC 27000* са циљем одговора на потребе организација за успостављањем системског управљања безбедношћу информацијама (*Information Security Management System – ISMS*) тј. са циљем да оне остану безбедне, задржавајући принцип расположивости, поверљивости и интегритета (*ISO/IEC 27001:2013*).

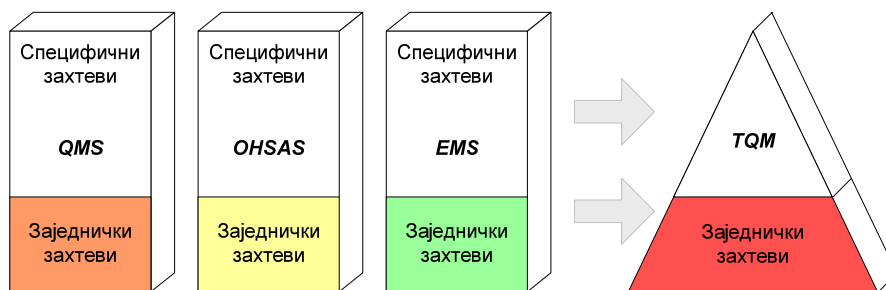
Поред претходно поменутих система менаџмента потребно је истакнути и менаџмент систем друштвене одговорности корпорације (*Corporate Social Responsibility Management System*) који се односи између осталог и на радне услове у организацијама. Дакле, стандард *ISO 26000 (Guidance on Social Responsibility)* – Упутство о друштвеној одговорности, пружа и доприноси бољем разумевању питања која се тичу друштвене одговорности, прећењем неекономских аспеката и активности организације кроз

перформансе социјалне одговорности, еколошке перформансе, етичке перформансе и перформансе заштите на раду (SRPS ISO 26000:2011).

Пошто не постоји међународни стандард интегрисаног система менаџмента, у пракси се дефинишу тзв. модели изврности, који се заснивају на концепту *TQM*. Модел изврности је креативни оквир, са критеријумима који користе метод бенчмаркинга (*benchmarking*) – поређење са другима и најбољима у делатности и учењу од њих у креирању пута ка вишим нивоима изврности (Хелета, 2004).

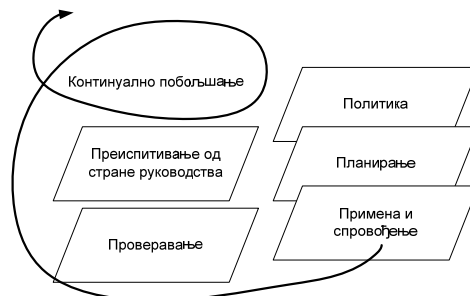
Да би се успоставио модел изврности, у циљу интегрисања различитих стандардизованих система управљања у јединствен систем менаџмента, потребно је успоставити следеће основе за интеграцију, базиране на моделу изврности: концепцијски основ интегрисања, везу између захтева различитих стандарда, методологију и процес интегрисања, имплементацију интегрисаних менаџмент система.

Концепцијски основ интегрисања система менаџмента базира се на заједничкој основи свих стандарда (система) садржаних у концепту *TQM* (Слика 7.1). На ову основу додају се специфичности сваког од интегрисаних стандарда (система). Процес интеграције може се упростити ако се специфичности сваког стандарда (система) посматрају као различити аспекти тоталног квалитета.



Слика 7.1. Интегрисани систем менаџмента (Крстић, Стојиљковић, Кусало, Лазаревић, 2012)

Сви системи менаџмента имају исти процес менаџмента (Слика 7.2): *plan* – планирати (систем, процесе и ресурсе), *do* – урадити (руководити процесима), *check* – проверити (контролисати, мерити и анализирати), *act* – поступити (континуално побољшати).



Слика 7.2. PDCA систем менаџмента

Системи менаџмента квалитетом, заштитом животне средине и здрављем и безбедношћу на раду имају исте или сличне захтеве. У табелама 7.1, 7.2, 7.3, 7.4. дата је упоредна веза појединих захтева сва три система менаџмента (ISO 9000:2008; ISO 14001:2004; OHSAS 18001:2005; OHSAS 18002:2005).

Табела 7.1. Заједнички захтеви који се реализују у PLAN фази

ISO 9001:2008	ISO 14001:2004	OHSAS 18001:2005
Политика квалитета	Политика заштите животне средине	Политика здравља и безбедности
Фокус на купца	Аспекти животне средине	Планирање идентификације опасности, процене ризика и контроле
Одређивање захтева који се односе на производ	Законски и други захтеви	Законски и други захтеви
Преиспитивње захтева који се односе на производ		
Циљеви квалитета	Општи и посебни циљеви и програм(и)	Циљеви
Планирање система менаџмента квалитетом		OHS програм(и) менаџмента
Континуално побољшање		
Заједничко за сва три стандарда		
<i>Политика – сва три стандарда захтевају:</i> - континуално побољшање, - испуњење захтева (купаца или законских/других захтева), - превенцију (неусаглашеног производа, загађења, несрећа), - упућивање на циљеве.		
<i>Планирање – идентификације захтева:</i> - захтеви купаца и производа (9001), - аспекти животне средине и утицаји (14001), - опасности на послу и процена ризика (18001).		

Табела 7.2. Заједнички захтеви који се реализују у DO фази

ISO 9001:2008	ISO 14001:2004	OHSAS 18001:2005
Одговорност руководства Менаџмент ресурсима	Ресурси, задаци, одговорности и овлашћења	Структура и одговорност
Компетенција, свест и обука	Компетенција, обука и свест	Обука, свест и компетенција
Интерна комуникација Комуникација са купцем	Комуникација	Консултације и комуникација
Захтеви за документацијом	Документација	Документација
Контрола докумената	Контрола документације	Контрола докумената и података
Планирање реализације производа Процеси који се односе на купца Дизајн и развој Набавка Производња и обезбеђење сервиса	Контрола над операцијама	Оперативна контрола
Контрола неусаглашености производа	Приправност на реаговање у ванредним ситуацијама и одговор на њих	Приправност на реаговање у ванредним ситуацијама и одговор на њих
Сличности - структура менаџмента и додељивње ресурса, - обука и комуникација, - документација и контрола докумената, - контрола процеса и оперативне контроле.		
Разлике Реакција на ванредно стање није директно поменута у ISO 9001:2008.		

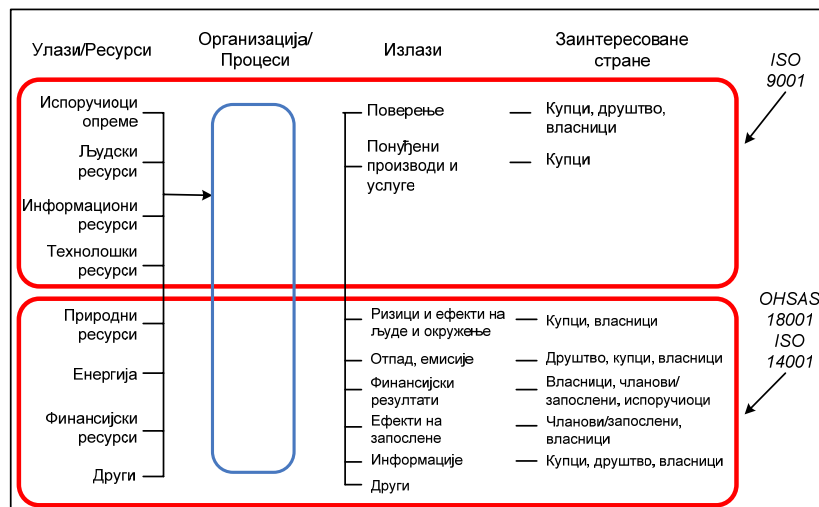
Табела 7.3. Заједнички захтеви који се реализују у CHECK фази

ISO 9001:2008	ISO 14001:2004	OHSAS 18001:2005
Надгледање и мерење Анализа података Контрола уређаја за надгледање и мерење	Праћење и мерење	Праћење и мерење перформанси
Контрола неусаглашености производа Корективне мере Превентивне мере	Вредновање неусаглашености Неусаглашености, корективне и превентивне мере	Несреће, инциденти, неусаглашености и корективне и превентивне мере
Контрола записа	Контрола записа	Записи и менаџмент записима
Интерни аудит	Интерне провере менаџмента	Аудит
Сва три стандарда имају исту сврху и намену у контроли, мерењу и побољшању.		

Табела 7.4. Заједнички захтеви који се реализују у ACT фази

ISO 9001:2008	ISO 14001:2004	OHSAS 18001:2005
Преиспитивање од стране менаџмента	Преиспитивање од стране менаџмента	Преиспитивање од стране менаџмента
Сва три стандарда имају исту сврху и намену и у свим случајевима треба дефинисати улазе и излазе. Усредсређеност је на мерама ради побољшања резултата.		

У интегрисаном систему менаџмента постоје исте интересне групе, а усредсређеност интересних група различита је (Слика 7.3). У систему менаџмента квалитетом усредсређеност интересних група је на квалитету процеса, односно на квалитету понуђеног производа или услуге. С друге стране, у систему менаџмента заштитом животне средине и систему менаџмента здрављем и безбедношћу усредсређеност интересних група је на ризицима и ефектима на људе и животну средину.



Слика 7.3. Фокус интересних група у стандардима

Као основа за интеграцију користи се шест заједничких елемената (захтева) свих система менаџмента: политика, планирање, реализација система, мониторинг и контрола, побољшање и преиспитивање руководства.

У основи, постоје три модела успостављања интегрисаног система менаџмента, и то (Крстић, Стојиљковић, Кусало, Лазаревић, 2012):

- секвенцијални модел – заснива се на успостављању стандарда *ISO 9001*, а затим се успостављају *ISO 14001* и *ISO 18001*, односно *ISO 22000*;
- паралелни модел – заснива се на истовременом (паралелном) успостављању сва три стандарда;
- комбиновани модел – заснива се најпре на успостављању стандарда *ISO 9001*, а затим паралелном успостављању стандарда *ISO 14001* и *ISO 18001*, односно *ISO 22000*.

Предности комбинованог модела огледају се у скраћивању времена успостављања интегрисаног система менаџмента, јер се увођењем стандарда *ISO 9001* учесници пројекта упознају са структуром система, као и са процесом имплементације и контроле документације неопходне за спровођење стандарда *ISO 14001* и *ISO 18001* (Стоиљковић, Стоиљковић, Стоиљковић, Обрадовић, 2006).

Да би уважила повећано интересовање за интегрисани прилаз у имплементацији система менаџмента и управљању организационим ризицима, спецификација PAS 99 (*Publicly Available Specification*) дефинише заједничке захтеве система. Ова јавно доступна спецификација одређује

заједничке захтеве система менаџмента и има намену да буде коришћена као оквир за имплементацију два или више стандарда, односно система менаџмента на интегрисани начин (BS PAS 99:2012). Применљива је за све величине и врсте организација. Није намењена за организације које су свој систем менаџмента изградиле на једном стандарду (спецификацији), осим као припрема за усвајање додатних система или стандарда.

7.1.2 Подручје примене, тим, ресурси

Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине обично се спроводи у фази експлоатације система, за оцену постојећег система, тј. за идентификацију опасности, процену и управљање ризицима.

Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине даје најбоље резултате када се изводи у тиму (локална радна група за процену интегрисаног система менаџмента) састављеном од чланова који поседују разноврсна и специфична знања и искуства релевантна за систем који се анализира.

Време и трошкови увођења интегрисаног система менаџмента, пропорционални су величини организације/система који се анализира. Тим може утрошити више дана за анализу само дела истраживаног система. Међутим, ако је анализирани систем сличан претходно истраживаном, време је обично краће.

7.1.3 Методологија

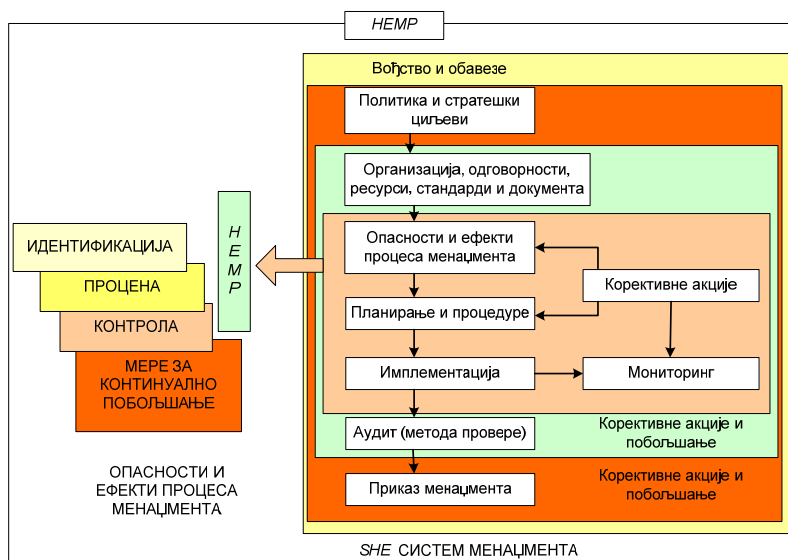
Неколико мултинационалних компанија (*Shell, ICI, Bp, Mobil*) и међународне индустријске организације (*EP* форум) 1994. године су развиле ефикаснији и ефективнији приступ у погледу трошкова, тј. развиле су интегрисани систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине (*Safety, Health and Environment Management System – SHE-MS*). Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине је, у ствари, „слободан“ модел и не заснива се директно на формалним системима за безбедност, здравље и животну средину, али, у суштини, садржи све циљеве који су заједнички за сваки систем и може бити примењен у мање формалним структурним системима. Интеграција у пословање је постигнута кроз повезаност са моделима пословних активности (ISO, 1996).

Као одговор на различите *SHE* акциденте у индустрији у прошлости, на промену схватања у друштву и због жеље за активним учешћем у решавању проблема, јавила се потреба за савременим системом за управљање овим ризицима. Систем подразумева следеће елементе:

1. обавезе компаније у области *SHE* и пуномоћје за политику у области *SHE*,
2. пуномоћје за процедуре за *SHE* систем менаџмента са само-оцењивањем и контролом,
3. верификовање учинка од стране независног и угледног трећег лица,
4. годишње писмо о намерама потписано од стране извршних руководиоца.

Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине (*SHE-MS*) усмерава *SHE* ризике у систем управљања квалитетом и омогућава њихово учешће у пословима. Кључни елемент, тј. језгро овог система је „процес управљања опасностима и последицама (*Hazard and Effects Managemant Process – HEMP*)“, који може бити посматран као модул за управљање безбедношћу, здрављем, заштитом животне средине и ризицима. Процес управљања опасностима и последицама (*HEMP*) представља формални процес за идентификацију, оцењивање и управљање *SHE* ризицима. Применом *HEMP* постигнуто је повезивање контроле ризика са критичним задацима, чије носиоце чини стручно особље одговорно за прописано извршавање ових задатака.

Четири основна елемента *HEMP* (Слика 7.4) су: идентификација опасности, процена ризика, контрола опасности и мере за континуално побољшање у случају да контрола не успе.



Слика 7.4. *SHE* систем управљања и *HEMP* (Poels, 1999)

Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине примењује се са циљем да се изврши процена постојећих ризика, затим провера мера контроле, као и да ли је ризик „прихватљив“ по *ALARP* принципу. За високе *SHE* ризике неопходна је демонстрација контроле ризика у форми „*SHE* случаја“ или „*SHE* извештаја“, тј. неопходно је управљање оваквим ризицима.

Одговорност која се односи на квалитет, заштиту животне средине и здравље и безбедност на раду важна је за имиџ сваке компаније. Сертификацијом система менаџмента који покривају поменуте области компаније шаљу сигнал о одговорности и бризи о интересним групама.

7.1.4 Предности и ограничења

Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине има за циљ интегрисање парцијалних система менаџмента у јединствен интегрисани систем управљања и руковођења једном организацијом. Увођење појединачних система менаџмента доводи до сувишних преклапања, чиме се нарушава оптимално функционисање система. То представља посебан проблем за мала и средња предузећа, а трошкови улагања у појединачне системе знатно су виши. Интегрисани систем заштите радне и животне средине омогућава ефективније и ефикасније одвијање процеса, уз рационализацију ресурса, и генерише решења и препоруке за смањење ризика. Обезбеђује средства за систематско и темељно испитивање система, процеса или процедура, односи се на све системе менаџмента и документује процес, тако да је анализа увек проверљива (подложна контроли). Ограничења у примени овог алата су то што захтева добро дефинисање система, процеса, процедура или активности, може да се фокусира на проналажење детаљних решења уместо на основне претпоставке, детаљна анализа може бити веома дуготрајна и стога скупа, а тачност студије зависи од приступачности или расположивости података, односно од квалитета података.

7.2 Аудит

Аудит (*Audits*) је постао општеприхваћен израз и има разноврсна значења. Буквално значење је везано за политику провере и намера у предузећу. Аудит уопште (*Audits – in general*) односи се и на испитивање система менаџмента да би се видело да ли се прилагођава прописаним нормама (ILO, 2001).

Дефиниција аудита по стандардним нормама: „Аудит представља систематични и, кад год је могуће, независан преглед система, да би се одредило када су активности и резултати извршени ефикасно и да ли су

они одговарајући за постизање организацијске политике и одређених циљева“ (ISO, 1990; BS8800:1996).

Често се аудит третира и као модерни информациони систем путем кога се добија јасна представа о активностима које се односе на квалитет.

Постоје две врсте аудита: хоризонтални и вертикални.

Хоризонтални аудит подразумева детаљну проверу елемената система квалитета кроз целокупну област испитивања покривену акредитацијом. Такви елементи система квалитета су нпр. обука особља, референтни стандарди, опрема за испитивање, као и примењене методе.

Вертикални аудит је детаљна провера да су сви елементи система квалитета, укључујући и испитивања, имплементирани. Преиспитивања система морају бити планирана и терминирана. Наравно, често се дешава да је неопходно спровести и непланирани аудит. Разлози за то могу бити различити. То се може десити ако се посумња у резултате испитивања а на захтев клијената, или ако се добијају нелогични резултати, да би се утврдило да су корективне мере и друге промене у систему квалитета примењене и да су ефикасне. Резултати аудита и преиспитивања система квалитета морају се документовати. Они су предмет анализа и пројектовања корективних мера. По спровођењу корективних мера у следећим проверама види се њихова ефикасност.

Сва три стандарда *ISO 9001:2005*, *ISO 14001:2004* и *OHSAS 18001:2005* захтевају од организације да спроводи интерне провере. Информације добијене интерним аудитима представљају квалитативно-квантитативни улаз у преиспитивање система квалитета од стране руководства.

У систему менаџмента квалитетом од организације се захтева да „спроводи објективне провере да би одредила да ли је систем менаџмента квалитетом ефективно имплементиран и одржаван и да ли је усаглашен са међународним стандардом. Поред тога организација може да спроводи провере да би идентификовала потенцијалне могућности за побољшање“ (ISO 9000:2008).

У систему менаџмента заштитом животне средине од организације се такође захтева да изврши аудирање (ISO 14001:2004). Интерни аудити су главни део система провере, обезбеђују важне повратне информације за менаџмент, а и спровode се у циљу одређивања да ли је систем менаџмента заштитом животне средине на одговарајући начин имплементиран, одржаван и усклађен са плановима и захтевима стандарда ISO 14001:2004.

Захтев за аудирање постоји и у систему менаџмента здрављем и безбедношћу на раду (OHSAS 18001:2005). Аудити *OHS* система менаџмента се спровode да би се:

1. утврдило да ли је *OHS* систем менаџмента:

- усаглашен са планираним уређењима за *OHS* менаџмент, укључујући захтеве *OHSAS* спецификације;
 - уведен и да ли се одржава и
 - да ли је ефективан у испуњавању политике и циљева организације;
2. преиспитали резултати претходних аудита;
 3. обезбедиле информације о резултатима аудита менаџменту.

Сва три система менаџмента захтевају од организације да има процедуру за интерни аудит.

До 2002. године системи менаџмента имали су своје стандарде за аудитирање: *ISO 10011* за аудитирање квалитета и *ISO 14010*, *ISO 14011* и *ISO 14012* за аудитирање животне средине. Године 2002. усвојен је нови стандард *ISO 19011* за аудитирање *QMS* и *EMS*, односно за аудитирање система менаџмента квалитетом и система менаџмента заштитом животне средине. *ISO 19011:2002* укључује пун обим активности аудитирања, што подразумева (*ISO 19011:2002*): интерне аудите, аудите испоручилаца и сертификационе аудите.

Интерне аудите организација треба да спроводи да би побољшала системе менаџмента, односно да би их користила као основу за самодекларисање о усаглашености за задовољавање захтева за регистрацију од треће стране. Интерни аудити треба да буду усаглашени са планираним резултатима организације.

Неке организације могу да прошире свој програм интерног аудита и да укључе идентификацију прилика за побољшање пословања, прилика за повећање лојалности купаца и прилика за минимизирање утицаја на животну средину. Улази за те прилике могу се сакупити кроз процес аудитирања и, ако је подржан евидентираним општим циљем, саопштава се као прилика за побољшање. Примарни општи циљеви аудита друге стране (испоручилаца) могу: верификовати усаглашеност система менаџмента испоручиоца са специфичним захтевима, стећи и одржати поверење у способност испоручиоца да испуни захтеве организације и пратити корективне мере предузете од стране испоручиоца.

Код аудита треће стране (сертификациони аудит) главни аудитор ће у случају усаглашености са стандардом предложити сертификационом телу да изда сертификат.

7.2.1 Подручје примене, тим, ресурси

Метода провере – аудит користи се за преиспитивање свих система менаџмента (квалитетом, заштитом животне средине и здрављем и безбед-

ношћу на раду) у оквиру радне организације а са циљем усаглашавања са међународним стандардима.

Аудит спроводи мултидисциплинарни тим, тј. радна група за процену парцијалног или интегрисаног система менаџмента. Чланови тима треба да имају неопходне квалификације које им омогућавају да разумеју потенцијалне ризике у процесима који се анализирају, затим да познају стандарде и методе које се користе за контролу тих ризика, као и законску регулативу. Директор организације која се аудитира именује главног аудитора, који је задужен за планирање и спровођење аудита. Такође, у организацији, менаџер квалитета одговоран је за спровођење интерних аудита у складу са постављеним планом.

Тип резултата зависи од тога да ли се спроводи квалификациони или квантификациони аудит, а време и трошкови су директно повезани са величином и комплексношћу система који се анализира.

7.2.2 *Методологија*

Процес аудитирања укључује:

- покретање аудита,
- преиспитивање докумената,
- припремање за активност аудита на локацији,
- спровођење аудита на локацији,
- припремање, одобравање и дистрибуцију извештаја о аудиту,
- завршавање аудита и
- спровођење наредног аудита ако је у плану аудита.

У току спровођења аудита треба одржати уводни састанак, прикупити доказе, припремити извештај о обављеном аудиту и одржати завршни – закључни састанак.

Пажљиво планирање неопходно је за успех аудита. Оно у великој мери зависи од квалификације аудитора. Након планирања, на ред долази одговорно спровођење аудита од стране тима за аудит, а за то је пре свега потребна ефикасна подршка менаџмента. По спровођењу аудита, резултати се уносе у извештај о аудиту, који треба да се достави и менаџменту. Извештај о аудиту представља и основу за спровођење корективних мера, чије се поштовање и ефикасност поново аудитирају.

Аудит се спроводи тако што се члановима организације која се аудитира постављају питања за одређене захтеве. Листе питања могу да буду различите, али је суштина да све оне треба да покрију све захтеве стандарда, тако да омогуће аудиторима да прикупе објективне доказе о функционисању система менаџмента.

Интерни аудит се спроводи на основу писаног упутства. Проверава се сваки елемент система квалитета, укључујући и активности испитивања. Периодичност спровођења интерних аудита није дефинисана и зависи од много фактора. Менаџер квалитета одговоран је за спровођење интерних аудита у складу са постављеним планом. Улога менаџера квалитета неоспорна је у смислу осигурања да су испуњене постављене процедуре, да су налази преиспитивања записани (документовани) и да се спровode корективне мере произашле из резултата преиспитивања у договореном року.

У организацији која се аудитира директор именује главног аудитора, који је задужен за планирање и спровођење аудита. Главни аудитор сачињава годишњи план аудита, који одобрава директор. Сваки процес и сектор се проверава барем једном годишње. Зависно од значаја провераваног подручја, аудит може да се спроводи и чешће. Налог за аудит може ванплански да да директор или руководилац одређене организационе јединице.

Руководилац аудита у писаној форми информише систем/део система који се аудитира и формира тим за аудит. Тим сачињавају објективни, непристрасни, обучени и компетентни проверавачи, који нису директно ангажовани у процесу или функцији која се проверава. Где год је могуће, аудити треба да се изврше од стране независног особља, које нема директну одговорност за активности које ће се испитати. Реч „независан“ овде не означава обавезно неког ко је изван организације. Пожељно је да тим буде потпомогнут експертом са стране.

Проверавачи траже објективне доказе који показују да ли су провераване активности у складу са захтевима документованог система менаџмента и да ли је тај систем ефикасан. Докази се прикупљају посматрањем активности, интервјуисањем особља и испитивањем записа о квалитету. Провера се спроводи на такав начин да се процес рада што мање поремети. Неусаглашености се документују.

Резултати интерне провере система менаџмента представљени у форми извештаја користе се за корекцију или превенцију одређених неусаглашености и представљају улаз за спровођење преиспитивања од стране руководства.

Руководиоци аудитираних функција одговорни су за спровођене корективних мера и подносе извештај главном аудитору о постигнутим резултатима. Главни аудитор проверава примену и ефикасност уведених корективних мера и по потреби обавештава представника руководства и предлаже нове корективне мере, односно последични аудит за утврђивање постигнутог побољшања.

У складу са циљевима аудита разликују се и критеријуми оцењивања. Критеријуми су бројни, јер скоро свака консултанска кућа има своје критеријуме. Ипак, данас су у великој мери критеријуми стандардизовани.

Постоји велика разлика између *квалификационог* и *квантификационог* аудита. Квалификациони аудит је екстерни аудит, који има за циљ да се утврди да ли су захтеви испуњени и шта није испуњено. При томе се не залази превише у ефикасност процеса или његове детаље.

Интерни аудити су квантификациони аудити. Циљ квантификационог аудита је да се утврди шта и колико још треба побољшати да би се захтеви испунили. Овакви аудити детаљнији су и дубљи и они се не задовољавају одговором да или не.

Стандард, који је основа за оцењивање, често се проширује многим додатним захтевима, који се пре свега односе на ефикасност процеса. Једини недостатак је то што се директно не разликују критичне и мање неусаглашености. Одлука о томе шта је критична а шта мања неусаглашеност зависи у великој мери од процене аудитора. Табела 7.5. даје упоредни приказ препоручених критеријума за квалификациони, односно квантификациони аудит.

Извештај о обављеном аудиту припрема тим за аудит, а потписује га главни аудитор. У извештају се морају навести само тачни подаци и он се подноси налогодавцу аудита. Извештај треба да да оцену о усаглашености са захтевима стандарда и мора да укључи:

- идентификацију (ознаку), сврху, циљ и опсег аудита,
- податке о аудиту и аудиторима,
- идентификацију докумената по којима је израђен аудит (стандарди, приручник),
- закључак са главним запажањима и већим неусаглашеностима,
- препоруке о корективним мерама и последичним аудитима и
- закључак о усаглашености са стандардом.

На крају, главни аудитор, у случају усаглашености са стандардом, предлаже сертификационом телу да изда сертификат. У циљу даљег унапређења система менаџмента врши се интерна провера текућег сертифициваног система. Ово има за циљ да пружи предузећу сигурност да је систем менаџмента на правом путу и да се стално побољшава.

Табела 7.5. Критеријуми за аудит (Стоиљковић и др., 2006)

Квалификациони аудит		Квантификациони аудит	
Стање	Оцена	Оцена	Стање
Захтев је испуњен, ефикасно имплементиран и показује побољшање у протеклих 12 месеци	CI	100%	Захтев је испуњен (примењује се у пракси) и документован је.
Захтев је испуњен и ефикасно имплементиран.	C	80%	Захтев је испуњен, али није потпуно документован.
Захтев је испуњен, али има мање неусаглашености у имплементацији.	M	60%	Захтев је испуњен и документован у већини (3/4) доказних случајева.
		40%	Захтев је испуњен у већини (3/4) доказних случајева, али није документован.
Захтев није испуњен или има критичних неусаглашености.	O	0%	Захтев није испуњен, свеједно да ли је документован.
Оцена елемената система квалитета			
Прелазне су оцене CI и C. Елемент система квалитета није задовољен ако је макар једно питање оцењено са M или O.		Пролазне оцене су 100% и 80%. За оцену целог аудита најпре се рачуна просек за сваки елемент система квалитета (група питања). Елемент добија пролазну оцену ако је просек свих оцена (у овој групи) већи од 80%.	
Оцена целокупног система квалитета			
Систем добија пролазну оцену pass ако нема ниједне M или O оцене. Оставља се отворена оцена open ако постоји једна или више M оцена. Ова оцена се може претворити у прелазну ако се у року од 90 дана или у другом договореном периоду отклоне неусаглашености, са прихватањем задовољавајућих доказа усаглашености. Прихватање је дискреционо право аудитора и може укључити проверу на лицу места.		Оцена целокупног система квалитета врши се пре свега кроз оцену задовољавања појединих елемената система квалитета. Један незадовољени елемент значи да систем не задовољава. Додатна процена врши се кроз просечну оцену појединачних елемената и даје се коначна оцена. A – систем у потпуности задовољава (изнад 90%); AB – систем задовољава (изнад 80%); B – систем је на граници да задовољава (изнад 70%).	
Незадовољавајућа оцена fail даје се ако има више од једне критичне неусаглашености или ако се у предвиђеном року не отклоне неусаглашености код отворене оцене.		C – систем не задовољава (испод 70%).	

7.2.3 Предности и ограничења

Метода провере – аудит има за циљ спровођење интерне или екстерне, објективне провере да ли су активности примене система менаџмента квалитетом, заштитом животне средине, здрављем и безбедношћу на раду извршене ефикасно и да ли су усаглашене са међународним стандардима. Ова метода утврђује и да ли су резултати реализовани у циљу постизања одређених циљева и политике организације у којој се врши провера и да ли су идентификоване потенцијалне могућности за побољшање. Ограничења у примени аудита: сувише је опширна метода, захтева много времена, информација и рада, детаљну документацију која треба да буде доступна, ангажовање екстерних експерата или консултантске куће, с тим у вези и велике издатке за сложене системе.

7.3 Пропуст менаџмента и стабло ризика

Метода пропуст менаџмента и стабло ризика (*Management Oversight and Risk Tree – MORT*) датира из 1970. године. Користи се за откривање организационих и управљачких грешака, а на основу анализе акцидентата који су се десили, и са циљем избегавања истих у новим условима и системима. Грешка је дефинисана као било која значајна девијација (одступање) од правилног извршења радних задатака која проузрокује проблеме, инциденте, хаварије, отказе и сл. (Harms-Ringdahl, 2001).

Сврха *MORT* анализе јесте да обезбеди поуздане информације за помоћ у планирању, организовању и управљању акцидентима, тј. за идентификовање специфичних контролних и управљачких фактора који су адекватни и потребни у циљу спречавања појаве акцидентата.

Како *MORT* приликом спровођења одузима доста времена, средином осамдесетих година прошлог века развијен је мини *MORT*. Мини *MORT* представљен је Америчким ваздушним снагама (*U.S. Air Force Ground Safety Community*) као алтернативни алат за истраживање акцидентата, са могућношћу да оцени од приближно 150 до 1500 догађаја. Џонсон (Johnson, 1980) истиче да пет *MORT* научних радова о озбиљним акцидентима води до идентификовања 197 проблема, тј. око 38 проблема по научном раду. За њега је *MORT* једноставна, али обимна метода, код које је сваки елемент лак за учење и разумевање.

7.3.1 Подручје примене, тим, ресурси

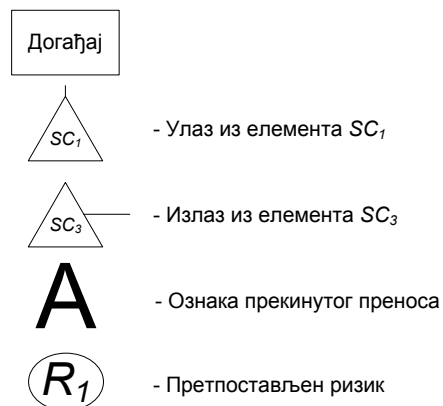
Метода пропуст менаџмента и стабло ризика користи се за анализу акцидентата који су се догодили у систему или организацији која се истражује. Спровођење *MORT* анализе креће онда када се акцидент деси и

када је менаџмент система обавештен. Анализу изводи локална радна група, тј. обучен мултидисциплинаран тим, али се може спровести и од стране једног експерта из одбора за безбедност система (нпр. саветник одбора).

Према Џонсону (Johnson, 1980) анализа акцидента може бити извршена у времену од једног до пет дана. Међутим, искуства примењивања ове методе у Финској указују да је за анализу потребно осам недеља. Дакле, *MORT* захтева много времена, информација и рада, а с тим у вези и велике издатке за сложене системе, због тога је потребно упоредити трошкове које изазива појава акцидента са трошковима саме анализе.

7.3.2 Методологија

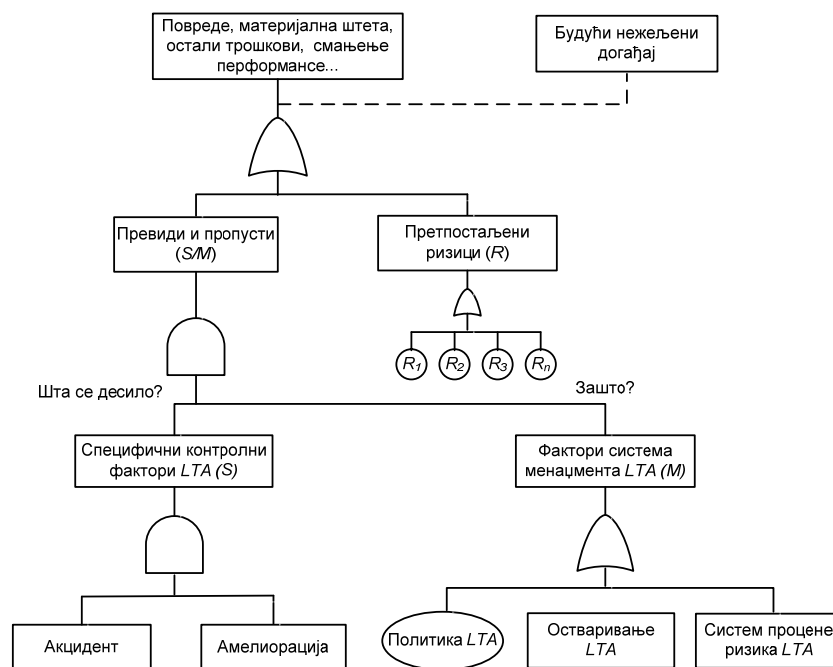
Општи опис акцидента креће од познатог ка непознатом, прво се уносе информације које су доступне, а онда се врши истраживање свих недоступних делова у вођењу истраге о акцидентима. Логички дијаграм *MORT* обезбеђује општи опис проблема и користи исте (сличне) симболе као и код стабла отказа (Слика 7.5).



Слика 7.5. Симболи који се користе у *MORT* анализи

Улазни захтеви за *MORT* анализу су обимни. Детаљне информације о хардверу и инсталацијама (средствима), окружењу, процедурама и персоналу потребне су за укупну процену фактора контроле, а додатне информације о управљачком систему неопходне су да би се процениле политика, процедуре, планови, програми за управљање ризика и друго. Прикупљање информација може се остварити путем интервјуа, физичке инспекције и прегледа многих процедура и пројектних докумената.

Анализа се спроводи праћењем *MORT* шеме (Слика 7.6). Догађај на врху може да буде акцидент који се догодио. На слици је то приказано као две гране: „претпостављени ризици“ и „превиди и пропусти“.



Слика 7.6. Део стабла *MORT* методе (Harms-Ringdahl, 2001)

Менаџмент компаније мора да анализира и обради „претпостављени“ ризик, а то су губици због земљотреса, торнада, урагана и др. природних катастрофа. Према томе, комбинација где неке врсте акцидентата имају тенденцију да се јаве и где нису предузете специфичне мере контроле није довољна да се рачуна као претпостављена.

Друга главна грана стабла названа „превиди и пропусти“ усваја организационе факторе. Људи који управљају системом не могу да ураде оно што се од њих очекује зато што су процедуре и критеријуми неадекватни. Превиди или пропусти у овој области често су случајни фактори, који морају бити кориговани да би се поновни акцидент спречио. Ова грана има две помоћне гране.

Прва грана – „специфични контролни фактори“ – усредсређује се на оно што се догодило за време акцидента. Она се даље грана на појединачне специфичне случајеве и на то како се последице смањују, на пример, кроз противпожарну заштиту, обезбеђење медицинског третмана итд.

Друга грана – „фактори система менаџмента“ – усредсређује се на питање „зашто?“. Она је подељена на три елемента: политику, примену (остваривање) и систем за процену ризика. Политика често може бити неадекватна. У ствари, већина организација има пажљиво формулисану политику коју потписује руководилац. Чак и најбоља политика има умањену вредност ако се не спроводи добро (нпр. проблеми у овом делу често онемогућавају ефективност програмâ који су на папиру). Наравно, на питање „Зашто?“ – на страни шеме „фактори система менаџмента“ – не може бити одговорено све док питање „Шта се десило?“ – на страни шеме „специфични контролни фактори“ – не добије своје одговоре.

Још један битан фактор система менаџмента јесте систем за одређивање нивоа ризика. Ако ризици нису идентификовани, процењени и тачно саопштени руководству, онда се тешко и спроводе одговарајуће мере у контроли или смањењу ризика на прихватљив ниво.

Неки елементи на стаблу нумерисани су и они се односе на листу која је обезбеђена као допуна стаблу. За сваки елемент постоје специфична питања која аналитичар треба да постави (види: Harms-Ringdahl, 2001). Стабло може да садржи око 200 основних проблема, али ако се примењује у различитим областима, број потенцијалних узрока може порасти на 1500 (због тога је развијена мини *MORT* шема).

Метода је компјутеризована и спроводи се постављањем проницљивих питања, заснованих на идеалном моделу организације. Где организација одступа од идеалне, може бити више негативних одговора, што аналитичарима без искуства ствара потешкоће у раду. Питања на која је могуће добити директан одговор означена су бојама и боје се користе за шифровање одговора (Слика 7.7). Зелена значи *OK* (у реду, задовољава), црвена *LTA* („Мање него довољно“ – *Less Than Adequate* – *LTA*) и плава да на питање ниједан одговор није добијен. Плави знак указује да је потребно прикупити више информација у овој области. Идеално, сви плави блокови замењују се другом бојом кад је истрага завршена (реално, одстрањивање плавих блокова није увек могуће). Поједини блок или грана шеме који нису применљиви обојени су црном бојом (или понекад једноставно прецртани).

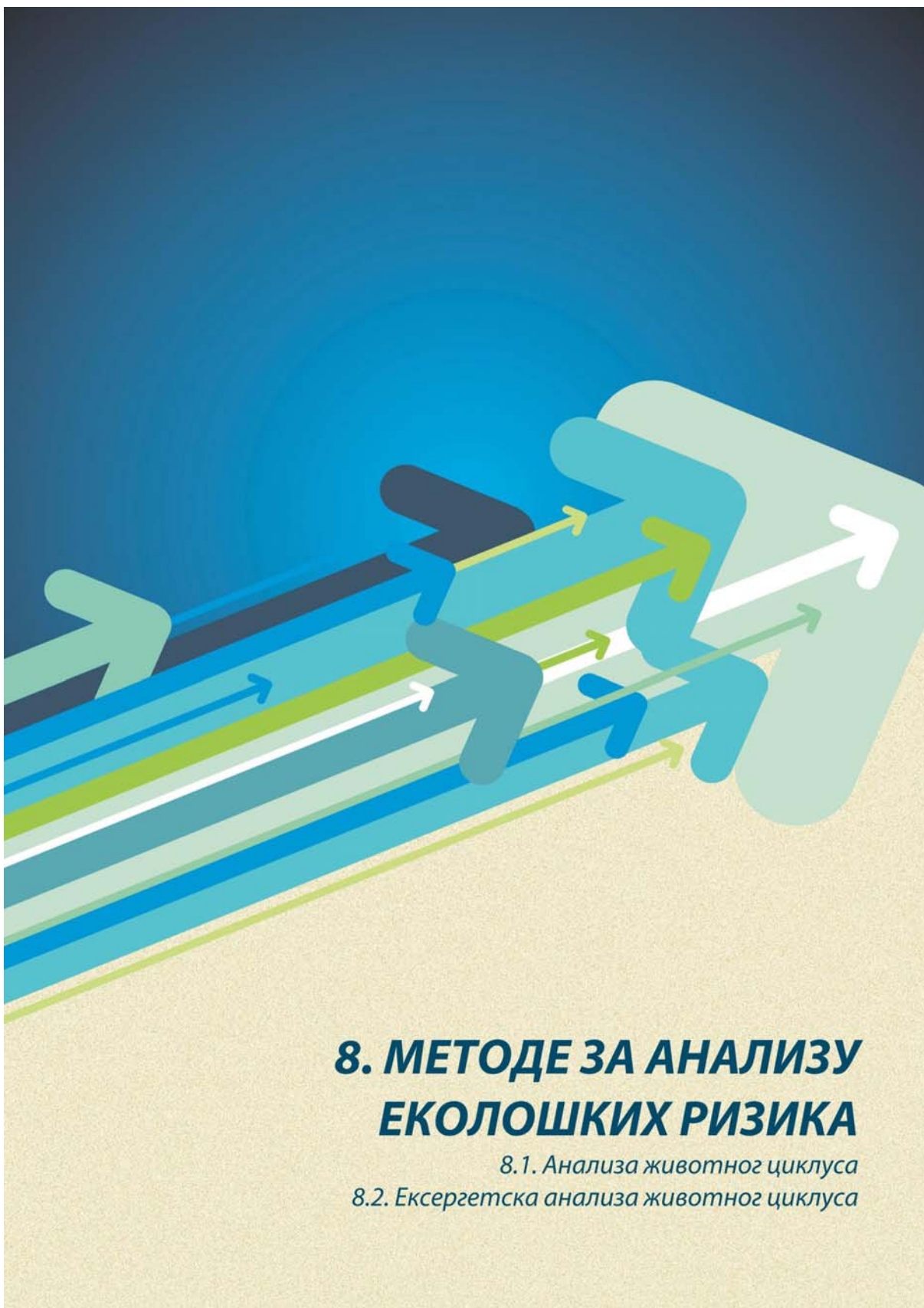
Дакле, анализа укључује преглед елемената на стаблу и врши процену сваког од њих. Постоје два нивоа процене: „Који задовољава“ и „Мање него довољно“ (*Less Than Adequate* – *LTA*). Процене су делом субјективне, али постојање листе специфичних и конкретних питања за сваки елемент умањује се степен субјективности. Анализа се завршава када су обухваћени сви елементи разматраног система.



Слика 7.7. Кодирање у боји приликом извођења *MORT* анализе

7.3.3 Предности и ограничења

Метода пропуст менаџмента и стабло ризика има за циљ откривање организационих и управљачких грешака анализом акцидената који су се десили. Главна предност *MORT* методе је да помаже истраживачу у формирању темељне истраге о акцидентима, идентификацији основних узрока акцидената и увођењу специфичних и основних мера контроле узрока акцидената. То је компјутеризована и релативно једноставана метода код које је сваки елемент лак за разумевање и анализу. Највећи недостатак *MORT* методе је да је временски захтевна (одузима доста времена приликом спровођења). Због тога је развијена мини *MORT* шема, која у основи представља пуну верзију *MORT*, са могућношћу да оцени од приближно 150 до 1500 догађаја. Такође, евалуација ризика није у потпуности објективна, јер различити тимови могу различито проценити поједине ризике.



8. МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ ЕКОЛОШКИХ РИЗИКА

8.1. Анализа животног циклуса

8.2. Ексергетска анализа животног циклуса

8. МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ ЕКОЛОШКИХ РИЗИКА

Заштита животне средине постаје приоритет скоро сваке организације. Примена система екоменаџмента и легислатива развијених земаља захтева проактивни приступ заштити животне средине у свим аспектима деловања.

Значајан алат примене ефикасног и ефективног система екоменаџмента јесте метода процене животног циклуса (*Life Cycle Assessment – LCA*), која представља оцењивање еколошких својстава производа и процеса и сумирање њихових могућих утицаја на животну средину у свим фазама животног циклуса, од екстракције сировина, кроз производњу, дистрибуцију, примену и ликвидацију.

Универзалност, којом се карактерише метода *LCA*, не доноси увек само предности, него и одређене тешкоће у специфичним случајевима. Стручњаци из ове области већ дуже време покушавају да прилагоде методу *LCA* одређеним условима и захтевима. Међу специфична подручја примене *LCA* спада инжењерство животног циклуса (*Life Cycle Engineering – LCE*) и екодизајн (*Design for Environment – DfE*) (Glisovic, 2000). У неким европским земљама у употреби је и појам „екобаланс“, или *Resource and Environment Profile Analysis – REPA*. Ради се о процесу у којем се вреднује како потрошња енергије и материјала, тако и утицај на здравље људи и стање екосистема у значајним фазама егзистенције техничког система, производа или процеса.

8.1 Анализа животног циклуса

Анализа животног циклуса релативно је нова метода и проучава аспекте и могуће утицаје на животну средину током целокупног животног века производа, „од колевке па до гроба“ (*From Cradle to Grave*), тј. од екстракције сировина преко производње, употребе, па до коначног третмана остатака. Њени почеци датирају из 1963. године, да би 1992. године, на конференцији Асоцијације за токсикологију и хемију животне средине (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC*), дошло до методолошког сједињења различито реализованих, и до тада неупоредивих анализа, као и детаљнијег усаглашавања поступка *LCA* (EPA, 2005). Анализа животног циклуса је 1997. године постала саставни део серије стандарда *ISO 14040, 14041, ..., 14049*. (Табела 8.1).

Табела 8.1. LCA кроз ISO стандарде

Анализа животног циклуса (LCA)				
Стандард	Статус	Објављен	Назив	Опис
ISO 14040	IS – Међунар. стандард	1997.	Управљање заштитом животне средине. Оцена животног циклуса – Принципи и оквири.	Поставља опште оквири и суштинске принципе за спровођење и извештавање о LCA студији.
ISO 14041	IS – Међунар. стандард	1998.	Управљање заштитом животне средине. Оцена животног циклуса – Дефинисање подручја примене, циљева и анализа инвентара.	Описује како за спровођење анализе инвентара подесити размере и циљеве. Овим се обухвата подешавање граница система, развој система прикупљања података и руковање поступцима, квалитет података као и транспарентност у извештавању резултата.
ISO 14042	IS – Међунар. стандард	2000.	Управљање заштитом животне средине. Оцена животног циклуса – Процена утицаја животног циклуса.	Описује оквири, основне принципе и захтеве за процену утицаја животног циклуса.
ISO 14043	IS – Међунар. стандард	2000.	Управљање заштитом животне средине. Оцена животног циклуса – Тумачење животног циклуса.	Даје опште оквири за тумачење анализе инвентара и резултата оцено утицаја LCA студије. Овим је обухваћена и провера осетљивости и комплетности.
ISO 14040	IS – Међунар. стандард	2006.	Управљање заштитом животне средине. Оцена животног циклуса – Принципи и оквири.	ISO 14040:2006 замењује претходно усвојене стандарде из 1997, 1998 и 2000.године. Поставља опште оквири и суштинске принципе за спровођење и извештавање о LCA студији. У тумачењу резултата LCA студије користе се разматрања и виђења заинтересованих страна. Не описује LCA детаљно, нити прецизира методологије за поједине фазе.

Табела 8.1. (Наставак)

Анализа животног циклуса (LCA)				
Стандард	Статус	Објављен	Назив	Опис
ISO 14044	IS – Међунар. стандард	2006.	Управљање заштитом животне средине. Оцена животног циклуса – Захтеви и смернице.	Дефинише захтеве и даје смернице за оцену животног циклуса, укључујући: обим и циљ <i>LCA</i> , инвентар животног циклуса (<i>LCI</i>), оцењивање утицаја животног циклуса (<i>LCIA</i>), ограничења <i>LCA</i> , однос између фаза <i>LCA</i> и сл. Дакле, <i>ISO 14044</i> обухвата студију процене животног циклуса и студију инвентара животног циклуса.
ISO 14047	TR – Технички извештај	2012.	Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Илустративни примери о начину примене <i>ISO</i> 14044.	Овај технички извештај садржи илустративне примере из праксе о оцени утицаја животног циклуса и начину примене стандарда <i>ISO 14044:2006</i> .
ISO 14048 (SRPS ISO/ TS 14048: 2006)	TS – Техничка специф.	2002.	Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Формат документације <i>LCA</i> података.	Овај документ описује захтеве за формате докумената са подацима у циљу размене <i>LCA</i> података између различитих корисника.
ISO 14049	TR – Технички извештај	2012.	Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Илустративни примери о начину примене <i>ISO</i> 14044. Дефинисање подручја примене, циљева и анализа инвентара.	Овај технички извештај садржи илустративне примере о начину примене стандарда 14044:2006 о дефинисању подручја примене, циљева и анализе инвентара.

Према прихваћеним стандардима, кључна обележја *LCA* студије су:

- Студије *LCA* треба систематски и примарно да одреде еколошке аспекте система производа од добијања сировина, до коначног елиминисања остатака.

- Обухват и оквир *LCA* студије могу се мењати у великом распону, према дефинисаном циљу и предмету студије.
- Предмет проучавања, претпоставке, ниво квалитета података, методологија и резултат студије *LCA* морају бити прегледни. Студије *LCA* треба да документују изворе података и јасно их изложе.
- Методологија *LCA* треба да буде отворена за нова открића и побољшања која су одраз савременог стања технологије.
- Резултате *LCA* не треба редукovati на једноставне збирне податке и вредности, јер су у разним стадијумима животног циклуса од значаја различите категорије утицаја на животну средину.
- Не постоји јединствена метода за припрему студије *LCA*. Према међународном стандарду, поједине организације треба флексибилно да користе *LCA* на основу специфичне примене и захтева корисника.

Главни принципи спровођења *LCA* студије су:

- Јасно дефинисати циљеве и обим студије на самом почетку поступка. Од тачно и јасно дефинисаних циљева зависи квалитет студије.
- Јасно дефинисати границе система. Границе би требало да обухвате све што је потребно анализирати у свакој фази животног циклуса производа. Сваки индустријски систем може се приказати у оквиру граница које обухватају активности, које су од интереса. Простор изван границе – околина система – служи као извор улаза у систем и прихватни елемент излаза из система. Одређивање граница система најважнији је задатак на почетку *LCA*, јер су погрешне интерпретације извор највећих грешака.
- Избећи вишеструко калкулисање истих ставки, као што су потрошња енергије, материјала и продукција отпада.
- Одржати конзистенцију при формирању катастарске базе података. Јединице морају бити упоредиве и примењиване на одговарајућим местима.
- Обухватити енергетску вредност материјала и енергетску вредност производње енергената.
- Код прикупљања података за *LCA* неопходно је узети у обзир следеће факторе: прикупљање података је временски најзахтевнији део анализе, многи подаци су скривени, тако да је врло тешко доћи до њих, а јавно доступни подаци (публикације) већином су застарели, не садрже неопходне детаље и не одржавају важне трендове развоја производње и технологије.

8.1.1 Методологија

Анализа животног циклуса производа даје увид у интеракције производног процеса и животне средине, билансе енергије и материје у самом процесу и експлоатацији и пружа могућности за антиципацију проблема везаних за третман остатака. Стварање већине производа и уклањање остатака трајних потрошних добара обухвата широку лепезу продукционих, дистрибутивних и санационих процеса. Из индустријске перспективе, *LCA* обухвата (Слика 8.1):

- екстракцију примарних материја,
- производњу материјала, компонената, подсклопова и функционалних целина,
- асемблирање (монтажу),
- дистрибуцију (достављање, транспорт),
- употребу и одржавање,
- постапкативни третман (поновно коришћење, растављање, механичко и хемијско рециклирање, рекулпацију енергије и депонијско одлагање).



Слика 8.1. Животни циклус производа (Глишиовић, 2006)

Уочљиве су три основне фазе деловања индустријског производа на животну средину: дејство процеса настајања производа, дејство експлоатације производа и дејство остатака производа по истеку употребне вредности (Glisovic & Zikic, 2007).

Процес настајања производа нужно подразумева утрошак енергетских и материјалних ресурса. Остаци материје и енергије напуштају процесе као штетне емисије са енергетским садржајем (топлота и бука) и отпад у сва три агрегатна стања. Са циљем очувања живе средине неопходан је и развој безотпадних технологија, оптимизација производње и пројектовање затворених циклуса.

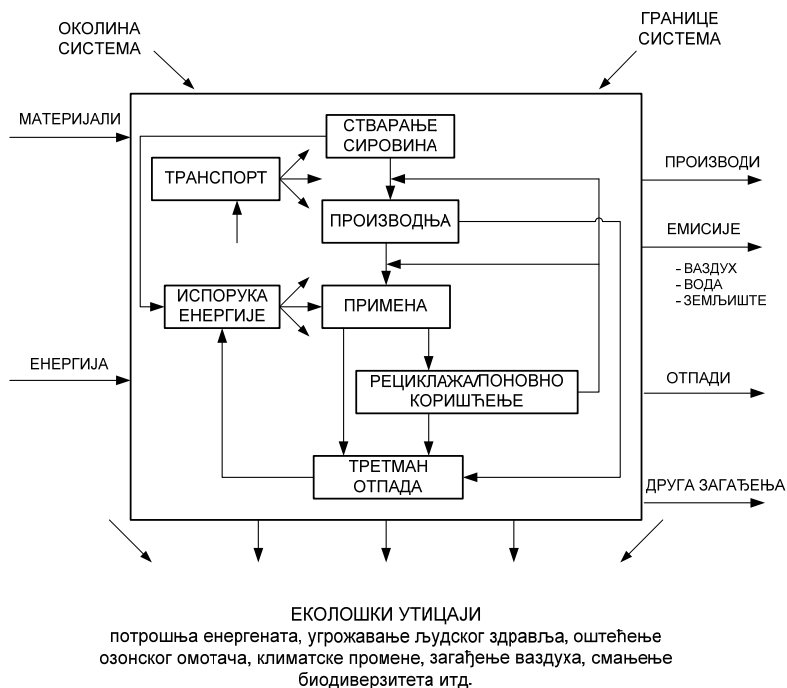
Експлоатација производа подразумева утрошак енергетских и/или материјалних ресурса, бар када је реч о савременим, „вишим“ производима, и трајним потрошним добрима. Постоји, међутим, низ производа који у фази експлоатације не делују знатно на животну средину, све до појаве абнормалних услова. Ова фаза веома је зависна од врсте и намене производа, па се тешко може генерализовати кроз опште назнаке и форме утицаја. Са циљем очувања живе средине неопходно је унапредити еколошке перформансе производа: анализу утрошка енергије, реконструкцију и оптимизацију структурних елемената.

Дејство остатака производа по истеку употребне вредности подразумева ангажовање простора (за одлагање остатака) и/или утрошак енергије (за уклањање, рециклирање или рекулвацију). Са циљем очувања животне средине потребно је ова дејства преусмерити и применом одговарајућих организационо-техничких мера вратити део енергетског и/или материјалног садржаја у циркулацију. Ови се утицаји могу умањити искључиво превентивно, у фази конструисања.

Значај сваке од ових фаза мултиплицира се када је реч о производима широке потрошње. Када је реч о трајним потрошним добрима, последње две фазе посебно долазе до изражаја.

Анализа животног циклуса пружа системски оквир за идентификацију, анализу и планску редукацију негативних еколошких резултата, у вези са појединим фазама животног циклуса производа. Врло је значајан алат при стварању нових производа, иновација или реконструкцији постојећих производа, односно производних система. Посредством *LCA* могуће је доћи до нових информација за одлучивање, како у области стратегије, тако и за текуће управљање организацијом.

Животни пут производа не почиње његовом појавом на тржишту нити завршава престанком његове употребне вредности. Животни циклус производа много је сложенији и чини га неколико фаза. Системски модел производа за потребе оцењивања животног циклуса приказан је на слици 8.2.



Слика 8.2. Системски модел производа за оцењивање животног циклуса
(модификовано према: Ходолич, Бадида, Мајерник, Шебо, 2005)

8.1.2 Оцена животног циклуса

Оцена животног циклуса реализује се кроз четири фазе:

1. дефинисање циљева и предмета,
2. инвентар животног циклуса (*Life Cycle Inventory analysis – LCI*),
3. оцењивање утицаја животног циклуса (*Life Cycle Impact Assessment – LCIA*) и
4. интерпретација резултата.

Наведене фазе са међусобним зависностима приказане су на слици 8.3.

Дефинисање циља и предмета и интерпретациона фаза оцењивања животног циклуса чине оквир студије, док фазе инвентар животног циклуса и оцењивање утицаја животног циклуса дају информације о систему произ-

вода. Сагледавање животног циклуса у пројектним активностима подржано је законском регулативом.



Слика 8.3. Фазе LCA и њихове узајамне зависности
(Ходолич, Будак, Илић, Милановић, Миланковић, 2011)

Циљ LCA студије мора једнозначно изражавати претпостављену примену, разлоге за израду студије и претпостављене кориснике. За тзв. унутрашње студије LCA (реализоване у организацији за сопствене потребе) границе система поставља тим одређене компаније. Границе обимнијих студија морају бити дефинисане тимом стручњака из различитих области, од којих сваки има јасно дефинисану активност.

Полазиште у примени LCA методе је постављање граница система. Границама система одређују се јединични процеси који се морају укључити у LCA. Границе система могу бити:

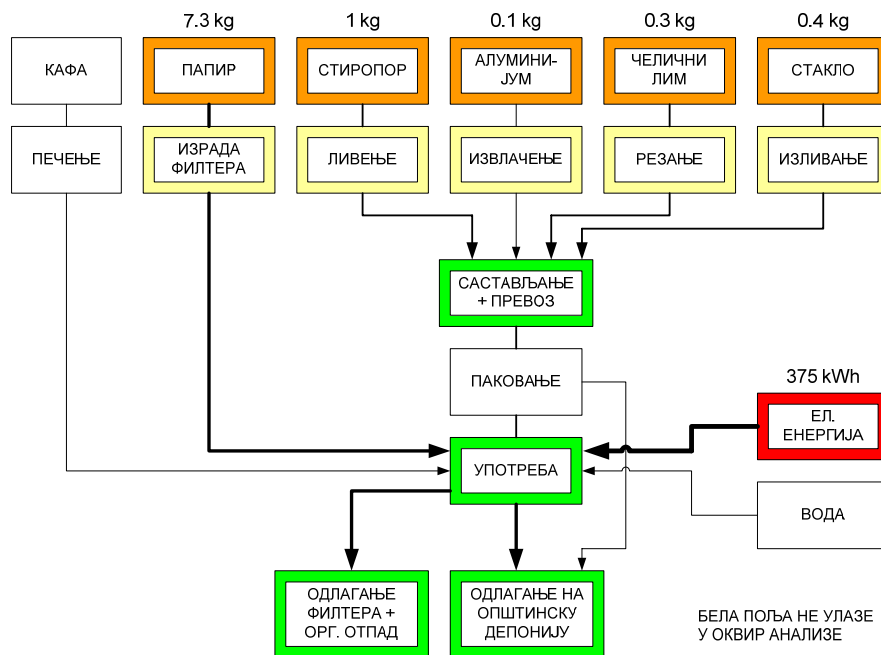
- „Од колевке до гроба“ (*From Cradle to Grave*) – целокупна анализа животног циклуса, почев од екстракције сировина (колевка), преко транспорта, обраде сировина и производње, затим дистрибуције до потрошача, употребе и на крају одлагања (гроб).

- „Од колевке до капије“ (*From Cradle to Gate*) – представља делимичну анализу животног циклуса, почев од екстракције сировина (колевка), али само до капије, произвођача, односно до излаза из производње, тј. пре дистрибуције до потрошача.
- „Од капије до капије“ (*From Gate to Gate*) – представља парцијалну анализу животног циклуса, у коме се посматра само један процес (нпр. укупна производња или само један јединични процес у производњи), који се касније може повезати са осталим процесима у животном циклусу да би се постигла целокупна анализа, односно варијанта од колевке до гроба.
- „Од колевке до колевке“ (*From Cradle to Cradle or Open Loop Production*) – представља специфичну врсту првог случаја (*From Cradle to Grave*), где се последња фаза, тј. фаза краја животног циклуса или одлагања (*End of Life*) везује за процес рециклаже и враћа на почетак (до колевке). Овај приступ помаже у смањивању оптерећења животне средине од стране производа тако што од почетног производа рециклажом настају нови, идентични производи, или пак неки нови производи.

Предмет LCA студије се мора довољно добро дефинисати да би ниво дубине и детаљности студије били компатибилни и довољни за постизање дефинисаног циља. Код дефинисања предмета *LCA* студије морају се респектовати и јасно описати следећи елементи (Ходолич и др., 2011):

- функције система производа у случају упоредних студија система производа,
- функционална јединица,
- анализирани систем производа,
- границе система производа,
- придружени поступци,
- типови утицаја и методологија оцењивања утицаја,
- захтеви у вези са подацима,
- претпоставке,
- ограничења,
- тип и облик информације која се захтева и сл.

Инвентар животног циклуса подразумева прикупљање података и поступке прорачуна за бројчано исказивање важних улаза и излаза система производа (пример слика 8.4). Ови улази и излази могу обухватити експлоатацију сировина и енергије (улази) и штетне емисије у компоненте животне средине везане са системом (излази). Интерпретације које се могу црпити из ових података зависе од циља и предмета *LCA*. Ови подаци чине улазне вредности за оцењивање утицаја животног циклуса.

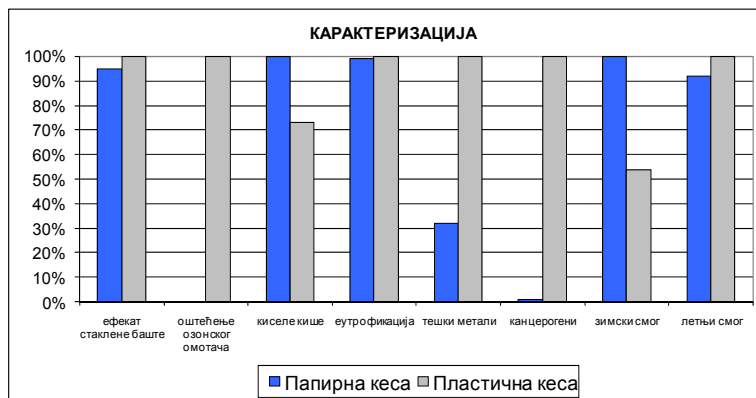


Слика 8.4. Пример формирања инвентара животног циклуса (кућног апарата за кафу)

Прикупљање и обрада података врши се применом мерења, теоријских прорачуна, претраживањем база података, предикцијом, формирањем инвентарских табела. Поступци *LCA* олакшани су бројним базама података и алатима за спровођење ефикасне и/или свеобухватне анализе посматраног система.

Сагледавање животног циклуса је холистички приступ и његовом креативном применом ствара се простор за компромисе у избору конструкционих решења. Не треба тежити смањењу утицаја производа на животну средину само у одређеној фази животног циклуса, уколико се тиме у већини осталих фаза повећава интензитет његове негативне интеракције са окружењем (Jankovic & Glisovic, 1998).

Оцењивање утицаја животног циклуса је трећа фаза *LCA*. Процена утицаја фокусира се на карактеризацију типа и озбиљности утицаја на животну средину (пример слика 8.5). Значи, циљ оцењивања утицаја животног циклуса јесте испитивање система производа са еколошког гледишта (како се ефекти, у оквиру одређеног животног циклуса, одражавају на природу, здравље људи и др.).



Слика 8.5. Пример карактеризације утицаја папирне и пластичне кесе на животну средину

Општа структура фазе *LCIA* састоји се од неколико обавезних елемената, помоћу којих се резултати *LCI* мењају на резултујуће вредности индикатора, а поред њих егзистирају изборни елементи за нормализацију, сакупљање или пондерисање (оцењивање значајности) резултујућих вредности индикатора и технике анализе квалитета података. *LCIA* је само један део укупне студије *LCA* и мора се координирати са другим фазама *LCA*. Обавезни и изборни (необавезни) елементи *LCIA* дати су на слици 8.6.



Слика 8.6. Елементи *LCIA* (Ходолитч и др., 2011)

Оцена стања подразумева: класификацију инвентара процеса у категорије утицаја, карактеризацију у оквиру категорија, нормализацију – упоређивање са познатим, уобичајеним утицајима из исте категорије, додељивање тежинских коефицијената различитим категоријама. У неке од чешће коришћених *LCIA* алата спадају: *SimaPro*, *Eco-indicator 99* и *Impact 2002+*.

Резултати анализе умногоме зависе од одговарајуће поставке проблема у почетном стадијуму. Језгро метода представља инвентар свих индустријских процеса у току комплетног животног циклуса посматраног продукта.

Када се ради о квантификацији интегралне еколошке подобности производа која се спроводи од стране развојних тимова са ограниченим сазнањима из области заштите животне средине, метода укупне вредности могла би да представља оптимални алат за спровођење вишекритеријумске *LCA*. Метода вредносне оцене (укупне вредности) заснована је на одговарајућој матрици параметара разматраних алтернатива и обухвата анализу, утврђивање и оцену специфичних вредносних параметара. Затим следи процењивање релативног значаја параметара (утврђују се њихови тежински коефицијенти). Оцена сваког од утврђених кључних параметара еколошке подобности може да се изврши у изабраном распону вредности (Табела 8.2).

Табела 8.2. Систем бодова 0–4 (VDI 2225, према: Глишовић, 2006)

Бодовни систем	
Нумеричка вредност	Опис
0	Изразито неповољна еко-перформанса
1	Еко-перформанса на ивици прихватљивости
2	Прихватљив ниво еколошке подобности
3	Добар ниво еколошке подобности
4	Изразито повољан

Вишекритеријумски приступ од посебног је значаја када се ради о сложеним производима и компромисним пројектним решењима. Сумарни утицај сложених производа – матричним приказом вредности – укључује бројне субјективне факторе. Укрштање типова антропогеног оптерећења животне средине (апсциса) са фазама животног циклуса (ордината) – сума елемената матрице A_{ij} представља резултујући квалитет конструкције/реконструкције (Табела 8.3).

Табела 8.3. MEW матрица за спровођење LCA индустријских производа (Глишовић, 2006)

Фазе животног циклуса	Материја	Енергија	Чврсти отпад	Течни отпад	Емисије
Екстракција			↓		
Производња	→	→	A _{ij}		
Транспорт					
Експлоатација					
Третман остатака					

Циљ интерпретације животног циклуса је анализа резултата, остварених закључака, објашњење ограничења и пружање препорука заснованих на утврђеним чињеницама претходних фаза LCA и извештавање о резултатима интерпретације животног циклуса. Дакле, ова фаза животног циклуса треба да пружи јединствену презентацију резултата студије LCA, у складу са дефинисаним циљем и предметом студије.

Интерпретациона фаза животног циклуса састоји се из следећих елемената:

- идентификација значајних проблема, заснована на резултатима студије;
- вредновање (контрола потпуности, осетљивости и јединствености);
- закључци, препоруке и давање извештаја о значајним проблемима.

У већини пројектних задатака могуће је идентификовати фазе животног циклуса које су од највећег значаја за унапређење еколошке подобности.

Поједностављење проблема усмеравањем пројектних активности искључиво на једну фазу циклуса може да доведе до померања амплитуде еколошког оптерећења на неку другу фазу, чиме се поништавају ефекти реинжењеринга. Ако је укупни утицај производа на животну средину умањен прерасподелом његовог интензитета унутар фаза животног циклуса, онда се померање тежишта активности са једне на другу фазу може сматрати корисном пројектном стратегијом (Глишовић, 2006).

Оцена могућих побољшања односи се на анализу осетљивости техничког система и екосистема и одређивање приоритета и процена применљивости алтернативних решења.

8.1.3 Предности и ограничења

Предности *LCA*:

- Утврђивање могућности за побољшање еколошких перформанси у различитим фазама животног циклуса производа;
- Идентификација и анализа „слабих тачака“ животног циклуса производа или процеса, и отклањање истих;
- Поређење постојећих производа или процеса, као и формирање модела нових производа;
- Анализа трошкова кроз животни циклус производа и процеса (нпр. трошкови токова сировина и енергије, запосленог особља, производних линија, одлагања отпада, рециклаже, поновне употребе итд.);
- Анализа утицаја производа или процеса на људско здравље и стање екосистема;
- Препоруке за ефикаснији систем управљања отпадом;
- Доношење одлука у индустрији, органима управљања (нпр. при стратегијском планирању, утврђивању приоритета, пројектовању или измени пројекта за производе или процесе);
- Маркетинг (издавање потврда о заштити животне средине, еко-означавање – „еколошки знак“ или изјава о производу у вези са заштитом животне средине – „еко-декларација“).

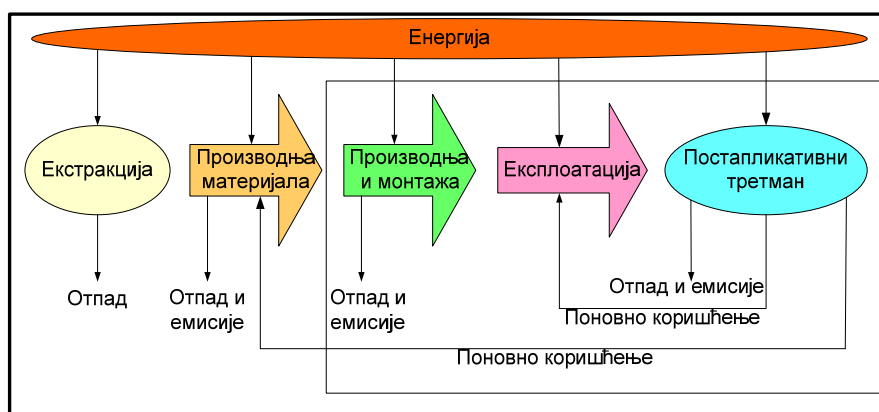
Ограничења *LCA*:

- Нема научне основе за свођење резултата *LCA* на један свеобухватни параметар, зато што код система који се анализирају у различитим фазама њиховог животног циклуса постоје бројни супротстављени ефекти и сложености;
- Не постоји јединствена метода за спровођење *LCA* студија. Организације треба да су прилагодљиве у практичном увођењу *LCA* како је и утврђено међународним стандардом *ISO 14040*, полазећи од специфичне примене и захтева корисника;
- Начин избора полазних претпоставки у *LCA* (нпр. утврђивање границе система, избор извора података и категорије утицаја) може бити субјективан;
- Модели који се користе за анализу инвентара или за оцењивање утицаја на животну средину ограничени су својим претпоставкама и не могу бити на располагању за све потенцијалне утицаје или примене;
- Резултати студија *LCA* усмерени на глобалне и регионалне проблеме можда нису одговарајући за примену на локалном нивоу, тј. локални услови могу бити на неодговарајући начин обухваћени регионалним или глобалним параметрима;

- Тачност *LCA* зависи од приступачности или расположивости података, односно од квалитета података, нпр. од врсте података, здруживања података, од просечне вредности података, специфичних података за локацију и сл.

8.2 Ексергетска анализа животног циклуса

Огроман значај рационалнијег коришћења енергије у свим областима људске делатности изискује развој метода за процену ефикасности примењене енергетске технологије. Минимизирањем масених, енергетских и ексергетских губитака смањује се ризик загађења животне средине. То значи, да би се адекватно сагледало стање животне средине, потребно је извршити анализу масеног, енергетског и ексергетског биланса (Слика 8.7).



Слика 8.7. Дијаграм опитих материјално-енергетских токова у животног циклусу производа (Глишовић, 2006)

8.2.1 Масени биланс

Масени (материјални) биланс саставља се на бази детаљне анализе технолошког процеса и промена у технолошким операцијама и процесима. Код израде материјалног биланса полази се од утврђивања количине материјала на улазу у технолошки процес и упоређивања те количине са количином добијеном на излазу из технолошког процеса, при чему се утврђују и губици материјала у технолошком процесу. Прво се утврђује материјални биланс технолошког система, затим, ради одређивања места највећих губитака материјала и откривања и отклањања узрока те појаве, обавља се детаљна анализа материјалног биланса за поједине фазе технолошког про-

цеса, за поједине технолошке операције, поједине машине и уређаје или за један материјал у технолошком процесу.

При утврђивању масеног биланса полази се од основног закона о одржању масе унутар процеса, по коме се маса не може ни створити ни уништити, односно маса затвореног система остаје константна током процеса.

Како маса носи са собом и енергију, билансом протока маса кроз неки од процеса добија се индиректан одговор о енергетској потрошњи у том процесу.

Једначина за општи материјални биланс приказана је следећим изразом:

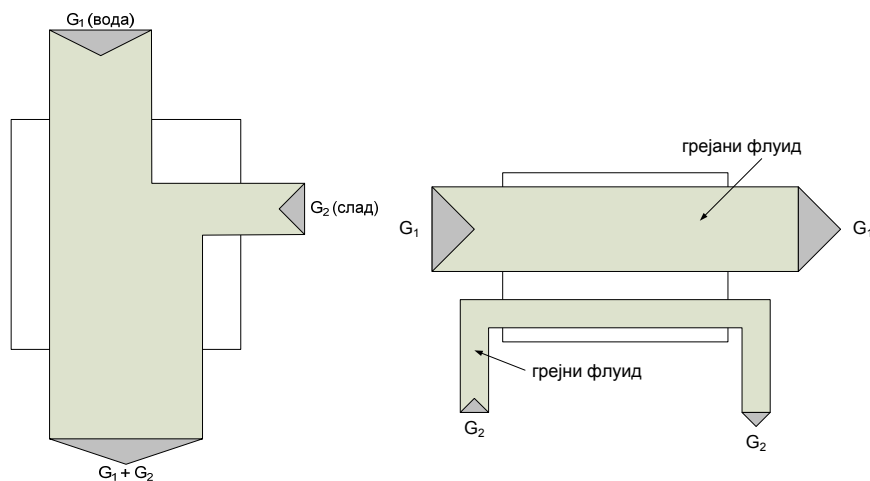
$$\sum_1^n G_{ul} = \sum_1^n G_{iz} \quad (8.1)$$

где је:

G_{ul} – масени проток флуида који улази у контролисану запремину;

G_{iz} – масени проток флуида који излази из контролисане запремине.

Резултати сваког биланса приказују се шематски. На слици 8.8. шематски је приказан масени биланс мешања слада и воде и размењивача топлоте.



Слика 8.8. Дијаграм масених токова (Анђелковић, Крстић, 2002)

8.2.2 Енергетски биланс

Енергија представља особину материје и као таква не може се створити нити уништити. Најопштији облик енергетске једначине која се може применити на све отворене и затворене системе, односно на све врсте процеса у затвореном систему и струјања, у првом реду је стационарна и униформна (Анђелковић, Крстић, 2002):

$$\sum \left(u + pv + gz + \frac{w^2}{2} \right)_{iz} \delta G_{iz} - \sum \left(u + pv + gz + \frac{w^2}{2} \right)_{ul} \delta G_{ul} + \int_P^K d \left(u + gz + \frac{w^2}{2} \right) G = \sum \delta Q_{cv} - \sum \delta W_{cv} \quad (8.2)$$

где је:

$$\sum \delta Q_{cv} + \sum \left(u + pv + gz + \frac{w^2}{2} \right)_{ul} \delta G_{ul} - \text{енергија коју прими контролисана запремина, а састоји се од енергије топлотних извора и енергије коју са собом уноси маса;}$$

тролисана запремина, а састоји се од енергије топлотних извора и енергије коју са собом уноси маса;

$$\sum \delta W_{cv} + \sum \left(u + pv + gz + \frac{w^2}{2} \right)_{iz} \delta G_{iz} - \text{енергија која напушта}$$

контролисану запремину и која се састоји из компоненте рада δW_{cv} (механички рад који врши систем у односу на околину + рад који се добија на осовини пумпе или турбине + електрични рад, као код акумулатора, + рад магнетних сила) и енергије коју са собом износи маса;

$$\int_P^K d \left(u + gz + \frac{w^2}{2} \right) G - \text{смањење или повећање енергије у контролисаној запремини у току периода акумулације.}$$

лисаног запремини у току периода акумулације.

u – унутрашња енергија јединице масе;

pv – енергија струјања јединице масе;

gz – потенцијална енергија јединице масе у односу на референтни ниво;

$\frac{w^2}{2}$ – кинетичка енергија јединице масе у односу на посматрача;

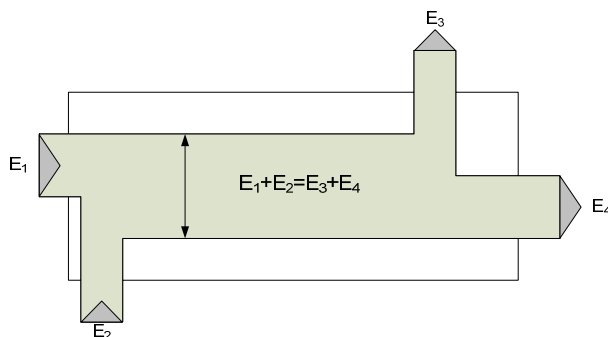
δG_{ul} – маса која улази у контролисану запремину;

δG_{iz} – маса која излази из контролисане запремине;

P, K – граничне вредности особина контролисане запремине на почетку, односно крају периода акумулације;

G – маса која се задржава у систему у периоду $\Delta \tau$.

Енергетски биланси, у зависности од сврхе и сложености система, могу се приказивати табеларно и графички. Пошто се помоћу њих често одређују топлотни губици Q_g , они се посебно исказују. Енергетски биланс приказује се тзв. Сенкијевим дијаграмом (*Sankey*) (Слика 8.9), који се обично односи на јединицу производа. Ако је процес континуалан, енергија се тада своди на јединицу времена, а ако је дисконтинуалан, на јединицу производног процеса.

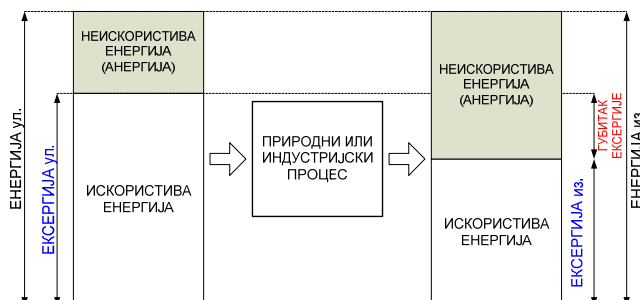


Слика 8.9. *Sankey* дијаграм

8.2.3 Ексергетски биланс

Ако се као критеријум за поделу енергије усвоји степен трансформације једног облика енергије у други (Слика 8.10), постоје три групе енергије:

1. енергија која се може неограничено претварати у друге облике енергије – *ексергија* (у ову групу спадају механичка и електрична енергија);
2. енергија која се може само ограничено претварати у друге облике енергије, нпр. унутрашња енергија и топлота;
3. енергија која се не може претварати у други облик енергије – *анергија*.



Слика 8.10. Облици енергије у систему (Fischer, Schuller, Albrecht, & Faltenbacher, 2008)

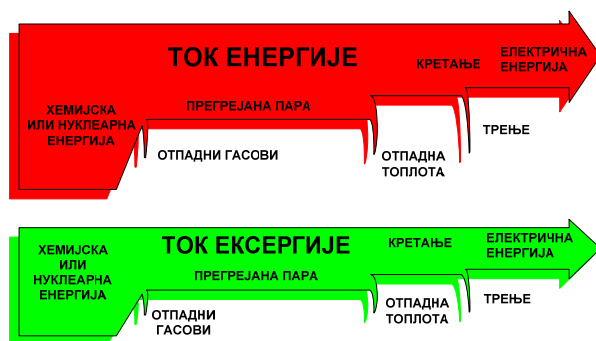
Израз за било који облик енергије гласи:

$$\text{енергија} = \text{ексергија} + \text{анергија} \quad (8.3)$$

уз напомену да један од чланова десне стране израза може имати вредност нула.

Увођењем појма ексергије и анергије први принцип термодинамике може се дефинисати на следећи начин: „У свим енергетским процесима збир ексергије и анергије константан је“.

Ексергија се дефинише као максималан користан рад неповратних процеса у односу на изабрано стање околине, тј. представља онај део енергије који се може без ограничења претворити у целини у било који други облик енергије, па самим тим и у механички рад (Anđelković & Krstić, 2007). Значи, ексергија је максималан рад који се може добити од неког радног флуида довођењем његовог стања повратним (реверзибилним) путем до стања околине (пример слика 8.11).



Слика 8.11. Пример протицања енергије и ексергије кроз термоелектрану

У суштини, ексергија представља део енергије који се може трансформисати неограничено у друге видове енергије. Она је мера и квалитета и квантитета енергије.

Различите врсте енергије имаће различите квалитете, тј. могућности да се конвертују у друге видове енергије (Табела 8.4), а самим тим имаће и различит проценат ексергије.

Табела 8.4. Ексергетски фактор за поједине облике енергије (Wall, 2010)

Облик енергије	Ексергетски фактор
Механичка енергија	1.0
Електрична енергија	1.0
Хемијска енергија	1.0
Нуклеарна енергија	≈ 0.95
Енергија сунчевог зрачења	0.93
Прегрејана пара (600°C)	0.6
Централно грејање (90°C)	0.2–0.3
Топлота на собној температури (20°C)	0–0.2
Топлотно зрачење Земље	0

Ексергија такође може бити коришћена као мера квалитета других ресурса, тј. материјала (Табела 8.5), и то тако да проценат ексергије неког материјала зависи од уређености елемената у том материјалу.

Табела 8.5. Ексергетски фактор неких материјала (Wall, 2010)

Облик материје	Ексергетски фактор
Материја у уређеном облику (угљеник у облику дијаманта или у живом организму)	1.0
Материја као комерционално добро (гвожђе, злато, олово, челик, легуре или пластика)	≈ 1.0
Богате наслаге минерала (нпр. гвожђе,...)	0.5
Сиромашне наслаге минерала (нпр. боксит,...)	0
Минерали растворени у морској води или земљишту	0

Будући да се ексергија система дефинише у односу на њену околину, важно је изабрати одговарајуће услове референтне околине. Сматра се да је околина топлотни понор великог капацитета, са константним параметрима притиска и температуре ($T_o = 298.15 \text{ K}$; $P_o = 1 \text{ bar}$). Остваривање корисног ефекта из неког система могуће је само док је његово стање у неравнотежи са стањем околине.

За енергетска претварања важи да се у свим неповратним процесима ексергија претвара у анергију, само у повратним процесима ексергија остаје константна, немогуће је анергију претворити у ексергију.

Реални енергетски процеси су више или мање неповратни, па се тако са претварањем једног облика енергије у други смањују залихе ексергије, јер се део ексергије претвара у анергију. На основу овог објашњења оправдан је назив другог принципа термодинамике, тзв. принцип смањења ексергије.

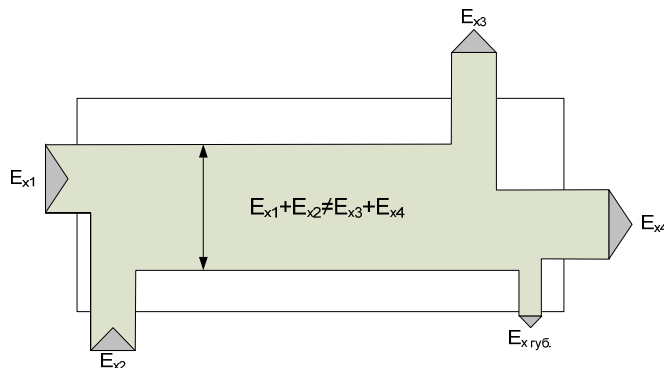
Дакле, за енергетске процесе није довољна било каква енергија, већ ексергија, тј. енергија која се може претворити у друге облике енергије. То значи да су енергетски извори, у ствари, ексергетски извори. Уобичајени изрази „потрошња енергије“ или „губитак енергије“ у супротности су са законом о одржању енергије, по коме се енергија не може ни потрошити ни изгубити. Појмови „потрошња ексергије“ или „губитак ексергије“ имају пуно значење, јер се ексергија троши и губи претварајући се коначно и неповратно у анергију.

Неповратни процеси су они процеси код којих се систем и околина не могу вратити у своје почетно стање без додатног утршка енергије (на пример, процес у коме се део механичке енергије деградира у топлотну енергију). Мера неповратности процеса, односно деградације енергије назива се *ентропија*.

Ексергетска анализа процеса заснива се на другом принципу термодинамике: „Сума ексергије у неком стационарном процесу може само да опада или у граничном случају за повратан процес да остане константна, али она никад у нашим условима не може да порасте“.

Ексергетски дијаграми разликују се од *Sankey* дијаграма, јер се код њих представљају и тзв. ексергетски губици (Слика 8.12).

У израчунавању ексергије издвајају се три утицаја који је одређују, а то су: утицај механичког рада на ексергију, утицај топлоте на ексергију и утицај струјног тока материје на енергију (види: Анђелковић, Крстић, 2002).



Слика 8.12. Ексергетски дијаграм

8.2.4 Опис ELCA методе

На основу процене животног циклуса, у комбинацији са анализом ексергије, од стране Корнелсена (Cornelissen, 1997) развијена је метода ексергетска анализа животног циклуса (*Exergetic Life Cycle Assessment – ELCA*). Ова метода је наставак *LCA* анализе, тј. представља екстензију већ постојеће *LCA* анализе и њен је саставни део, пошто је неповратност животног циклуса најприкладнији параметар за анализу исцрпљивања природних ресурса (Wall, 2000).

Анализа ексергије као самостална метода процене утицаја на животну средину не може да постигне задовољавајуће резултате, тако да је од 1997. године комбинована са *LCA* анализом и од тада па до данас настао је низ метода за анализу животног циклуса, где ексергија представља незаобилазни део:

- кумулативна потрошња ексергије (*Cumulative Exergy Consumption – CExC*);
- ексергетска анализа животног циклуса (*Exergetic Life Cycle Analysis – ELCA*);
- кумулативно коришћење ексергије из природног окружења (*Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment – CEENE*);
- анализа животног циклуса ексергије (*Life Cycle Exergy Analysis – LCEA*).

Циљ *ELCA* јесте остварење минималних ексергетских губитака, тј. смањење емисије ексергије, што иде у прилог заштити животне средине. Ексергетска анализа животног циклуса концентрисана је на ефикасност потрошње ресурса који улазе у процесе животног циклуса. Ексергетском

анализом лоцирају се места где се у животном циклусу дешавају највеће деструкције ексергије и на основу тих резултата могу се предложити побољшања како би се неповратност животног циклуса свела на минимум. Поређење резултата врши се увек са резултатима *LCA*. Анализа побољшања може се проширити ексерго-економском анализом, при чему се разматрају и новчани трошкови.

Код *LCA* анализе велики проблем представља одабир функционалне јединице на основу које ће се радити прорачуни. Код ексергетске анализе животног циклуса тај проблем не постоји, јер увек се узима иста јединица за сваку оцену, а то је *MJ*/јединици производа. То значи, ексергетски концепт је омогућио утврђивање стварне потрошње материје и енергије, различитих ресурса, у неповратним (реалним) процесима, описујући обе потрошње заједничком јединицом, чиме се ствара могућност њиховог употребљивања, побољшања или економизације процеса.

У светској научној литератури могу се наћи истоветна запажања многих научника да су утицаји штетних емисија које настају као резултат коришћења ресурса и одлагања отпада снажно повезани управо са ексергијом ресурса и ексергијом отпада. Управо из тих разлога од 70-их година прошлог века анализа ексергије различитих ресурса користи се за описивање штетних утицаја процеса у којима се ови ресурси користе, а од 2000. године узима све више учешћа у истраживањима проблема животне средине. Од 2008. године ексергетска анализа користи се као универзална и транспарентна метода за оцену деградације која настаје коришћењем необновљивих извора енергије и самим тим постаје део метода процене еколошког ризика.

8.2.5 Методологија

Ексергетска анализа животног циклуса омогућава одређивање иреверзибилности животног циклуса неког система/процеса и ефикасности потрошње природних добара, као и процену утицаја те потрошње на животну средину. Ексергетска анализа животног циклуса врши се кроз следеће фазе (Слика 8.13):

- одређивање циљева и делокруга,
- креирање инвентара,
- оцена утицаја и
- интерпретација резултата.

Спровођење ових фаза постиже се постављањем одређених питања.

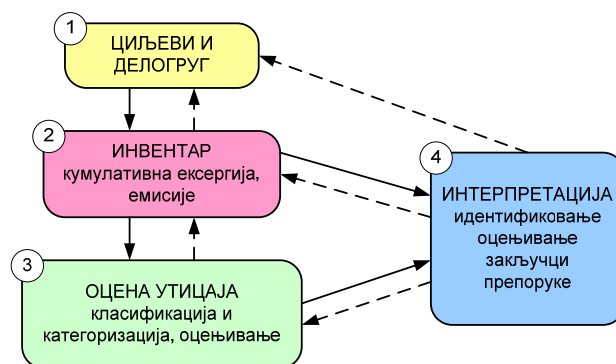
За одређивање циљева и делокруга: зашто радити анализу? Који су субјекти и који су делови животног циклуса покривени анализом?

За креирање инвентара: који ресурси се троше, које емисије настају?

За оцену утицаја: како утрошак ексергије и настале емисије утичу на животну средину?

За интерпретацију: шта резултати значе и шта треба урадити са њима?

Помоћу *ELCA* анализе утврђује се које су фазе животног циклуса најнесавршеније и какве последице исцрпљивање ресурса има на животну средину. Да би се оценио и утицај емисија уводи се екстензија *ELCA* анализе, тзв. *ZERO – ELCA*.



Слика 8.13. Методологија *ELCA*

Анализа *ZERO – ELCA* развијена је да би се разматрали утицаји штетних емисија на животну средину који настају током животног циклуса. Наиме, да би се ова метода извршила, потребно је да се елиминишу, тј. редукују све штетне емисије које настају током животног циклуса неког производа (Morse, Lester, & Perry, 1994). Елиминација се врши тако што се бирају одговарајући поступци третмана и пречишћавања отпадних супстанци. Међутим, потребно је предвидети да сваки поступак додатно троши ексергију. Када се прорачуна потрошена ексергија потребна за редуковање емисије, она се додаје већ прорачунатом утрошку ексергије и тако се добија комплетан преглед места на којима долази до највећег губитка ексергије у животној циклусу.

Анализа *ZERO – ELCA* може да покаже да се малим улагањем додатних природних ресурса може елиминисати значајни удео штетних емисија. У циљу стимулације и коришћења обновљивих ресурса потребно је дефинисати ексергетско-еколошко-економске параметре како би се остварили захтеви чистих технологија (Frangopoulos & Spakowski, 1993).

8.2.6 Предности и ограничења

Предности *ELCA*:

- Одређивање иреверзибилности животног циклуса неког производа и ефикасности потрошње природних добара;
- Анализа штетних емисија које настају током животног циклуса система и процена утицаја потрошње природних добара на животну средину;
- Откривање стварних губитака енергије и масе, као и локације губитака по фазама животног циклуса;
- Остваривање свеобухватног процеса процене и избор компромисног решења (однос трошкови–перформансе–подобност);
- Остваривање могућности да се улази и излази приказују истим јединицама, што ствара могућност да се одмах утврди ексергетска ефикасност неког процеса;
- Проценом ексергетске ефикасности процеса могу се упоређивати сви остали процеси који су анализирани по истом принципу.

Ограничења *ELCA*:

- Комплексна анализа, изискује доступност адекватних и поузданих података, доста времена и ангажовања;
- Често непоклапање „функционалне јединице“ са подацима из *LCA* база;
- Дилеме приликом избора категорије утицаја (глобално загревање, киселе кише,...);
- *ELCA* се ради понаособ за сваки појединачни продукт унутар производног система;
- Тачност *ELCA* зависи од квалитета расположивих података.



9. СТУДИЈЕ СЛУЧАЈА

- 9.1. Практична примена анализе стабла отказа
- 9.2. Практична примена анализе опасности и операбилности
- 9.3. Практична примена анализе начина, ефеката и критичности отказа
- 9.4. Практична примена анализе безбедности рада
- 9.5. Практична примена комплексне методе за процену нивоа укупне опасности од акцидента
- 9.6. Практична примена система управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине
- 9.7. Практична примена ексергетске анализе животног циклуса

9. СТУДИЈЕ СЛУЧАЈА

Ово поглавље има за циљ да прикаже практичну примену најчешће коришћених метода за процену ризика представљених кроз студије случаја.

9.1 Практична примена анализе стабла отказа

Практична примена квалитативне анализе стабла отказа дата је следећим примером.

Опис система:

На слици 9.1. приказан је пример модела аутоматског система заштите који се састоји од три подсистема: улазних сензора, логичких склопова и извршних уређаја.

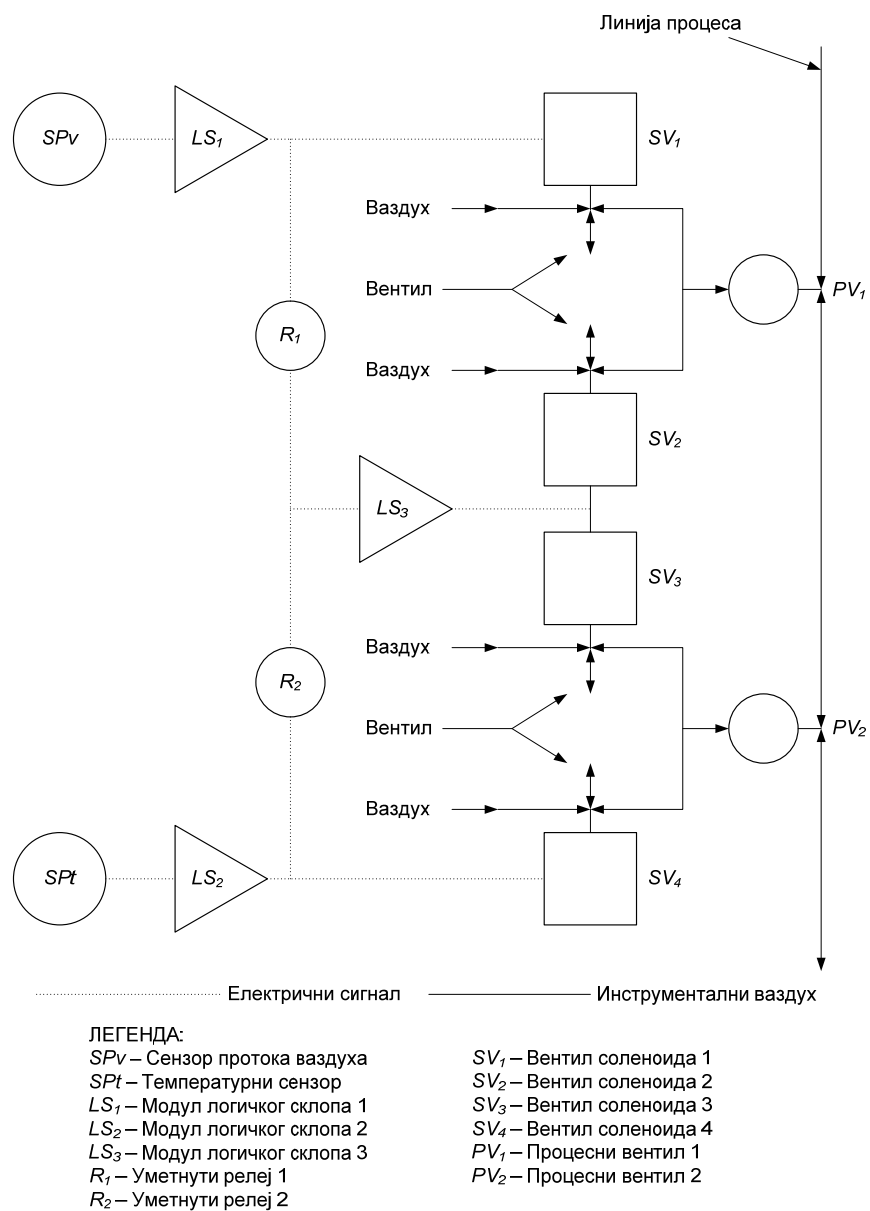
Код овог модела улазни систем састоји се од сензора за мерење протока ваздуха (SP_v) и температуре (SP_t). Излаз из сензора протока ваздуха јесте улаз за логички склоп (LS_1), док други логички склоп (LS_2) прима излаз од сензора температуре. Излази из ова два логичка склопа су уређени преко уметнутог релеја R_1 (LS_1 - LS_3) и R_2 (LS_2 - LS_3) који обезбеђују улазе за трећи заједнички логички склоп LS_3 . Логички систем карактерише редувантност без разноврсности у облику три одвојена логичка система и то: логички систем LS_1 , логички систем LS_2 и логички систем LS_3 . Сигнал од било ког логичког система покренуће извршне уређаје.

Канал сензора за мерење протока ваздуха је директни пут до вентила соленоида преко логичког склопа LS_1 . Додатни (допунски) излаз из LS_1 преко релеја R_1 и логичког склопа LS_3 је пут соленоида SV_2 и SV_3 .

Канал сензора за мерење температуре је директни пут до логичког склопа LS_2 и вентила соленоида SV_4 . Додати (допунски) излаз преко релеја R_2 и логичког склопа LS_3 је такође пут соленоида SV_2 и SV_3 .

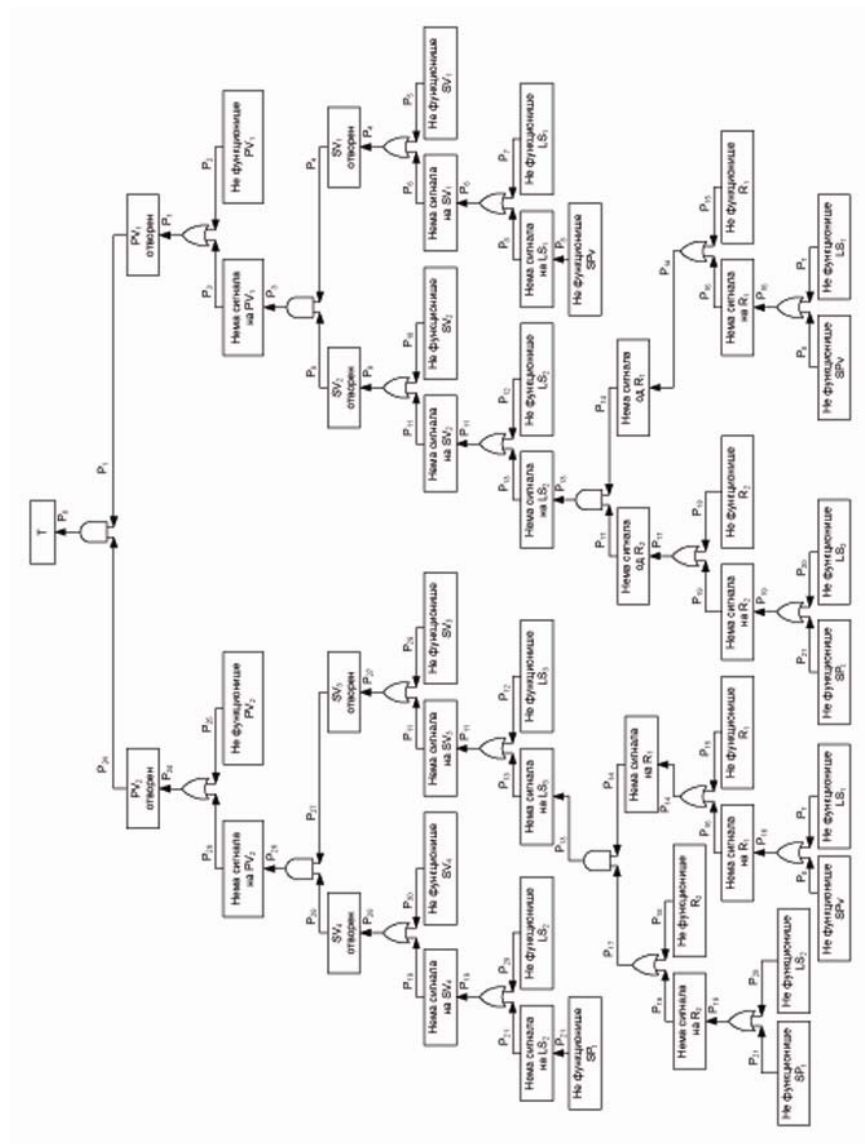
Четири вентила соленоида су урађена тако да SV_1 или SV_2 преко дијафрагми могу снабдети вентил PV_1 и дати затворену линију процеса. То исто важи и за SV_3 или SV_4 који снабдевају вентил PV_2 .

Успех аутоматског система заштите може бити остварен ако и један и други вентил, тј. ако се и PV_1 и PV_2 вентил потпуно затворе.



Слика 9.1. Пример модела аутоматског система заштите

На слици 9.2. приказано је стабло отказа за пример модела аутоматског система заштите.



Слика 9.2. Стабло отказа за модел аутоматског система заштите

Применом Булове алгебре добијамо квалитативну анализу стабла отказа применом минималних скупова пресека.

$$P_0 = P_1 \cdot P_{24}$$

$$P_1 = P_2 + P_3 = P_2 + P_4 \cdot P_9 = P_2 + (P_5 + P_6)(P_{10} + P_{11})$$

$$P_1 = P_2 + (P_5 + P_7 + P_8)(P_{10} + P_{12} + P_{13})$$

$$P_1 = P_2 + (P_5 + P_7 + P_8)(P_{10} + P_{12} + P_{14} \cdot P_{17})$$

$$P_1 = P_2 + (P_5 + P_7 + P_8)(P_{10} + P_{12} + (P_{15} + P_{16})(P_{18} + P_{19}))$$

$$P_1 = P_2 + (P_5 + P_7 + P_8)(P_{10} + P_{12} + (P_{15} + P_7 + P_8)(P_{18} + P_{20} + P_{21}))$$

$$P_1 = P_2 + (P_5 + P_7 + P_8)(P_{10} + P_{12} + P_{15}P_{18} + P_{15}P_{20} + P_{15}P_{21} + P_7P_{18} + P_7P_{20} + P_7P_{21} + P_8P_{18} + P_8P_{20} + P_8P_{21})$$

$$P_1 = P_2 + (P_5 + P_7 + P_8)(P_{10} + P_{12}) + (P_{18} + P_{20} + P_{21})(P_7 + P_8 + P_5P_{15})$$

$$P_{24} = P_{25} + P_{26} = P_{25} + P_{27}P_{28} = P_{25} + (P_{29} + P_{11})(P_{30} + P_{19})$$

$$P_{24} = P_{25} + (P_{29} + P_{12} + P_{13})(P_{30} + P_{20} + P_{21})$$

$$P_{24} = P_{25} + (P_{29} + P_{12} + P_{14}P_{17})(P_{30} + P_{20} + P_{21})$$

$$P_{24} = P_{25} + (P_{30} + P_{20} + P_{21})(P_{29} + P_{12} + (P_{15} + P_7 + P_8)(P_{18} + P_{20} + P_{21}))$$

$$P_{24} = P_{25} + (P_{30} + P_{20} + P_{21})(P_{29} + P_{12} + P_{15}P_{18} + P_{15}P_{20} + P_{15}P_{21} + P_7P_{18} + P_7P_{20} + P_7P_{21} + P_8P_{18} + P_8P_{20} + P_8P_{21})$$

$$P_{24} = P_{25} + (P_{30} + P_{20} + P_{21})(P_{29} + P_{12}) + (P_7 + P_8 + P_{15})(P_{20} + P_{21} + P_{18}P_{30})$$

На основу горе приказаних једначина следи да је $P_0 = P_1 \cdot P_{24}$ тј.

$$\begin{aligned} P_0 &= P_5P_{10}P_{29}(P_{20} + P_{21}) + P_{10}P_{29}P_{30}(P_5 + P_7 + P_8) \\ &+ P_5P_{12}(P_{20} + P_{21}) + P_{12}P_{30}(P_5 + P_7 + P_8) \\ &+ P_5P_{15}(P_{20} + P_{21} + P_{18}P_{30}) + P_{18}P_{30}(P_7 + P_8) \\ &+ P_7(P_{20} + P_{21}) + P_8(P_{20} + P_{21}) + P_{10}P_{25}(P_5 + P_7 + P_8) \\ &+ P_{12}P_{25}(P_{20} + P_{21} + P_{30}) + P_2P_{12}(P_{20} + P_{21} + P_{30}) \\ &+ P_2P_{15}(P_{20} + P_{21} + P_{18}P_{30}) + P_{25} \end{aligned}$$

Факторизацијом добијамо следеће редукционе изразе:

$$\begin{aligned}
P_0 = & P_2 P_{25} + \{(P_{20} + P_{21})[P_7 + P_8 + P_5(P_{12} + P_{10} P_{29})]\} \\
& + \{(P_5 + P_7 + P_8)[P_{12}(P_{25} + P_{30}) + P_{10}(P_{25} + P_{29} P_{30})]\} \\
& + \{(P_{20} + P_{21} + P_{18} P_{30})[P_{15}(P_2 + P_5)]\} \\
& + \{(P_{20} + P_{21} + P_{30})[P_2(P_{12} + P_{29})]\} \\
& + [P_{18} P_{30}(P_7 + P_8)] + [P_{18} P_{25}(P_7 + P_8 + P_5 P_{15})]
\end{aligned}$$

У табели 9.1. приказана је матрица минималних скупова пресека. Празни редови у табели садрже неминималне скупове пресека који су сувишни за процену.

Формирањем стабла отказа и одређивањем минималних скупова пресека извршена је квалитативна процена стабла отказа за анализирани модел аутоматског система заштите.

Одређивањем минималних скупова пресека остварен је услов за добијање квантитативних резултата.

Квантитативна анализа стабла отказа подразумева одређивање или процену средњег времена до појаве отказа и средњег времена трајања отказа, затим симулирање отказа одговарајућим статистичким поступком, са циљем одређивања вероватноће појаве вршног нежељеног догађаја, обухватајући при томе све могуће путеве у стаблу отказа.

Стабло отказа аутоматског система заштите може се квантификовати на један од три начина, и то: анализом минималних скупова пресека, анализом „капија по капија“, симулацијом *Monte Carlo*. Важан део квантитативне анализе стабла отказа представља и анализа заједничког или општег узрока (види: Стојиљковић, 2007).

Табела 9.1. Матрица минималних скупова пресека за систем $P_0 = P_1 \cdot P_{24}$

$P_0 = P_1 \cdot P_{24}$															
$P_1 = P_2 + (P_5 + P_7 + P_8)(P_{10} + P_{12}) + (P_{18} + P_{20} + P_{21})(P_7 + P_8 + P_{15})$															
P_{24}	P_2	$P_5 P_{10}$	$P_7 P_{10}$	$P_8 P_{10}$	$P_5 P_{12}$	$P_7 P_{12}$	$P_8 P_{12}$	$P_7 P_{18}$	$P_8 P_{18}$	$P_7 P_{20}$	$P_8 P_{20}$	$P_7 P_{21}$	$P_8 P_{21}$	$P_5 P_{15} P_{20}$	$P_5 P_{15} P_{21}$
P_{25}	$P_2 P_{25}$	$P_5 P_{10} P_{25}$	$P_7 P_{10} P_{25}$	$P_8 P_{10} P_{25}$	$P_5 P_{12} P_{25}$	$P_7 P_{12} P_{25}$	$P_8 P_{12} P_{25}$	$P_7 P_{18} P_{25}$	$P_8 P_{18} P_{25}$	$P_7 P_{20} P_{25}$	$P_8 P_{20} P_{25}$	$P_7 P_{21} P_{25}$	$P_8 P_{21} P_{25}$	$P_5 P_{15} P_{20} P_{25}$	$P_5 P_{15} P_{21} P_{25}$
$P_{12} P_{20}$	$P_2 P_{12} P_{20}$				$P_5 P_{12} P_{20}$	$P_7 P_{12} P_{20}$	$P_8 P_{12} P_{20}$								
$P_{12} P_{21}$	$P_2 P_{12} P_{21}$				$P_5 P_{12} P_{21}$	$P_7 P_{12} P_{21}$	$P_8 P_{12} P_{21}$								
$P_{12} P_{30}$	$P_2 P_{12} P_{30}$				$P_5 P_{12} P_{30}$	$P_7 P_{12} P_{30}$	$P_8 P_{12} P_{30}$								
$P_{20} P_{29}$	$P_2 P_{20} P_{29}$	$P_5 P_{10} P_{20} P_{29}$													
$P_{21} P_{29}$	$P_2 P_{21} P_{29}$	$P_5 P_{10} P_{21} P_{29}$													
$P_{29} P_{30}$	$P_2 P_{29} P_{30}$	$P_5 P_{10} P_{29} P_{30}$													
$P_7 P_{30}$			$P_7 P_{10} P_{29} P_{30}$	$P_8 P_{10} P_{29} P_{30}$											
$P_8 P_{30}$															
$P_{15} P_{30}$	$P_2 P_{15} P_{30}$													$P_5 P_{15} P_{30}$	
$P_7 P_{31}$															
$P_8 P_{31}$															
$P_{15} P_{31}$	$P_2 P_{15} P_{31}$														$P_5 P_{15} P_{31}$
$P_7 P_{38} P_{30}$															
$P_8 P_{38} P_{30}$															
$P_{15} P_{38} P_{30}$	$P_2 P_{15} P_{38} P_{30}$														
$P_{24} = P_{25} + (P_{20} + P_{21} + P_{30})(P_5 + P_{12} + P_{20}) + (P_7 + P_8 + P_{15})(P_{20} + P_{21} + P_{18} \cdot P_{30})$															

9.2 Практична примена анализе опасности и операбилности

Илустрација једне главне *HAZOP* студије континуалног процеса дата је следећим примером.

Опис процеса:

Фракција која садржи алкене, алкане и суспендовану воду континуално се пумпа из складишта међупроизвода кроз цевовод дужине више стотина метара у *Buffer* – таложни резервоар. Заостала вода издваја се пре него што фракција прође кроз измењивач топлоте (у коме долази до размене топлоте између производа и напојне сировине) и кроз предгрејач како би стигла у реакторску секцију. Вода која производи негативне ефекте на реакцију димеризације дренира се ручно из таложног резервоара у одређеним временским интервалима. Резидентно време (време боравка реактанта у реактору) у реакторској секцији мора бити стриктно у уским границама како би се обезбедила адекватна конверзија алкена а да се притом избегне прекомерно стварање полимера.

Студија за постројење са континуалним процесом рада мора да садржи анализу оперативности постројења за време пуштања (*commissioning*) и првог старта, за време регуларног стартовања након застоја и за време заустављања погона. Постоји велики број операција које треба извршити у току ових периода. Сумарни резултати анализе прве секције процеса, трансфер од резервоара међупроизвода до таложног *Buffer* резервоара, дати су у табели 9.2.

Табела 9.2. *HAZOP* студија: резултати за напојну секцију претпостављених погона димеризације, од складишта међупроизвода до *Buffer* таложног резервоара (Стамболић, 2005)

Реч-водиља	Девиијација	Могући узроци	Последице	Потребна акција
НЕМА	Нема протока	1. Складиште међупроизвода је празно 2. Пумпа <i>J1</i> у квару (отказ мотора, нема ел. енергије, кородирано радно коло итд.)	Губитак сировине у секцији реакције Као под 1.	а. Осигурати добру комуникацију са руковоцем складишта међупроизвода б. Уградити аларм <i>LAL</i> на <i>LIC</i> таложног резервоара в. Уградити <i>kick back</i> на пумпу <i>J1</i> г. Проверити конструкцију сита на <i>J1</i> Покривено са б.

Табела 9.2. (Наставак)

Реч- водиља	Девијација	Могући узроци	Последице	Потребна акција
НЕМА	Нема протока	3. Блокирана линија (грешком затворен блок в., <i>LCV</i> није затворио итд.) 4. Лом цевовода	Прегревање пумпе <i>J1</i> Као под 1. Изливање угљоводоника близу јавне саобраћајнице	д. Успоставити редовно надгледање трансфер линије
ВИШЕ ОД	Већи проток	5. <i>LCV</i> заглавио, отворен или <i>bajpas LCV</i> остао грешком отворен	Препуњавање таложног резервоара	ђ. Уградити <i>LAN</i> на <i>LCV</i> и проверити димензије преливне цеви е. Увести закључавање <i>bajpas LCV</i> када се не користи
			Некомплетно издвајање воде у таложном резервоару изазива проблеме у реактору	ж. Продужити усисну линију пумпе <i>J2</i> да буде 30cm изнад осовине резервоара
	Већи притисак	6. Блок вентил грешком затворен или <i>LCV</i> заглавио, затворен док пумпа <i>J1</i> ради	Трансфер линија изложена пуном притиску пумпе <i>surging</i> варијацијама притиска	з. Покривено са <i>v</i> , осим кад је <i>kick back</i> блокиран. Проверити линију, <i>FQ</i> и прирубнице, смањити брзину
		7. Термичка експанзија у затвореном делу цевовода за време пожара или дејства сунца	Лом цеви или цурења на прирубници	и. Уградити сигурносни вентил на цевовод за термичку експанзију
	Већа температура	8. Висока температура у складишту међупроизвода	Виши притисак у трансфер линији и таложном резервоару	ј. Проверити или уградити аларм <i>TAN</i> складишту међупроизвода

Табела 9.2. (Наставак)

Реч- водиља	Девијација	Могући узроци	Последице	Потребна акција
МАЊЕ ОД	Мањи проток	9. Цурење на прирубници или вентилу	Излив близу јавне саобраћајнице	Покривено са <i>д</i> и <i>з</i> .
	Мања температура	10. Зимски услови	Сливник за воду или дренажна линија смрзнути	к. Увести грејање сливника и дренажне линије
ДЕО ОД	Виши садржај воде у угљоводонику	11. Висок ниво воде у складишту међупроизвода	Пребрзо пуњење сливника за воду и дренажне линије. Већа могућност да вода доспе у реактор	л. Успоставити чешће дренирање воде из складишта међупроизвода уградњом <i>ЛАН</i> у сливник за воду
	Високи садржај нижих алкана у струји алкена	12. Поремећај у дестилационој колони узводно од складишта међупроизвода	Већи притисак у систему	љ. Проверити конструкцију таложног резервоара и цевовода као и димензије сигурносног вентила, за случај наглог уласка испарљивих угљоводоника
ВИШЕ НЕГО	Присуство органских киселина	13. Као под 12.	Повећан интензитет корозије дна таложног резервоара и дренажне линије	м. Проверити адекватност конструкционих материјала
ОСТАЛО	Одржавање	14. Квар опреме, цурење на прирубници итд.	Линија не може бити потпуно дренирана или озрачена	н. Уградити дренажни прикључак и прикључак за продување са <i>N2</i> низводно од <i>LCV</i> и продување таложног резервоара

9.3 Практична примена анализе начина, ефеката и критичности отказа

Илустрација *FMECA* методе биће приказана на примеру оцене ризика од пожара електромотора.

Сврха *FMECA* јесте да идентификује различите отказе и начине (модове) отказа који се могу јавити на елементу, подсистему или систему, као и разматрање последица тих отказа.

Поступак *FMECA* анализе електромотора, подразумева растављање електромотора на елементе (кућиште, статор, ротор, ... како је приказано у наредној табели) и попуњавање радног обрасца.

Поступак *FMECA* анализе електромотора (Табела 9.3) врши се тако што се за сваки елемент посматраног система наводи следеће:

1. назив елемента;
2. функција елемента;
3. начин отказа (наводе се сви начини на које елемент анализирани система може да откаже у вези са настанком пожарно опасног стања анализираниог склопа);
4. ефекат отказа – пожара (наводи се у које се пожарно опасно стање доводи склоп отказом елемента);
5. узрок отказа (за сваки од наведених начина отказа наводе се сви могући узроци који доводе до тих отказа);
6. оцена вероватноће (P) појаве пожара за анализирани елемент, одређује се по унапред усвојеној скали, нпр. 1–10, при чему се најнижа оцена даје за малу вероватноћу појаве отказа, а највиша за веома велику вероватноћу настанка отказа;
7. оцена озбиљности отказа (C), одређује се на основу свеобухватног ефекта отказа елемената, при чему се најнижа оцена даје за мале сметње, а највиша за појаву пожарно опасних параметара изнад критичних граница;
8. оцена откривања (детекције) отказа (D), одређује се на основу могућности откривања отказа, при чему се најнижа оцена даје за најлакшу могућност откривања, а највиша за најтежу могућност откривања отказа;
9. оцена ризика (R), за сваки елемент електромотора израчунава се опасност од настанка пожара и експлозија као прозвод P , C , D ;
10. сугестије, могуће корективне мере, односе се на предлог мера које треба предузети да би се пожарно опасни откази отклонили или да би се смањила могућност њиховог настајања.

Оцене у тачкама 6, 7 и 8 дају се на основу података о поузданости појединих елемената комбиновањем са мишљењем експерата у овој области. За оцену је примењивана скала од 1 до 10.

Оцене приоритетног ризика за сваки елемент електромотора добијене су на основу израза (4.1). Овако дата оцена пре свега указује на то који је од постојећих елемената на електромотору најопаснији у погледу стварања услова за настанак пожара, односно којим елементима треба посветити пажњу у давању приоритета за предузимање корективних мера.

Резултати *FMECA* анализе за електромотор приказани су у наредној табели. За наведени пример највећи *R* добијен је за статор електромотора, затим за кућиште (под условом да се примењује у угроженим просторима), потом за ротор електромотора, напојни вод итд.

Осим тога, овим поступком анализе могуће је дати збирну оцену опасности за склоп, па се на тај начин може сагледати релативна опасност склопа (електромотора), што омогућава процену његове опасности и поређење са другим склоповима. Релативна опасност склопа добија се сабирањем релативних оцена опасности његових елемената.

Табела 9.3. Пример FMECA за оцену пожарне опасности
електромотора (Вучковић, 1994)

Редни број	Назив елемента	Функција	Начин отказа	Ефекат отказа	Узрок отказа	P	C	D	R	Сутештије, могуће корективне мере
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Напојни вод	Довод енергије	Кратак спој Преоптерећење	Ел. варнице и лук Прегревање	Механички удари Оштећена изолација Преоптерећена мотора	7	8	4	224	Заштита од механичких оштећења изолације Заштита од преоптерећења
2.	Прекидач	Укључење/искључење	Блокада искључења	Прегревање	Истрошеност контаката Механичка блокада Клар	3	2	6	36	Преглед исправности Замена
3.	Кључиште електромотора	Заштита од спољашњих утицаја (заштита од експлозије)	Пропуштање заптивних елемената	Ел. варнице Ел. лук Експлозија	Дотрјаљост Неистрошеност ваљка Истрошеност	6	10	7	420	Притегнути ваљак Контрола заптивности Атестирање
4.	Статор електромотора	Стварање електромагнетног поља	Кратак спој Међузавојни спој Спој са масом	Ел. варнице и лук Прегревање	Пробoj изолације Услови примене Преоптерећење	10	10	9	900	Преглед Контрола исправности
5.	Ротор електромотора	Обртни момент	Кратак спој Међузавојни спој	Прегревање	Пробoj изолације Оштећење изолације	5	7	9	315	Преглед Контрола исправности
6.	Четкице ротора	Остваривање контаката	Истрошеност Оштећење	Ел. варнице	Одржавање Квалитет	7	6	3	126	Преглед Замена
7.	Опруге ротора	Притисак на четкице	Слабење Лом	Ел. варнице	Квалитет материјала Одржавање	4	2	3	24	Преглед Провера
8.	Лежајени	Основац	Истрошеност Напрецајућа	Ел. варнице Прегревање	Одржавање Замена Полмазивање	3	2	2	12	Одржавање Полмазивање Замена
9.	Заштитни уређаји од преоптерећења	Заштита од преоптерећења	Губитак функције	Прегревање	Неодговарајући избор Неисправност (репарирани елемент)	5	10	2	100	Полшавање Замена
10.	Заштитни уређаји од кратког споја	Заштита од кратког споја	Губитак функције	Ел. варнице и лук	Дотрјаљост Истрошеност Неистрошеност ваљка	6	10	2	120	Замена Закључавање

9.4 Практична примена анализе безбедности рада

Практична примена анализе безбедности рада биће приказана на примеру процене ризика на радном месту *водећи електромонтер за одржавање трафостаница 110 и 35 kV* у ПД ЕД „Југоисток“ д.о.о Ниш.

А. Припрема

У основи, а према важећој систематизацији радних места у ПД ЕД „Југоисток“ д.о.о Ниш (у даљем тексту: ПД ЕД), *водећи електромонтер за одржавање трафостаница 110 и 35 kV* обавља следеће радне задатке (***, 2008):

- руководи радом бригаде на пословима одржавања, ревизије и ремонта трафостаница (ТС) 35 и 110 kV;
- обавља све електромонтажне радове на ТС 35 и 110 kV;
- руководи и учествује у отклањању кварова на ТС и обрађује припадајућу документацију (пријава штете, изrada понуда и др.);
- ради на одржавању, ревизији и ремонту ТС 35 и 110 kV;
- врши санацију (поправку) опреме у ТС 35 и 110 kV и мерење одређених енергетских параметара;
- по потреби организује и руководи бригадом, и, у том случају, подноси захтев за искључење, прима дозволу за рад и обезбеђује градилиште;
- одржава акумулаторске батерије и уређаје за пуњење;
- у одсуству самосталног референта обавља послове и радне задатке из његовог описа и пописа послова;
- обавља и друге послове по налогу непосредног руководиоца.

Вodeћи електромонтер за одржавање трафостаница 110 и 35 kV изводи радне задатке у тиму, под надзором или самостално, у електро-енергетским објектима (ЕЕО) напонског нивоа 110/X и 35/10 kV на подручју огранка или у браварско-електромеханичарској радионици у пословном објекту огранка. Фонд радног времена је 8 h дневно и увек у првој смени. За извршавање радних задатака неопходна је претходна обука за безбедан рад, заштиту од пожара и пружање прве помоћи.

У ПД ЕД „Југоисток“ д.о.о Ниш постоје: упутства за безбедан рад на радном месту, упутства за употребу и одржавање опреме за рад, упутства за употребу и руковање опасним материјама, упутства за употребу средстава за личну заштиту на раду (за заштиту главе, очију и лица, за заштиту тела, руку и ногу), као и опреме за личну заштиту (нпр. електромонтерски заштитни опасач, електромонтерске пењалице за дрвене стубове, електромонтерске пењалице за бетонске стубове, електроизолационе рукавице до 40 kV...). Такође, у ПД ЕД постоје и стручни налази о

извршеним прегледима и испитивањима, и то: превентивни периодични прегледи опреме за рад, периодична испитивања средстава и опреме за личну заштиту, периодична испитивања услова радне околине, периодични здравствени прегледи и сл.

Б. Структурисање

Структурисање подразумева састављање листе радних задатака. Послови на овом радном месту садрже следеће задатке:

а) На терену:

- По налогу непосредног руководиоца организује бригаду за рад на терену, подноси захтев за искључење ЕЕО, прима дозволу за рад и врши обезбеђење радилишта.
- Руководи радом бригаде и ради на пословима одржавања ЕЕО и високонапонских постројења и опреме у ТС напонских нивоа 110/X и 35/10 kV на подручју огранка.
- Врши преглед високонапонских прекидача, растављача и заштитне опреме на енергетским трансформаторима (Бухолц релеји, термометри, нивокази, изолатори) и нивоа уља у трансформаторима 110/X и 35/10 kV у напонском стању.
- Врши контролу мерних инструмената на ћелијама и командно-сигналним орманима.
- Обавља неопходне манипулације у ТС (искључења и самоискључења) по налогу или у сарадњи са надлежним диспечерским центром.
- Врши замену уметака високонапонских осигурача у напонском и безнапонском стању.
- Врши укључења и искључења високонапонских прекидача и растављача.
- Врши демонтажу неисправних или оштећених малоуљних високонапонских прекидача и осталих расклопних уређаја у безнапонском стању и уградњу нових или репарираних.
- Замењује уље у малоуљним прекидачима напонских нивоа 110, 35 и 10 kV.
- Врши демонтажу и поправку подножја високонапонских осигурача.
- Врши демонтажу, мануелно преношење и уградњу линијских и сабирничких растављача у безнапонском стању.
- Пражњење и замена кондензатора за корекцију фактора снаге.
- Преглед, чишћење и одмашћивање изолатора на енергетским трансформаторима 110 и 35 kV.
- Замена напрслих или оштећених изолатора и заштитних уређаја на струјним и енергетским трансформаторима.

- Доливање или замена уља у струјним и енергетским трансформаторима 110/X и 35/10 kV и чишћење уљних јама.
- Уношење материјала и израда нових извода, сабирница и шинског развода у ЕЕО.
- Преглед, нега (мерење густине електролита, наливање дестиловане воде или електролита) и замена акумулаторских батерија.
- Преглед, одржавање и отклањање неисправности на погонским уземљивачима (мерење прелазног отпора, преглед стања трака уземљивача, раскопавање терена, побијање сонди).
- Поправка механичких оштећења на мерним и разводним ормарима (браварски радови).
- Заштитно и сигурносно бојење шина енергетског развода у ЕЕО одговарајућим бојама у складу са стандардима.
- Одржавање чистоће унутар ЕЕО (чишћење подова, изношење смећа, рашчишћавање круга око ЕЕО од растиња).

б) У радионици:

- Расклапање, репарација и замена оштећених делова подножја осигурача, високонапонских прекидача и растављача.
- Одсецање, бушење и обрада крајева брушењем бакарних шина за енергетски развод.
- Израда конструктивних елемената и носача делова опреме трафостаница од лима и челичних профила.
- Израда изолационих табли и подметача разводних ормара од пертинакса.

Водећи електромонтер повремено спроводи и следеће активности: одржавање и поправку инсталација једносмерне струје унутар ЕЕО и мрежних исправљача за пуњење акумулатора, одржавање и поправку калорифера, вентилатора и унутрашње расвете у ЕЕО. У време ремонта опреме врши: ревизију свих ТС напонског нивоа 110/X и 35/10 kV, у складу са планом ревизија, а према предвиђеној процедури ПД ЕД; отклањање свих недостатака на погонској и заштитној опреми у ТС; ремонт високонапонских малоуљних прекидача; замену трансформатора (демонтажа проводника са изолатора, извлачење трафоа из објекта, механизовани утовар трансформатора и касније уношење и прикључење истог на дистрибутивну мрежу) и сл. Водећи електромонтер ради у I, II и III зони опасности у ЕЕО 110/X и 35/10 kV у безнапонском стању или у близини напона, а у ванредним околностима учествује у отклањању последица хаварија услед пожара или елементарних непогода.

В. Идентификација опасности и штетности

Све потребне информације за ово радно место добијене су из:

- интервјуа,
- попуњавањем чек-листи,
- директним посматрањем и запажањем,
- писаних радних упутстава,
- стручних налаза о спроведеном испитивању опреме за рад, услова радне околине и др.,
- прегледом евиденције о ранијим повредама на радном месту и сл.

За идентификацију опасности и штетности, као и за процену ризика на радним местима у ПД ЕД коришћен је следећи радни образац (Табела 9.4).

Табела 9.4. Радни образац за идентификацију опасности и штетности

Шифра	Врста опасности или штетности	Радна активност	Опис опасности	Могуће последице	Претходне мере за смањење ризика	Процена ризика			
						Изложеност (E)	Вероватноћа настанка (V)	Степен тежине последица (P)	Ниво ризика (R)
Механичке опасности									
01	Опасност од ротирајућих, покретних и недовољно заштићених делова оруђа за рад								
02	Слободно (гравитационо) кретање делова или материјала								
03	Унутрашњи транспорт и кретање радних машина или возила и померање опреме за рад								
04	Коришћење опасних средстава за рад која могу произвести пожар или експлозију								
05	Немогућност уклањања са места рада, изложеност затварању, механичком удару, поклапању и сл.								
06	Други фактори који се могу јавити као механички извори опасности								
Опасности у вези са карактеристикама радног места									
07	Опасне површине (подови и газшта, површине које имају оштре ивице, рубове, шилке, грубе површине, избочине и сл.)								
08	Рад на висини или у дубини, у смислу прописа о безбедности и здрављу на раду								
09	Рад у скученом, ограниченом или опасном простору (између фиксираних делова између покретних делова или возила, рад у затвореном, слабо осветљеном или слабо проветраваном простору и сл.)								
10	Могућност клизања или спотицања (мокре или клизаве површине)								
11	Физичка нестабилност радног места								
12	Последице или сметње услед обавезне употребе средстава или опреме личне заштите								
13	Утицаји услед обављања процеса рада коришћењем неодговарајућих или неприлагођених метода рада								
14	Друге опасности које се могу јавити у вези са карактеристикама радног места								

Табела 9.4. (Наставак)

Шифра	Врста опасности или штетности	Радна активност	Опис опасности	Могуће последице	Препходне мере за смањење ризика	Процена ризика			
						Изложаност (E)	Вероватноћа настанка (V)	Степен тежине последица (P)	Ниво ризика (R)
Опасности од електричне енергије									
15	Опасност од директног додира са деловима електричне инсталације или опреме под напонам								
16	Опасност од индиректног додира								
17	Опасност од топлотног дејства које развијају електрична опрема и инсталације (претревање, пожар, експлозија, електрични лук или варничење и др.)								
18	Опасност услед удара грома или електричног пражњења								
19	Опасност услед штетног утицаја статичког наелектрисања								
20	Друге опасности које се могу јавити у вези са коришћењем електричне енергије								
Штетности									
21	Хемијске штетности, прашина, димови и испарења								
22	Физичке штетности (бука и вибрације)								
23	Биолошке штетности (инфекције, излагање микроорганизмима и алергенима)								
24	Штетни утицаји микроклиме								
25	Неодговарајућа – недовољна осветљеност								
26	Утицаји штетних зрачења (топлотног, јонизујућег, нејонизујућег, ласерског, ултразвучног и сл.)								
27	Штетни климатски утицаји (рад на отвореном)								
28	Штетности које настају коришћењем опасних материја у производњи, транспорту, паковању, складиштењу или уништавању								
29	Друге штетности које се појављују у радном процесу, а које могу да буду узрок повреде на раду запосленог, проф. обољења, или обољења у вези са радом								

Табела 9.4. (Наставак)

Шифра	Врста опасности или штетности	Радна активност	Опис опасности	Могуће последице	Претходне мере за смањење ризика	Процена ризика			
						Изложеност (E)	Вероватноћа настанка (V)	Степен тежине последица (P)	Ниво ризика (R)
Физички и психофизиолошки напори									
30	Напори или телесна напрезања (ручно подизање или преносење терета, гурање или вучење терета, разне дуготрајне повећане телесне активности и сл.)								
31	Нефизиолошки положај тела при раду (дуго стајање, седење, чучање, клечање и сл.)								
32	Обављање послова који узрокују психофизиолошка оптерећења (стрес, монотонија и сл.)								
33	Одговорност у примању и преносењу информација, коришћење одговарајућих знања и способности, одговорност за брзе промене радних процедура, интензитет рада, просторна условљеност радног места, конфликтне ситуације, рад са странкама и новцем, недовољна мотивација за рад, одговорност руковођења и сл.								
34	Штетности везане за организацију рада, као што су: рад дужи од пуног радног времена (прековремени рад), рад у сменама, скраћено радно време, рад ноћу, приправност за случај интервенција и сл.								
Остале штетности									
35	Штетности које проузрокују друга лица (насиље према лицима која раде на шалтерима, лица у обезбеђењу и сл.)								
36	Рад са животињама								
37	Рад у атмосфери са високим или ниским притиском								
38	Рад у води или испод површине воде								
39	Друге опасности, односно штетности које се могу јавити на радном месту								

Г. Процена ризика

Процена ризика на радном месту *водећи електромонтер за одржавање трафостаница 110 и 35 kV* извршена је од стране 16 експерата, у складу са националном и међународном законском регулативом. За процену ризика у конкретном случају коришћена је квантитативна 3D метода заснована на моделу матрице ризика петог ранга. Ова метода почива на хипотези да је вероватноћа настанка последица пропорционална фреквенцији излагања запослених посматраној опасности у току радног времена. Ова метода нарочито је погодна код процене ризика радних места на којима је присутан велики број опасности, јер омогућава прецизно квантитативно исказивање сваког појединачног ризика, као и укупног нивоа ризика посматраног радног места. Укупан ниво ризика представљен је следећим изразом:

$$R = E \cdot V \cdot P \quad (9.1)$$

где је: R – ниво ризика, E – време изложености одређеној опасности, штетности или оптерећењу у односу на пуно радно време, V – вероватноћа настанка последице; P – ниво тежине последица.

Експерти су се определили за матрицу петог ранга имајући у виду чињеницу да виши ранг обезбеђује виши степен категоризације и већу прецизност исказивања нивоа ризика (Слика 9.3).

Класа последица	Тежина последица	Класа кориговане вероватноће				
		1	2	3	4	5
		Минимална (0.00–0.20)	Мала (0.21–0.40)	Средња (0.41–0.60)	Велика (0.61–0.80)	Врло велика (0.81–1.00)
5	Врло озбиљне (8.00–16.00)	(1;1)	(1;2)	(1;3)	(1;4)	(1;5)
4	Озбиљне (4.00–7.99)	(2;1)	(2;2)	(2;3)	(2;4)	(2;5)
3	Средње (2.00–3.99)	(3;1)	(3;2)	(3;3)	(3;4)	(3;5)
2	Мале (1.00–1.99)	(4;1)	(4;2)	(4;3)	(4;4)	(4;5)
1	Безначајне (0.00–0.99)	(5;1)	(5;2)	(5;3)	(5;4)	(5;5)

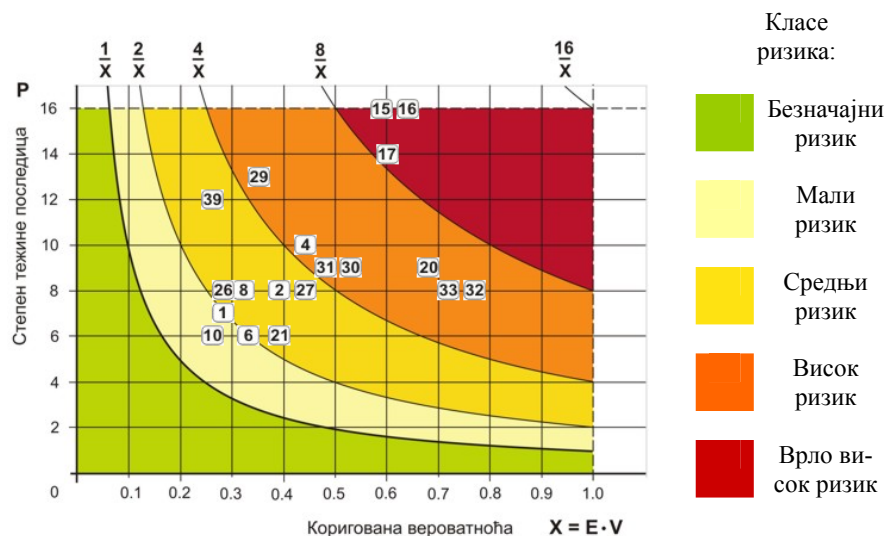
Слика 9.3. Матрица за процену ризика (***, 2008)

Ниво ризика срачунат је према следећим критеријумима (Табела 9.5):

Табела 9.5. Критеријуми за одређивање нивоа ризика

Ниво ризика (R)	
Врло висок	8.01 – 16.00
Висок	4.01 – 8.00
Средњи	2.01 – 4.00
Мали	1.01 – 2.00
Безначајан	< 1.00
Време експозиције (E)	
Стално или више пута у току радног времена	0.81 – 1.00
Једном у току радног времена	0.61 – 0.80
Једном или неколико пута недељно	0.41 – 0.60
Једном или неколико пута месечно	0.21 – 0.40
Једном или неколико пута годишње	0.01 – 0.20
Вероватноћа (V)	
Врло велика	0.81 – 1.00
Велика	0.61 – 0.80
Средња	0.41 – 0.60
Мала	0.21 – 0.40
Минимална	0.01 – 0.20
Тежина последица (P)	
Врло озбиљне	8 – 16
Озбиљне	4 – 8
Средње	2 – 4
Мале	1 – 2
Безначајне	0 – 1

Сви ризици на радном месту исказани су нумерички (Табела 9.6), као и графички у дијаграму ризика (Слика 9.4), подржаним одговарајућим софтверским програмом.



Слика 9.4. Дијаграм ризика радног места (***, 2008)

У табели 9.6. применом софтверског пакета приказан је ранг ризика за све опасности и штетности које су идентификоване за анализирано радно место.

Табела 9.6. Ранг ризика (***, 2008)

Procena rizika							
	Sifra	P	Klasa	X	Klasa	R	NIVO
►	01	7.00	4	0.28	2	1.96	2
	02	8.00	5	0.39	2	3.12	3
	04	10.00	5	0.44	3	4.40	4
	06	6.00	4	0.33	2	1.95	2
	08	8.00	5	0.32	2	2.56	3
	10	6.00	4	0.26	2	1.56	2
	15	16.00	5	0.59	3	9.47	5
	16	16.00	5	0.64	4	10.24	5
	17	14.00	5	0.60	3	8.40	5
	20	9.00	5	0.68	4	6.12	4
	21	6.00	4	0.39	2	2.34	3
	26	8.00	5	0.28	2	2.24	3
	27	8.00	5	0.44	3	3.48	3
	29	13.00	5	0.35	2	4.55	4
	30	9.00	5	0.53	3	4.75	4
	31	9.00	5	0.48	3	4.32	4
	32	8.00	5	0.77	4	6.12	4
	33	8.00	5	0.72	4	5.76	4
	39	12.00	5	0.26	2	3.12	3

У односу на присутне опасности и штетности на радном месту, радно место *водећи електромонтер за одржавање ТС 110 и 35 kV* категорисано је као радно место високог ризика, са глобалним фактором ризика 5.01.

Д. Предлог мера заштите

За повећање безбедности система препоручене су мере заштите, подељене у следеће области:

- *Организационе мере* (нпр. на овом радном месту могу се распоређивати оператери само ако су на истом обезбеђени услови за безбедан рад, у складу са важећим прописима, као и опште и посебне мере за смањење ризика на радном месту предложене општим актима, упутствима и процедурама ПД и његових организационих делова; уобичајени став у опису послова и радних задатака „и остали послови по налогу непосредног руководиоца“ у принципу избежавати...).
- *Опште мере за смањење ризика на радном месту* (нпр. обавезно одржавање енергетске опреме и инсталација у исправном стању и обављање прегледа и испитивања истих у роковима прописаним од стране испоручиоца опреме, а најкасније у року од 3 године од последњег обављеног прегледа...).
- *Опште здравствене мере за смањење ризика на радном месту* (нпр. обавезно упућивање запосленог на претходни и периодични лекарски преглед...).
- *Посебни здравствени услови за рад на радном месту* (нпр. захтеви за одређеном старосном границом и полом – у складу са законским и подзаконским прописима и општим актима ПД; здравствени услови и захтеви за одређеном функцијом органа и система...).
- *Посебне здравствене мере* (нпр. запослени на овом радном месту мора се упутити на периодични преглед, који поред општег обухвата и специфични преглед на 12 месеци, и то: интернистички – кардиолошки, преглед психолога (неуропсихијатра), офталмолошки, ОРЛ преглед, преглед респираторног система, преглед ортопеда, неуролога и физијатра...).
- *Посебне мере за смањење ризика на радном месту.*

У овом случају приказаћемо детаљно посебне мере за смањење ризика на радном месту (***, 2008).

- У свим ТС или разводним постројењима поставити на видном месту једнополну шему инсталација у објекту са ознакама свих извода, ознакама траса напајања, напонског нивоа и уцртаним зонама опасности, израђену на формату А2 и заштићену плексигласом, као и ознаком примењеног система заштите од напона додира ЕЕО.

- Извршити обележавање зона опасности у електроенергетским постројењима одговарајућим бојама.
- Извршити обележавање свих секундарних извода у ЕЕО натписним плочицама са алфанумеричким и текстуалним ознакама које су идентичне ознакама на једнополној шеми.
- Извршити обележавање свих металних оклопљених ћелија одговарајућим натписним плочицама и слепом шемом ћелије.
- Извршити бојење свих водова шинског развода на трансформаторима и у ћелијама ЕЕ постројења одговарајућим бојама, у складу са важећим стандардима.
- Радови екипе електромонтера на ревизији, ремонту и доградњи ЕЕ постројења морају се изводити искључиво у безнапонском стању.
- При обављању електромонтерских радова у ЕЕО свих напонских нивоа, обавезна је употреба атеститане изолационе обуће.
- Обезбедити строго поштовање мере 11 (Наредба директора ПД ЕД бр. 35931/1 од 03.10.2007. године о забрани рада под напоном).
- Обезбедити да се стављање постројења напонског нивоа 110/X и 35/10kV у безнапонско стање ради обављања радова у ЕЕО обавља искључиво електричним путем преко СДУ из надлежног диспечерског центра.
- Манипулације „на лицу места“ од стране електромонтера могуће су само ради стављања у безнапонско стање ћелија секундарних високонапонских извода, на којима се врши ревизија, ремонт или замена оштећене или неисправне електроенергетске опреме.
- Манипулације у високонапонским ћелијама постројења може обављати само запослени који има одговарајућу квалификацију стечену школовањем, који је теоријски и практично оспособљен за безбедан рад са расклопним уређајима, који испуњава неопходне здравствене и психофизиолошке услове за ову врсту послова и коме је издат радни налог у писаном облику, као и дозвола за рад надлежног дежурног диспечера.
- При интервенцијама на промени уклопног стања у постројењима обавезно обезбедити присуство најмање 2 оператера.
- Пре обављања манипулација обавезно проверити да ли се ћелија напаја преко једноструке или преко више главних сабирница, као и да ли треба обезбедити одвод преко помоћне сабирнице.
- При обављању манипулација са расклопним уређајима у постројењима строго поштовати *пет златних правила*:
 - I. Искључење – уз видљив прекид увек када је то технички могуће;
 - II. Спречавање поновног укључења;

III. Утврђивање безнапонског стања;

IV. Уземљење и кратко спајање;

V. Заштитно ограђивање од делова под напоном, обележавање и ограђивање места рада.

- При обављању манипулација („на лицу места“) обезбедити строго поштовање безбедних растојања за рад у зонама опасности ЕЕО прописаних Правилником о општим мерама заштите на раду од опасног дејства електричне струје у објектима намењеним за рад, радним просторијама и на радилиштима (Сл. гласник РС бр. 21/89 и ЕН 50110–1/2004), водећи рачуна да се у условима повећане релативне влажности у ЕЕО ова растојања сразмерно повећавају.
- При обављању манипулација на високонапонским ћелијама обавезна је примена средстава и опреме за личну заштиту на раду, прописаних Правилником о безбедности и здрављу на раду ПД ЕД бр. 5848/2 од 26.02.2007. године;
- Пре сваке интервенције на ЕЕО обавезно проверити исправност средстава и опреме за личну заштиту на раду.
- Пре почетка рада на ревизији, поправци или замени делова у високонапонским ћелијама обавезно проверити да ли је успостављено безнапонско стање и извршити двострано уземљење и кратко спајање извода помоћу земљоспојника или преносних направа за уземљење.
- Испитивање напонског стања опреме, уређаја и водова у ЕЕО вршити искључиво испитивачима напона који су намењени за одговарајући напонски ниво. Испитивање напонског стања испитивачима предвиђеним за виши или нижи напонски ниво није дозвољено!
- Најстроже забранити употребу импровизованих направа за испитивање напонског стања на нисконапонској опреми или водовима (две редно везане сијалице, пробне лампице и сл.).
- За обављање електромонтерских радова у високонапонским ћелијама поред електромонтерског изолованог алата обезбедити и одговарајући механичарски алат.
- Радна одећа за рад електромонтера мора бити израђена од природног материјала, односно од материјала који нема афинитет према индукцији статичког електрицитета у условима јаких електричних поља.
- Најстроже забранити улазак у III зону опасности електроенергетског постројења лицима која немају дозволу за рад. Лицима која су наведена у дозволи за рад, лицима која врше обезбеђење места рада, као и лицима која су овлашћена за контролу и надзор над постројењем и надзор над извођењем радова на постројењу, приступ у III

зону опасности дозвољен је само у безнапонском стању у складу са тачком 11 (Наредба директора ПД ЕД бр. 35931/1 од 03.10.2007. године о забрани рада под напонам).

- Послове чишћења изолатора на трафоима вршити искључиво у безнапонском стању и уз примену опреме предвиђене Правилником о безбедности и здрављу на раду ПД ЕД бр. 5848/2 од 26.02.2007. године.
- Замену и ремонт трансформатора смештених у објектима затвореног типа обављати искључиво у условима безнапонског стања читавог ЕЕО, без обзира на број трансформаторских јединица које се мењају, односно ремонтују.
- При доливању трансформаторског уља у трансформаторе или малоуљне прекидаче обавезна је употреба заштитних уљеотпорних рукавица.
- У просторији акумулаторских батерија обезбедити вентилационе отворе на спољној страни објекта у нивоу које пода и у нивоу таванице са фиксним жалузинама.
- При обављању активности у акумулаторској станици користити искључиво алат који не варничи. Уношење отвореног пламена у просторију у којој су смештене акумулаторске батерије најстроже је забрањено.
- При контроли густине и доливању електролита и дестиловане воде у акумулаторске батерије обавезна је употреба заштитних наочара, заштитне кецеље и гумених рукавица.
- При употреби електричне ручне брусилце забранити употребу флексибилне плоче за чеono брушење предмета обраде.
- За обављање електрозаваривачких радова обезбедити прописана средства личне заштите: заштитна кожна кецеља, штитници за колена, заштитне кожане камашне, заштитна маска за заваривање.
- При употреби теренског и специјалног возила за одлазак на терен строго поштовати правила безбедности у саобраћају и одредбе Правилника о организацији, функционисању и унутрашњој контроли безбедности саобраћаја, ПД ЕД бр. 18854/2 од 29.05.2006. године.

Ђ. Закључак

Састављањем резимеа анализа се закључује. Радни образац (Табела 9.4) може послужити у документовању спроведене анализе безбедности рада.

9.5 Практична примена комплексне методе за процену нивоа укупне опасности од акцидента

Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента биће приказана на примеру производног предузећа „Messer Tehnogas“ а.д. Фабрика Ниш. Комплексна метода заснива се на прорачуну:

- опасности изазваних технолошким процесом,
- опасности изазваних деловањем људског фактора,
- опасности изазваних деловањем окружења и
- укупног нивоа опасности од акцидента.

„Messer Tehnogas“ а.д. Фабрика Ниш у свом саставу има производне погоне кисеоника, азота и сировог аргона, дистрибутивне центре кисеоника и угљен-диоксида и складишне објекте ових техничких гасова (Митић и др., 2005).

Прорачун опасности изазваних технолошким процесом заснива се на чињеници да овај процес представља специфичну технологију комбиновану са ускладиштењем и пунионицама челичних боца за широку потрошњу, да кисеоник ускладиштен у количинама од преко 200 t припада категорији опасних материја и да технологија садржи низ процесних апарата који припадају групи судова под притиском. Због тога се процењује да акциденти могу настати као механичке експлозије апарата и интерних инсталација, као експлозије са пратећим пожарима услед контаката са органским материјама и изливањем техничких гасова.

У оквиру прорачуна опасности изазване технолошким процесом потребно је квантитативно одредити вредности могућих *последица потенцијалних акцидента (PU)*.

Потенцијални узроци акцидента на локацији погона „Messer Tehnogas“ а.д. Фабрика Ниш јесу: фактор човек, механички кварови, поремећаји у транспорту производа, елементарне непогоде, евентуалне ратне ситуације и диверзије, пожари и експлозије.

Критична места на којима је процењена повећана вероватноћа настанка могућих акцидента јесу: пожар на транспортном возилу код резервоара, тотално оштећење неког од резервоара услед диверзија, истицање кисеоника на резервоару кроз вентил који је услед немарности остао незатворен, пуцање еластичних црева у пунионици, механичко оштећење измењивача топлоте у технолошком процесу производње течних гасова, отказ мернорегулационе технике на неком од резервоара, квар на пумпном агрегату и друго.

Уколико би дошло до акцидента, последице по здравље и живот запослених, при најнеповољнијим ситуацијама, могле би се окарактерисати

као озбиљне, а штета на природним и материјалним добрима зависила би од врсте и обима удеса и при најнеповољнијем развоју догађаја (као што су хаварије на резервоару кисеоника у летњем периоду) достигла би значајан до озбиљан ниво.

На основу ове анализе експертна процена вредности могућих последица потенцијалних акцидената износи 3 ($PU = 3$).

Квантитативно одређивање изложености ризику могуће је реализовати на основу закључка да се у случају цурења неког од техничких гасова (које је процењено као могуће) може очекивати мања материјална штета и евентуалне повреде учесника у догађају (оцена изложености ризику 1), да код пожара на транспортном возилу удес представља велику опасност по живот присутних и изазива знатне материјалне штете (оцена изложености ризику 2), и да, поред мале вероватноће догађаја код акцидентата складиштених резервоара, њихове последице биле би катастрофалне (оцена изложености ризику 3).

На основу спроведене детаљне анализе, експертна процена изложености ризику од удеса износи 2 ($IR = 2$).

На основу анализе опасности од удеса који изазива технолошки процес адекватне су и мере и поступци превенције који се предузимају на месту акцидента да би се спречила или умањила вероватноћа настанка акцидента и могуће последице. Овде ће бити наведене само основне мере и поступци превенције (Митић и др, 2005):

- складишне резервоаре течних гасова, у циљу заштите објеката и животне средине, потребно је поставити у бетонске танкване адекватне запремине, отпорне на деловање течних гасова са горњом ивицом најмање 1 m изнад саобраћајнице;
- изградити систем за сакупљање и одвод атмосферских вода нарочито око појаса за претакање и обезбедити адекватни третман отпадних вода;
- обучити запослене за безбедан рад;
- применити адекватна техничка средства за опрему детекције и заштите;
- обезбедити контролу и надзор мониторинга и система безбедности;
- обезбедити анализу поузданости система безбедности и
- информисати јавност о свим питањима значајним за безбедност становништва.

На основу ове анализе, експертна процена могућности превенције износи 2 ($PR = 2$).

Заједничким учешћем надлежних субјеката и применом опреме и техника формирају се мере приправности у циљу најадекватнијег одговора

на потенцијални удес. Ове мере обезбеђују се доношењем адекватних планова и система безбедности, на основу израде адекватних процена вероватноће опасности од удеса. Елементи за израду плана заштите обезбеђују се израдом анализе опасности од удеса. План заштите од пожара у „Messer Tehnogas“ а.д. Фабрика Ниш усаглашен је са општинским планом и посебно су разрађени: организација свих учесника у акцији гашења пожара, опремљеност (средства и опрема) и систем за активирање, јављање и гашење пожара.

На основу анализе примењених и непримењених планова и система безбедности експертна процена мера приправности износи 1.5 ($MP = 1.5$).

Применом претходно поменутих параметара израчунава се опасност изазвана технолошким процесом као:

$$TP = PU \cdot IR \cdot PR \cdot MP$$

$$TP = 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1.5$$

$$TP = 18$$

Прорачун опасности због деловања људског фактора односи се на степен оспособљености људи да делују у случајевима удеса (OLJ), да примене адекватни одговор на удес (OU) и оцену нивоа санације (NS).

Методе оспособљавања људи да делују у случајевима удеса код нас се још увек не примењују, већ се и даље користе методе упознавања људи са класичним упутствима за рад и њиховим радним обавезама. Међутим, удесне ситуације у индустрији дешавају се изненада, неочекивано, па извршиоци морају да реагују изненада и под стресом, тако да и последице погрешне одлуке могу бити брзе и катастрофалне. Зато је утицај стреса на функционисање запослених данас већи него било када у историји. У овом примеру нема примене савремених стратегија за оспособљавање људи за деловање под стресом у случајевима удеса. Узевши у обзир да у овом случају постоји елементарно оспособљавање људи да делују у ванредним ситуацијама, оцена оспособљености људи износи 1.5 ($OLJ = 1.5$).

Адекватни одговор на удес започиње оног тренутка када се добије права информација о удесу. Међутим, акцидентима често претходе одређена упозорења, као што су појава облака паре, неубичајне вибрације, звуци, цурења, магла, одступања процесних параметара (температура, притисак) и друго. Брзо препознавање ових сигнала и правилне корективне активности у многим случајевима могу спречити даљи развој опасних ситуација.

У циљу адекватног одговора на удес у светској литератури присутан је велики број разрађених сценарија удеса. Последњих неколико година овакве истраживачке активности реализују се и у нашој земљи.

У предузећу „Messer Tehnogas“ а.д. Фабрика Ниш постоји адекватна схема одговора на удес, која приказује обавештења најодговорнијих оператора, руководиоца и других структура које учествују у акцијама одговора на удес, те је процењено да је адекватност одговора на удес задовољавајућа ($OU = 1.5$).

Процена нивоа санације потенцијалног удеса у великој мери је хипотетична, јер мере за отклањање последица подразумевају праћење постудесне ситуације, обнављање и санацију животне средине, враћање у првобитно стање, као и уклањање опасности од поновног настанка удеса.

Потребно је напоменути да је у овом примеру само дат претпостављен садржај плана санације, и то: циљеви и обим санације, снаге и средства ангажовања на санацији, редослед њиховог коришћења и рокови, програм постудесног мониторинга животне средине, стање здравља људи и животиња, трошкови санације и начин обавештавања јавности о протеклом удесу, као и извештај о удесу, који укључује анализу узрока и последица удеса, развој, ток и одговор на удес, процену величине удеса и анализу тренутног стања. Међутим, у овом примеру није приказан начин санације последица удеса у конкретним сценаријима могућих удеса, те се процењује да је оцена нивоа санације 1 ($NS = 1$).

На основу претходне анализе свих параметара израчунава се опасност због деловања људског фактора као:

$$LJF = OLJ + OU + NS$$

$$LJF = 1.5 + 1.5 + 1$$

$$LJF = 4$$

Прорачун опасности изазваних деловањем окружењем заснива се на анализи уређености окружења (UO), компатибилности људи и техничко-технолошког система ($KLJS$) и осталих негативних утицаја (NU).

Анализа уређености окружења почиње представљањем диспозиције објеката у техничко-технолошком кругу. Испред манипулативних, процесних улаза у производни објекат налазе се станице угљен-диоксида, гасификациона станица кисеоника, а испред надкривеног складишта техничких гасова складишни резервоари (аргона, течног кисеоника, течног азота). Сви складишни резервоари пројектовани су и изграђени од материјала нормалних и предвиђених за ову врсту постројења и за рад на ниским температурама. У фази пројектовања за све резервоаре урађени су статички прорачуни, који, између осталог, узимају у обзир ударе ветра на објекте, као и евентуалну сеизмику. Сви термички апарати пројектовани и предвиђени за рад под притиском подвргнути су фабричкој хладној воденој проби, као и воденој проби након монтаже, а врши се и редовна периодична контрола судова под притиском.

Утицај материјала из производног процеса на конструктивне елементе у окружењу код њиховог евентуалног истицања или удеса сведен је на минималну меру. На основу анализе података о локацији и реакције материјала у процесу манипулације са материјалима конструкција, експертна процена уређености окружења износи 1.5 ($UO = 1.5$).

Процена компатибилности људи и система не може се разматрати одвојено од комплексности система, која се огледа у структури и могућим интеракцијама између човека и елемената система (Гроздановић, 2003а).

Улога човека у могућим узроцима акцидентата огледа се у независним манипулацијама руковаоца пунионицама и приликом претакања из складишних резервоара у цистерне, непридржавању прописаних процедура и упутстава за рад, нехату и немарном односу према раду, незнању и коришћењу неадекватних и некавалитетних материјала у току ремонта. При технолошким неисправностима са цурењем гасова човек може да буде узрок акцидента, јер је обучен у радно одело од памука или синтетике, те је његова одећа гориви материјал, а услед дејства хидростатичког притиска, јер неправилно рукује код пуњења и пражњења резервоара, врши неадекватно прикључење на ауто-цистерне, несавесно врши блокирање возила ауто-цистерне код претакања, стартује моторно возило пре прописаних 30 минута након утакања и др.

Коришћењем графа система за потенцијалне удесе оцењено је да је ниво компатибилности људи и система 1.5 ($KLJS = 1.5$).

Прорачун опасности због других негативних утицаја заснива се на процени вероватноће да ће се догодити елементарне непогоде у виду олујних ветрова, грмљавина, удара летећих објеката, средстава ваздушног саобраћаја, метеора и сл., али и евентуалне ратне ситуације и диверзије.

Процењено је да је узрок опасности од других утицаја скоро незнатан, тј. 0.5 ($DU = 0.5$).

На основу претходних параметара, прорачун опасности изазваних деловањем окружења је следећи:

$$O = UO + KLJS + DU$$

$$O = 1.5 + 1.5 + 0.5$$

$$O = 3.5$$

У табели 9.7. представљени су сумирани резултати процене нивоа укупне опасности од акцидентата у производном предузећу „Messer Tehnogas“ а.д. Фабрика Ниш (Стојиљковић, 2007; Stojiljkovic, Grozdanovic, & Glisovic, 2011).

Табела 9.7. Резултати процене нивоа укупне опасности од акцидентата

<i>PU</i>	<i>IR</i>	<i>PR</i>	<i>MP</i>	<i>TP</i>	<i>UO</i>	<i>KLJS</i>	<i>DU</i>	<i>O</i>	<i>OLJ</i>	<i>OU</i>	<i>NS</i>	<i>LJF</i>	Опасност од удеса (<i>U</i>)
3	2	2	1.5	18	1.5	1.5	0.5	3.5	1.5	1.5	1	4	60.6

Резултати процене укупне опасности од акцидентата ($U=60.6$) одређују такав ниво опасности који је сврстава у домен опасности ограничене на један део или цео анализирани индустријски комплекс, без могућности преношења на окружење.

9.6 Практична примена система управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине

Илустрација система управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине (*SHE–MS*) биће приказана на примеру који је урађен у компанији Шел (*Shell*).

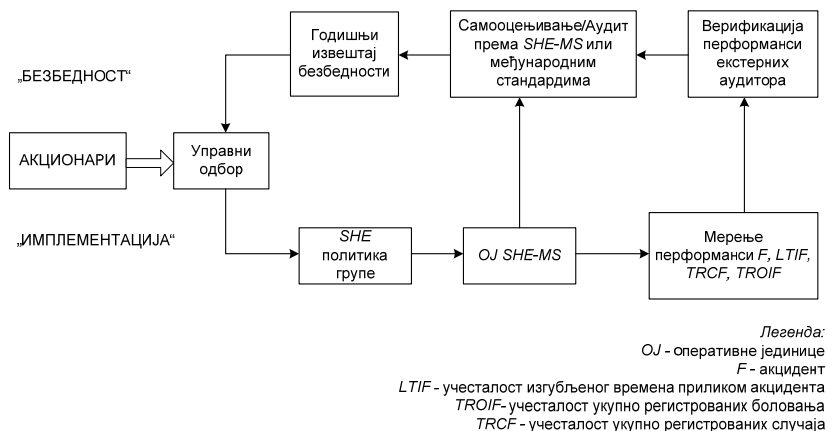
Током осамдесетих година прошлог века група *Shell* развила је одвојене системе управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине. Због тога што ови системи имају много тога заједничког, а посебно су мање оперативне јединице тражиле да се они интегришу да би се повећала њихова складност, транспарентност, ефикасност и економичност, 1994. године објављен је интегрисани *SHE–MS*. Интеграција у пословање постигнута је кроз повезаност са моделима пословних активности.

Основни принцип организационе структуре *Royal Dutch/Shell* групе јесте сегментација активности кроз пет пословних организација:

- истраживање и производња,
- нафтни производи,
- хемикалије,
- гас и угаљ и
- обновљиви ресурси.

Оперативне јединице (*OJ*) у компанији *Shell* припадају свим организацијама и имају овлашћења да воде њихове послове. Извршни директори свих пет пословних јединица чланови су управног одбора и имају одговорност према деоничарима компаније. Управни одбор подржан је од корпоративног центра коме припада *SHE* саветник. Он саветује управни одбор у вези са *SHE* политиком и управом и обезбеђује тумачења управном одбору *SHE* перформанси пословних организација и њихових оперативних јединица. Већина пословних организација има групу *SHE* саветника који помажу *SHE* саветнике оперативних јединица на њихов захтев. Умрежавање *OJ* и

комисије на различитим нивоима осигуравају делатност у приступу *SHE* питањима. На слици 9.5. дата је *SHE* управљачка структура *Shell* групе.



Слика 9.5. *SHE* управљачка структура *Shell* групе (Poels, 1999)

Ревизија *Shell* изјаве о принципима пословања и *SHE* обавезама и политиком објављена је 1997. године. То се одразило на интерну потребу за унапређењем пословања у делу промене социјалних очекивања, као и на осећају потребе за побољшањем *SHE* перформанси и угледа компаније. Важни елементи *SHE* обавеза и политике су: да следи циљ безбедности за људе и заштиту животне средине, извештаји о перформансама и постављање циљева. Систематски приступ управљању *SHE* треба да осигура сагласност са законом и да постигне константно побољшање перформанси као важан елемент политике.

Систематски приступ *SHE* политике односи се на систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине. Процедура је захтевала документацију да су *SHE* ризици редуковани на прихватљив ниво. Приступ је постављен на начин да може да буде екстерно потврђен и верификован.

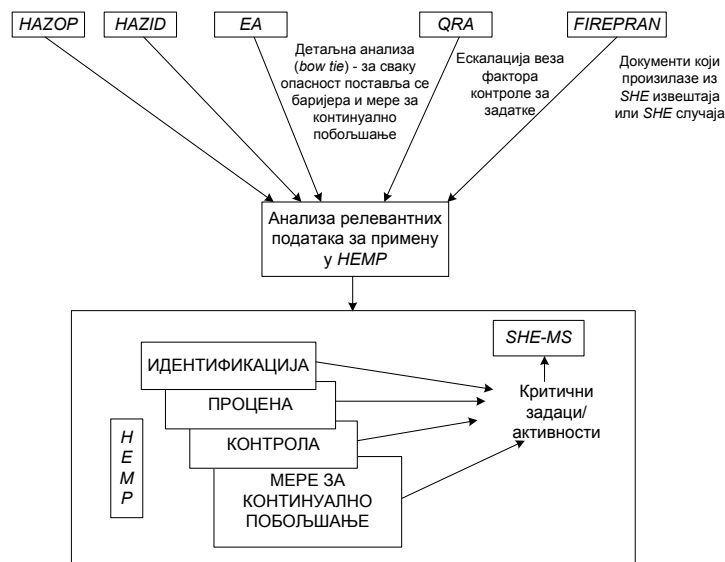
Систем управљања употпуњен је мерењем следећих безбедносних и здравствених перформанси: акциденти (*F*), учесталост изгубљеног времена приликом акцидента (*LTIF*), учесталост укупно регистрованих боловања (*TROIF*), учесталост укупно регистрованих случаја (*TRCF*).

Процес почиње верификацијом података о *SHE* перформансама од стране екстерне контроле, затим следе самооцењивање и контрола на нивоу оперативних јединица, а завршава се достављањем годишњег извештаја, који сваки извршни директор оперативне јединице доставља пословној организацији. Годишњи извештај описује статус имплементирања *SHE* политике оперативних јединица, укључујући референце за *SHE* контролу,

имплементацију *SHE-MS* елемената и друге значајне резултате (Слика 9.5). Поред овога, пословна организација пише и годишњи извештај о безбедности и доставља га управном одбору.

Систем *SHE-MS* управља свим *SHE* ризицима путем *HEMP* приступа, повезивањем контроле ризика са задацима, чије носиоце чине одговорно и стручно особље. Четири су основна *HEMP* елемента: идентификација опасности, процена ризика, контрола опасности и мере за континуално побољшање у случају да контрола не успе.

Улазни параметри у *HEMP* добијени су применом алата или техника као што су *HAZOP*, *HAZID* и *HRA* (Слика 9.6).



Слика 9.6. Веза између *SHE-MS* и *SHE* алата (модификовано према: Poels, 1999)

Постоји много алата и техника чији је циљ да идентификују, оцене и контролишу *SHE* ризике, укључујући оне који анализирају потенцијалне последице. Међутим, ови алати и технике не управљају *SHE* ризицима. Ови алати обезбеђују податке који могу бити коришћени у *HEMP* да би осигурали управљање *SHE* ризицима.

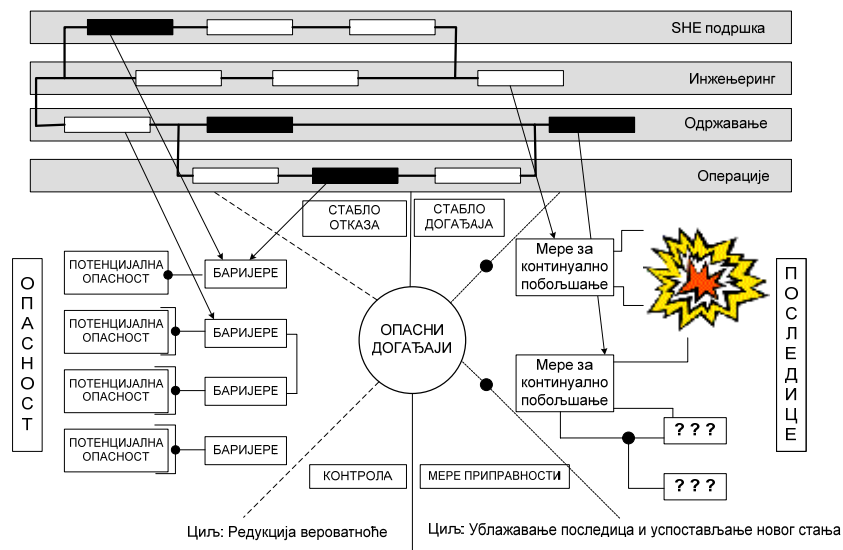
Алати који се користе у *SHE-MS*, а односе се на безбедност јесу: *HAZOP*, *HAZID*, *QRA*, док су здравствени алати оцена ризика по здравље (*HRA*) и анализа ризика на послу. Оцена ризика по здравље обезбеђује кључне инпуте за управљање ризицима по здравље путем *SHE-MS*. Процесује се постојећи ризик по здравље појединца на радном месту идентификовањем типова посла и према изложености опасностима по здравље

(колико дуго, колико често, колико много). Такође се оцењује корисност постојеће мере контроле изложености и оцењује да ли је ризик по здравље сведен на ниво „прихватљиво низак“ по *ALARP* принципу.

Матрица процене ризика са ефектима (тежином последица) на једној оси и вероватноћом на другој оси коришћена је да би се класификовали ризици као: низак, средњи и висок (катастрофалан) ризик. Што је ризик већи, детаљније су анализе ризика и детаљнија је документација о контроли.

Управљање малим (ниским) ризицима захтева познавање и поштовање процедура, док контрола средњих ризика може бити приказана тзв. табелом контроле ризика. За управљање високим ризицима потребан је систематичнији и ригорознији аналитички модел.

За сваки високи ризик постављене су баријере за превенцију непланираних опасних догађаја, који су системски идентификовани. У случају да баријера не успе, и то доведе до опасног догађаја, морају бити специфициране друге контроле како би се умањиле последице и како би се контролисала ситуација. Каснији типови контроле називају се „мере за континуално побољшање“. Контрола може бити физичка (нпр. систем заштите од пожара), помоћна (нпр. славине за ослобађање притиска), опрема за заштиту људи или система, као и рутински прегледи, програми обуке итд. Број, природа и квалитет контроле зависи од величине ризика. Графички приказ овог типа аналитичког модела назван је *Bow tie* модел, а дат је на слици 9.7.



Слика 9.7. *Bow tie* модел управљања ризицима: везе између контроле и задатака (Poels, 1999)

Модел *Bow tie* може да буде коришћен да покаже везу између контроле и *SHE-MS*. На слици 9.7. то је приказано као линија између сваке контроле задатака или активности, чији носилац је одговоран члан особља са одређеним способностима. Овај модел специјализовано је развијен за акутне *SHE* акциденте, као што су пожари, тровања или изливања. Хронични утицаји на здравље и животну средину, као што су излагања ниским концентрацијама отрова или буци, такође могу бити анализирани и може се њима управљати.

У *SHE-MS*, модел *Bow tie* обезбеђује оквир деловања који константно осигурава да се критичним процесима и активностима руководи на основу политике, циљева и задатака. Слика 9.8. приказује систем процене ризика у компанији *Shell* (Poels, 1999).

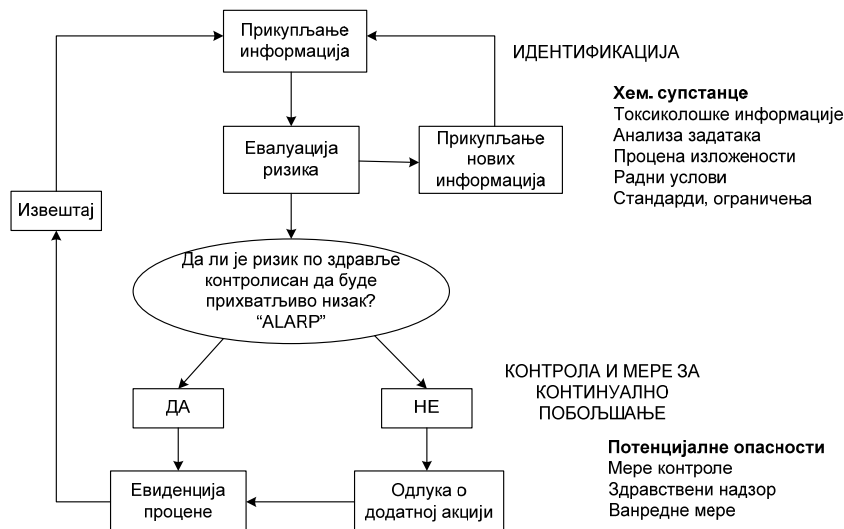


Слика 9.8. Систем процене ризика у компанији *Shell*

За високе *SHE* ризике захтева се документовани приказ да се њиме управља по *ALARP*. Извештај Лорда Калена (Lord Cullen, 1990) препоручио је припрему тзв. „*SHE* случаја“ или „*SHE* извештаја“ за безбедност, који би показали да се управља високим, тј. катастрофалним ризицима по безбедност, што је и примењено у компанији *Shell*. Софтверски програм назван *Thesis* развијен је да би помогао у *Bow tie* анализи и припреми *SHE* случаја за комплексне операције са високим ризицима. Слика 9.9. приказује део програма процене ризика по здравље у компанији *Shell*.

Екстерна верификација свих оперативних активности путем система стандарда обављена је 2000. године. Управа компаније *Shell*, према међународним стандардима за системе управљања на пољу безбедности, здравља и заштите животне средине, сматра сертификацију начином за показивање

свету да је *Shell* одговоран члан друштва. Многе *Shell* оперативне јединице носиоци су и првих проба за тестирање управљачких система по стандардима развијеним од сертификатора.



Слика 9.9. Део програма процене ризика по здравље у компанији *Shell*

9.7 Практична примена ексергетске анализе животног циклуса

Ексергетска анализа животног циклуса биће приказана на примеру испитивања еколошке подобности пластичне чаше за једнократну употребу и керамичке шоље (Слика 9.10).



Слика 9.10. Који производ је еколошки подобнији?

Пре почетка анализе било је потребно утврдити функционалне јединице. Анализа пластичних чаша урађена је за 3000 чаша и она ће бити упоређивана са анализом само једне керамичке шоље, јер се претпоставља да је просечан животни век керамичке шоље око 3000 употреба.

Пластична чаша садржи 49% веома штетног полиестера, 49% основног полиестера и 2% TiO_2 , који се користи за бојење чаше. Маса једне пластичне чаше износи 4 g. Полиестер се прави од сирове нафте. Последња фаза производње полиестера је добијање етилбензена од етилена и бензена. Затим се етилбензен дехидрира и добијају се стирени. Полимеризацијом стирена добија се жељена пластична маса. Чаше се добијају извлачењем пластичне фолије у калупе облика чаше. Електрична енергија утрошена за извлачење једне чаше из пластичне фолије износи 4MJ. После коришћења чаше се одбацују, где се у токовима комуналног отпада 48% спали, а 52% одложи на депонију (подаци из 1995. године, Холандија) (Cornelissen, 1997).

Порцелан је сачињен од смеше минерала, која се углавном састоји од 50% каолина (силикатни минерал), 25% фелдспата (минерала Na, Ca, Al, Si...) и 25% кварца. Материјал се доводи у жељени облик, а затим се пече на 900°C да би се добила шоља. Након тога шољи се додаје глазура, а финална обрада шоље врши се на 1400°C, при чему се шоља смањи за 15%. Маса керамичке шоље је 250 g. За производњу једног килограма шоља потребно је утрошити 1m³ природног гаса. Након сваке употребе шоља се пере у машини за прање. Узима се да детерџенти за прање садрже око 30% фосфата. За свако прање једне шоље утроши се 45 KJ електричне енергије и око 0.25 g детерџента. На крају, керамичка шоља се одбацује, где улази у токове комуналног отпада или се одлаже на депонију (Eijk, Nieuwenhuis, Post, & Zeeuw, 1992).

Анализа животног циклуса урађена је помоћу софтверског пакета *SimaPro 3.1* (Goedkoop, 1994). Применом *SimaPro 3.1* анализирани су следећи проблеми у животној средини: ефекат стаклене баште, оштећење озонског омотача, ацидификација, еутрофикација, тешки метали, канцерогени, зимски смог, летњи смог, пестициди. Метода оцењивања извршена је применом *Eco indicator 95*, који је коришћен за приказ еколошких проблема у једном показатељу и то множењем нормализованих вредности са одређеним фактором (види: Goedkoop, 1995, Cornelissen, 1997).

Најпре је урађен и креиран инвентар животног циклуса, тј. применом софтверског пакета *SimaPro 3.1* пописане су количне улазних ресурса (Табела 9.8).

Табела 9.8. Количине улазних ресурса (оба животна циклуса)(kg)
(Cornelissen, 1997)

Улази	LC 3000 пластичних чаша	LC керамичке шоље
Боксит	2.23e-02	0
Глина	2.35e-04	2.53e-01
Угаљ	3.78e-01	4.38e+00
Титанијум оксид	4.80e-01	0
Гвожђе (руда)	4.25e-03	0
Кречњак	6.31e-03	0
Природни гас	4.30e-01	6.73e+00
Сирова нафта	2.36e+01	1.44e-03
Камена со	4.28e-01	0

Након утврђивања улазних ресурса процењен је утицај керамичке шоље (Табела 9.9) и пластичних чаша (Табела 9.10) применом *Eco indicator 95* методе оцењивања.

Табела 9.9. Емисије током животног циклуса керамичке шоље (Cornelissen, 1997)

Емитована супстанца	Реципијент	Маса (kg)	<i>Eco indicator 95</i>	%	% Кумулативно
NO	Ваздух	1.72e-01	1.36e-02	37.269	37.269
SO ₂	Ваздух	6.58e-02	9.33e-03	25.568	62.837
Фосфати	Вода	4.50e-02	5.89e-03	16.141	78.978
CO ₂	Ваздух	2.96e+01	5.67e-03	15.538	94.517
C _x H _y	Ваздух	2.34e-02	1.30e-03	3.563	98.079
Прашина	Ваздух	5.63e-03	2.98e-04	0.817	98.896
N ₂ O	Ваздух	4.55e-03	2.35e-04	0.644	99.540
Метан	Ваздух	4.29e-02	1.32e-04	0.362	99.901
Амини	Ваздух	1.20e-04	2.53e-05	0.069	99.971
Pb	Вода	7.50e-08	6.90e-06	0.019	99.990
Алдеҳиди	Ваздух	4.04e-05	2.50e-06	0.007	99.996
Ba	Вода	1.00e-07	1.28e-06	0.004	100.000
CO	Ваздух	2.10e-02			
Укупно			3.649e-02		

Табела 9.10. Емисије током животног циклуса 3000 пластичних чаша
(Cornelissen, 1997)

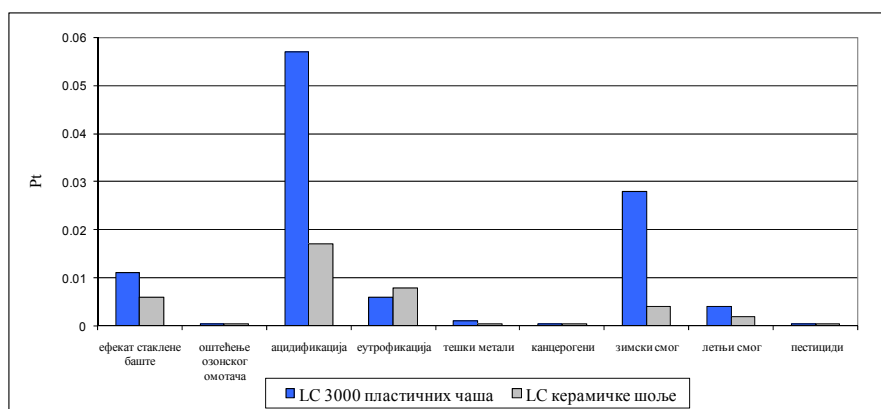
Емитована супстанца	Реципијент	Маса (kg)	Eco indicator 95	%	% Кумулативно
SO_2	Ваздух	4.28e-01	6.07e-02	60.320	60.320
NO	Ваздух	3.04e-01	2.41e-02	23.973	84.293
CO_2	Ваздух	5.51e+01	1.05e-02	10.445	94.738
C_xH_y	Ваздух	8.10e-02	4.49e-03	4.466	99.204
Cr	Вода	1.05e-05	1.94e-04	0.193	99.397
Pb	Вода	1.68e-06	1.55e-04	0.154	99.552
Прашина	Ваздух	2.36e-03	1.25e-04	0.124	99.676
BPK	Вода	1.88e-02	5.42e-05	0.054	99.730
Тешки метали	Ваздух	5.77e-07	5.31e-05	0.053	99.783
HCl	Ваздух	6.15e-04	4.80e-05	0.048	99.830
Тоулен	Ваздух	4.78e-04	3.75e-05	0.037	99.868
NH_4^+	Вода	7.05e-04	3.05e-05	0.030	99.898
Бензен	Ваздух	8.09e-04	2.95e-05	0.029	99.927
Флуорантен	Ваздух	2.88e-08	2.64e-05	0.026	99.954
N_2O	Ваздух	2.48e-04	1.28e-05	0.013	99.966
Метан	Ваздух	2.37e-03	7.30e-06	0.007	99.974
Cd	Вода	2.16e-08	5.96e-06	0.006	99.980
Hg	Вода	5.23e-09	4.81e-06	0.005	99.984
Етилбензен	Ваздух	6.62e-05	4.15e-06	0.004	99.988
Бензопирен	Ваздух	2.28e-09	2.64e-06	0.003	99.991
Стирен	Ваздух	2.42e-05	2.57e-06	0.003	99.994
HF	Ваздух	1.76e-05	2.50e-06	0.002	99.996
Амонијак	Ваздух	8.90e-06	1.87e-06	0.002	99.998
Угљеник	Ваздух	1.55e-05	8.24e-07	0.001	99.999
Si	Вода	1.68e-06	7.74e-07	0.001	100.000
Алдехиди	Ваздух	6.85e-06	4.24e-07	0.000	100.000
C_xH_y ароматични	Ваздух	3.88e-07			
CO	Ваздух	2.30e-02			
Укупно			1.0031e-01		

У наредној табели приказане су емисије полутаната пластичне чаше и керамичке шоље у земљиште.

Табела 9.11. Емисија у земљиште (оба животна циклуса) (kg) (Cornelissen, 1997)

Емисија	LC 3000 пластичних чаша	LC керамичке шоље
Хемијски отпад	2.40e-02	6.00e-04
Крајњи отпад (инертан)	6.24e+00	1.30e-01
Отпад у производњи (неинертан)	1.04e+00	2.37e+00
Шљака	1.15e-01	1.20e-01

На основу процене утврђено је да је утицај животног циклуса пластичних чаша 2.75 пута већи од утицаја животног циклуса керамичке шоље (Слика 9.11).



Слика 9.11. Процена утицаја на животну средину 3000 пластичних чаша и керамичке шоље применом *Eco indicator 95*

Производња пластичне чаше има значајан утицај на ефекат стаклене баште, ацидификацију, еутрофикацију, зимски и летњи смог. Еколошки ефекти су углавном изазвани SO_2 , NO_x и CO_2 . Већина ових емисија настаје приликом производње полистирена (98% SO_2 , 95% NO_x и 62% CO_2). Емисија CO_2 настаје и приликом дестилације сирове нафте, а један део се емитује током процеса спаљивања отпада. Главни утицаји на животну средину код производње керамичке шоље изазвани су SO_2 , NO_x , CO_2 и фосфатима, који се емитују у процесу производње електричне енергије и приликом процеса прања (фосфати). Ефекти на животну средину код про-

изводње керамичке шоље веома су мали (мањи од 1% од вредности *Eco indicator 95*).

У табели 9.12. приказани су *ELCA* улазни ресурси за оба животна циклуса.

Табела 9.12. *ELCA* укупни улази (kg) (Cornelissen, 1997)

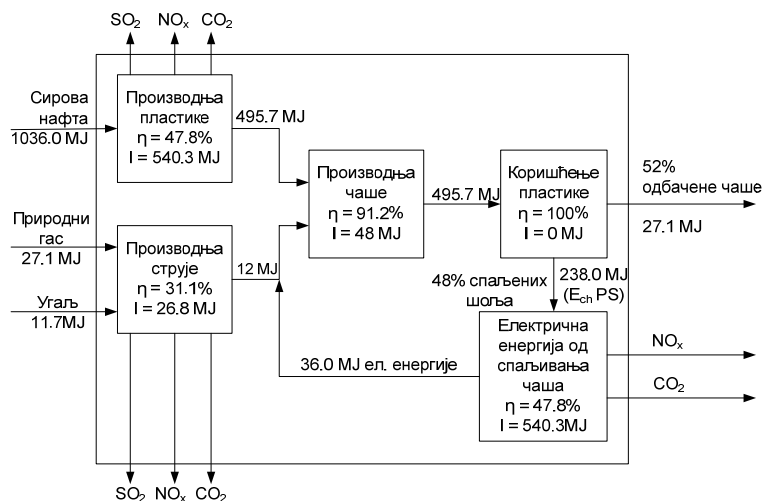
Компонента	Пластична чаша	Керамичка шоља
Угаљ	0.378	4.700
Сирова нафта	23.600	
Природни гас	0.685	7.478
Кисеоник	63.961	34.615
Фосфати		0.045
Укупно	88.624	46.793

У табели 9.13. приказани су *ELCA* излази за оба животна циклуса (ексергија излаза). Треба истакнути да се одбачене чаше рачунају у ексергетској анализи, јер поседују одређену количину енергије која може да се конвертује. Ексергије емисија нису анализиране, јер се претпоставља да ће их животна средина дифундовати и разградити, тј. њихова је вредност у односу на околину занемарљива. Значајан је само проток полистирена, јер он представља пластичан отпад који се у будућности може користити као ексергетски резервоар.

Табела 9.13. *ELCA* укупни излази (kg) (Cornelissen, 1997)

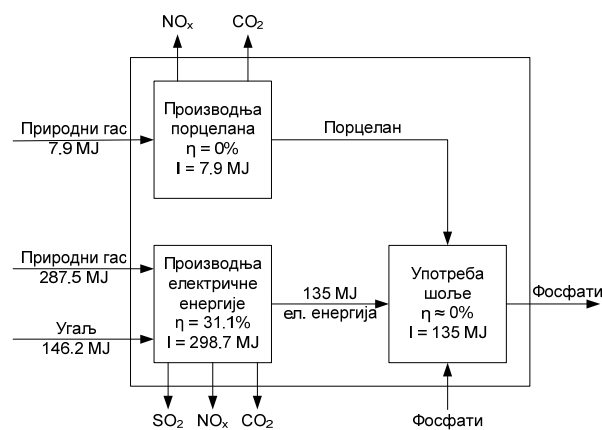
Компонента	Пластична чаша	Керамичка шоља
CO_2	55.100	29.600
H_2O	26.520	14.773
SO_2	0.428	0.066
Пластичан отпад	6.115	
NO	0.304	0.172
N_2	0.020	1.701
Пепео	0.032	0.395
CO	0.023	0.021
C_xH_y	0.081	0.023
CH_4		0.043
Фосфати		0.045
Укупно	88.624	46.793

На слици 9.12. приказан је животни циклус 3000 пластичних чаша са ексергетским токовима.



Слика 9.12. Ексергетски дијаграм животног циклуса 3000 пластичних чаша (Cornelissen, Van Nimwegen, & Hirs, 2000)

Ексергетски дијаграм животног циклуса пластичних чаша упоређује се са ексергетским дијаграмом керамичке шоље (Слика 9.13), који се ради на истом принципу као и претходно приказан.



Слика 9.13. Ексергетски дијаграм животног циклуса керамичке шоље (Hirs, 2003)

Укупна иреверзибилност (губитак ексергије) животног циклуса једне керамичке шоље износи 442 MJ, а 3000 пластичних чаша 817 MJ.

На основу спроведене анализе може се закључити да је 1.85 пута несавршенији животни циклус пластичне чаше, него животни циклус керамичке шоље. Главни узрок несавршености животног циклуса пластичних чаша јесте процес производње пластике и процес сагоревања одбачених пластичних чаша, док на иреверзибилност животног циклуса керамичких шоља највише утичу процес прања и процес производње електричне енергије.

Да би се извршила *ZERO-ELCA* анализа, потребно је да два претходно обрађена животна циклуса буду трансформисана у циклусе без штетних емисија. Да би се то урадило, потребно је прво размотрити начине на које се могу редуковати емисије и деструкција ексергије која настаје у тим процесима.

Према *LCA* утврђене су четири опасне емисије код оба животна циклуса: SO_2 , NO_x , CO_2 и фосфати. Ове четири емисије чине 95% утицаја оба животна циклуса на животну средину. SO_2 се из животног циклуса може одстранити помоћу кречњака, при чему се може добити гипс. Да би се одстранило 90% емисије, изгуби се 57MJ/kg ексергије. NO_x се може одстранити помоћу NH_3 , при чему настају N_2 и H_2O . При овом процесу долази до деструкције 16 MJ/kg ексергије. Око 90% CO_2 могуће је компресовати и складиштити, чиме би се елиминисао његов штетан утицај. За ову операцију потребно је око 3 MJ/kg ексергије природних ресурса, док за одстрањивање 99% фосфата потребно је око 18 MJ/kg ексергије (STOWA, 1996).

Укупна потрошња ексергије за претходно наведене процесе редукције емисија које настају у животним циклусима 3000 пластичних чаша и керамичке шоље дата је у табели 9.14.

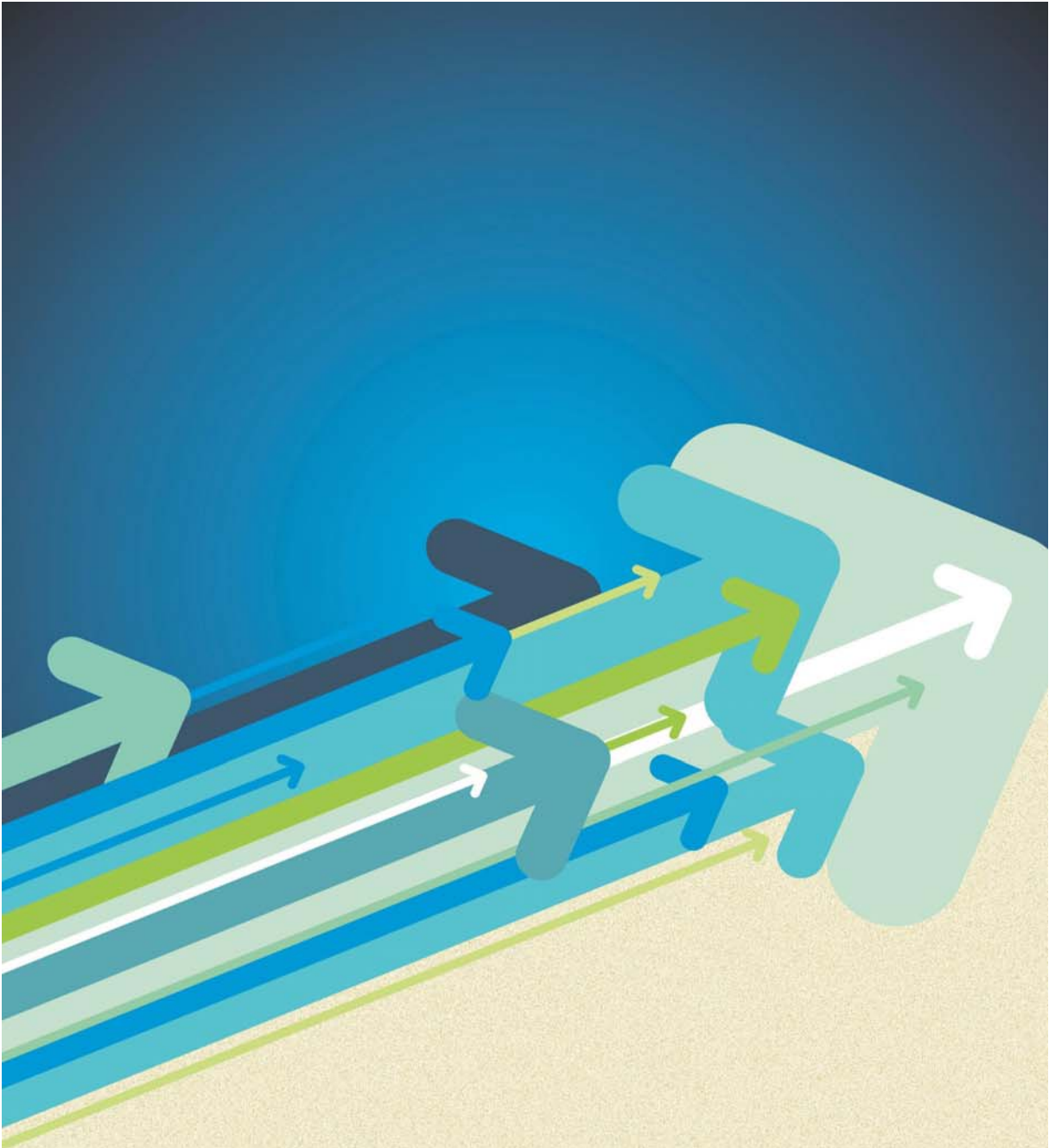
Табела 9.14. *ZERO-ELCA* (смањење ексергије главних емисија у MJ)
(Cornelissen, 1997)

Компонента	Пластична чаша	Керамичка шоља
CO_2	148.8	79.9
SO_2	22.0	3.4
NO_x	3.9	2.2
Фосфати		0.8
Укупно	174.7	86.3

Према овој анализи укупна иреверзибилност животног циклуса 3000 пластичних чаша је 992 MJ (што је око 21% веће у односу на ситуацију без смањења емисије). Укупна иреверзибилност животног циклуса керамичке шоље са редукцијом штетних емисија износи 528 MJ. Према овој анализи може се утврдити да је животно циклус пластичних чаша 1.88 пута иреверзибилнији од животног циклуса керамичке шоље.

У овом примеру, а на основу девет значајних утицаја чаша на животну средину, *LCA* је показала да керамичка шоља има мањи утицај од пластичне чаше, осим код еутрофикације. Сprovedена *ELCA* показала је да животно циклус пластичних чаша троши скоро два пута више ексергије природних ресурса него животно циклус керамичке шоље, а *ZERO-ELCA* анализа показала је да се са релативно малом додатном потрошњом ексергије може успешно редуковати већи део штетних емисија оба животног циклуса.

У суштини, ексергетска анализа представља проширену *LCA* анализу, при чему се добијају комплетнији резултати, као и оцена утицаја животног циклуса на животну средину. Такође, лакше се идентификују места у животног циклусу на којима се јављају велики губици, тако да *ELCA* може да послужи као метода процене еколошког ризика, при чему се на основу добијених резултата могу предложити и потребне корективне мере.



10. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

10.1. Синергија метода

10. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

На основу дугогодишњих истраживања аутора намеће се закључак да само синергетска примена метода за процену ризика може омогућити идентификацију опасности у истраживаним системима, процену ризика комплексних система и увођење адекватних мера за редукцију ризика на прихватљив ниво.

10.1 Синергија метода

На основу анализе метода за процену ризика из претходних поглавља, може се закључити да је њихова применљивост веома неуједначена. Која ће се метода примењивати за процену ризика зависи од могућности методе, сложености процеса, степена организације и количине искустава у вези са тим процесом, као и од тога да ли је процес већ имплементиран или се ради о новом пројекту.

Први проблем који се јављао у процесу процене ризика односио се на недостатак стандардних алата и техника за процену. Међутим, овај проблем је превазиђен увођењем стандарда *ISO 31010:2009 Управљање ризиком – технике за процену ризика*, тако да су неке од метода за процену ризика, односно за поједине активности у процесу процене ризика (идентификација, анализа и вредновање ризика) стандардизоване.

Други проблем односи се на непостојање стандардних прописа у процени ризика који доприносе тачној анализи опасности и релевантним подацима према којима се могу доносити исправне одлуке. Дакле, да би се добиле поуздане квантитативне процене, потребни су валидни подаци. Међутим, иако постоје многи подаци, они нису обавезно доступни у употребљивој форми. Како би се овај проблем превазишао, потребан је организован напор да се идентификују и систематизују постојеће базе података и да се развију планови за систематско прикупљање и пласирање нових података.

Следећи проблем односи се на недостатак квалификованих инжењера и менаџера система безбедности. Постоји општа сагласност међу ауторима да у области образовања и оспособљавања за безбедност и заштиту здравља на раду, заштиту животне средине и заштиту од пожара треба поштовати закономерно педагошко-андрагошко правило да еколошко, здравствено и радно-техничко васпитање и образовање треба да почне од

„малих ногу“ у породици и предшколским установама, преко свих нивоа формалног, школског образовања (основношколско, средњошколско, високошколско) до различитих облика неформалног, послешколског, допунског и перманентног образовања у овој области (Николић, Савић, 2003).

Следећи проблем представља утицај људског фактора на рад система. Људи су склонији пропустима и далеко су мање предвидиви него техничка опрема. Из тог разлога веома је тешко прецизно предвидети људску поузданост. Велики проблем представља и анализа управљачких делатности које нису увек на адекватан начин координисане и хијерархијски дефинисане. Због тога се процена људских и организационих грешака све више поставља као приоритетан циљ у управљању пословним организацијама које, заправо, своју конкурентну предност треба да заснивају на знањима из области процене и управљања ризиком.

Анализирајући претходно изложено, намеће се закључак да се применом појединачних метода не може доћи до праве процене ризика, јер ниједна метода не може самостално да реализује промовисане циљеве. Због тога је за реализацију практичних решења неопходно синергетско деловање више међусобно комплементарних метода.

У циљу дефинисања групе метода које у највећем броју случајева имају заједничко подручје примене, сагледане су две области:

- идентификација опасности,
- селекција, избор и примена метода за процену ризика.

10.1.1 Идентификација опасности

Идентификација опасности представља основни корак ка адекватном управљању безбедношћу анализираних система. Врши се са циљем формирања листе извора и фактора ризика, као и догађаја који могу утицати на остваривање циљева дефинисаних у контексту управљања ризиком. Ови догађаји могу да онемогуће, умање, увећају или одложе остваривање дефинисаних циљева. Одређени број метода (*brainstorming*, анкетирање, интервјуи, чек-листе, „шта-ако“ анализа, анализа сценарија, анализа узрока и последице, матрице вероватноће и последица и сл.) може се примењивати за решавање проблема идентификације опасности, формирањем листе нежељених догађаја, описом извора опасности, фактора опасности, услова настајања и развоја акцидента, а све са циљем формирања прелиминарне анализе опасности (*Preliminary Hazard Analysis – PHA*).

Примарни циљеви прелиминарне анализе опасности су идентификација, анализирање и контрола опасности до највишег могућег нивоа, уз ограничења оперативне ефективности, времена и новца. Прелиминарна

анализа опасности представља иницијални поглед на целокупан систем безбедности и проширује се са појавом нових опасности. Она садржи следеће фазе:

- идентификацију и анализу могућих узрока (од иницијалног догађаја до акцидента),
- анализу могућег начина развоја удесног догађаја и
- израду сценарија могућих удеса.

Почетни задатак *PHA* у смислу идентификације опасности јесте формирање списка потенцијалних опасности (*Preliminary Hazard List – PHL*). Методе које се при томе могу користити су *EA*, *HAZOP*, *FME(C/D)A*, *FTA* итд. Како су ове методе усмерене углавном на хардвер, неопходно је спровести и оперативну анализу опасности (*Operating and Support Hazard Analysis – OHA*) која допуњава *PHA* коришћењем анализе поузданости људског фактора и управљачких делатности. Главни циљ свих ових анализа јесте да се обезбеди довољна база података за адекватну процену ризика.

Како се идентификовани догађаји могу реализовати на различите начине, неопходно је формирати сценарије развоја ових догађаја. Сценарио повезује факторе ризика на начин који може резултовати губитком (негативном последицом или неповољним ефектом) или добитком (позитивном последицом или повољним ефектом). Најчешће се користе базични сценарији као највероватнији сценарији развоја ризичних догађаја.

Идентификација опасности завршава се избором даљег правца активности које могу да буду усмерене ка завршетку анализе због процењене незнатне опасности или ка одлуци о спровођењу детаљне процене ризика, кад је процењено да је идентификована опасност знатна (Стојиљковић, 2007).

10.1.2 Селекција, избор и примена метода за процену ризика

На основу идентификовања опасности потребно је извршити селекцију и избор метода за процену ризика. Методе које имају највећу практичну примену у процени ризика система су:

Анализа енергије, има за циљ идентификацију типа „енергије“. То је једноставна метода која даје детаљан преглед одређених фаза догађаја, контролних механизма и стања енергије у анализираним системима. Кључни сегмент ове методе јесу баријере (баријере постоје у систему или се могу накнадно поставити), као превентивне мере које се предузимају са циљем смањења повреда запослених и/или оштећења материјалних и природних добара. *Реализатор методе*: мултидисциплинарни тим са процениоцем.

Анализа опасности и операбилности представља квалитативну систематску методу за испитивање било планираних или постојећих процеса или операција, са циљем идентификовања и процене проблема који могу настати током рада, односно са циљем побољшања безбедности и поузданости датог система. До идентификовања и процене проблема који представљају потенцијалне ризике за запослене, опрему и сам процес, ова метода спроводи се радом мултидисциплинарног тима, уз помоћ тзв. смерница, речи-водиља. *Реализатор методе*: мултидисциплинарни тим (од минимум 4 до максимум 9 чланова) са проценитељем. Анализу покреће особа која је одговорна за пројекат – пројект менаџер. Она одређује када и за коју сврху се студија ради, позива тим експерата и обезбеђује услове за извођење студије.

Анализа начина и ефеката (и критичности/детекције) отказа јесте алат којим се квалитативно анализирају сви могући начини отказивања компонената система, њихове последице и могућности избегавања отказа или смањивања утицаја отказа на систем. Анализа критичности (*Criticality Analysis*) везана је за оцену степена утицаја саставних делова на систем, док анализа детекције (*Detection Analysis*) укључује и аутоматску *on-line* дијагностику. *Реализатор методе*: аналитичар који користи податке пројектне или локалне радне групе. Ова метода даје најбоље резултате кад се изводи у тиму који је састављен од чланова који поседују разноврсна и специфична знања и искуства релевантна за систем који ће се анализирати.

Анализа стабла отказа јесте графоаналитичка метода која даје систематски опис могућих стања у систему, чији је резултат нежељени догађај, односно отказ. Значај *FTA* као квалитативног оруђа са квантитативним потенцијалом је у рашчлањивању акцидента на основне отказе опреме и људске грешке. Рашчлањивање акцидента може се проценити и квантитативно, када су доступни подаци о вероватноћама отказа. Све то омогућава аналитичару безбедности да фокусира превентивне мере на основне узроке, ради смањења вероватноће појаве акцидента. *Реализатор методе*: аналитичар који користи податке локалне радне групе. Може се спровести од стране једног аналитичара уз стално консултовање са инжењерима, оператерима и другим особљем које има искуства са системом/опремом који се анализира. Тимски рад је пожељан када је потребан сложени график рашчлањивања отказа, при чему се сваки члан тима концентрише на појединачни график.

Анализа стабла догађаја јесте индуктивна аналитичка техника за истраживање безбедности система, примењива на физичке системе са или без оператера и на менаџмент системе као подршка одлучивању. Она разматра реакцију оператера или безбедносног система на иницијални догађај при одређивању потенцијалних нежељених исхода. Резултати овакве ана-

лизе јесу низови догађаја, односно хронолошки распоређене групе отказа и грешака које доприносе хаварији, несрећи или катастрофи. За примену *ETA* потребно је познавање иницијалних догађаја (откази опреме или поремећаји система који потенцијално могу изазвати акцидент) и познавање заштитних система или процедура у случају опасности које потенцијално могу умањити утицај иницијалног догађаја. Резултати примене *ETA* су квалитативне природе, али поседују квантитативни потенцијал. Очекивана вероватноћа низова догађаја може бити квантификована уколико је позната вероватноћа догађаја. *Реализатор методе*: аналитичар који користи податке локалне радне групе. Може се спровести од стране једног аналитичара, али је уобичајено да се ангажује тим од 2 до 4 стручњака. Тимски приступ побољшава анализу, што резултира бољим дефинисањем структуре догађаја.

Методе за процену људске поузданости заснивају се на израчунавању вероватноће људске грешке, што је мера људске поузданости. Најбоље оцењене методе су *HEART*, *APJ*, *THERP*, *SLIM*, нешто слабије *PC* и *IDA*, а најслабије оцењене *TESEO* и *HCR*. Ради се о релативно „брзим“ методама – неке користе процене експерата за идентификацију људских грешака и за указивање на противуречности анализираног процеса, неке за идентификацију и процену фактора обликовања учинка, услова за настанак грешака, механизма грешака и сл., док друге користе базу података за процену или се фокусирају на квантификацију когнитивних грешака. *Реализатор методе*: зависно од методе, може бити експерт (или група експерата) за људски фактор/ергоном који користи податке мултидисциплинарног тима. Методе *APJ*, *PC*, *IDA* и *SLIM* користе групу експерата да би проценили *HEP*, док *TESEO*, *THERP* и *HEART* за процену вероватноће људске грешке користе једног експерта.

Анализа функције безбедности јесте метода општег карактера и применљива је на све аспекте анализираних система. Спроводи се са циљем да се идентификују најважнији параметари (ниво апстракције, ниво сложености система, тип функције безбедности, тип објекта) и опишу најважније карактеристике функције безбедности како би се описао и њен допринос безбедности система. Анализа функције безбедности узима систем (радно место) и његове опасности као полазну тачку (углавном се ова примена и разматра). Користи се за истраживање акцидентата из прошлости, а са циљем извођења закључка о функцијама безбедности и њиховим слабостима. *Реализатор методе*: варира у зависности од примене, може посебан пројектни тим, али и локална радна група.

Анализа одступања спроводи се са циљем да се идентификују и анализирају сва одступања (техничка, људска и организациона) која могу довести до акцидентата или других проблема у анализираном систему.

Анализа одступања има једноставне и флексибилне принципе општег карактера, тако да је применљива на све аспекте анализираних система. Омогућава једноставну, али систематску анализу генерисања предлога за унапређење безбедности, тј. развој превентивних мера. Ова метода може се применити на мање системе, нпр. радно место или поједине операције, а може обухватити и цео систем. Принцип је исти, али приступ структурисања и идентификације одступања варира према типу система. *Реализатор методе*: локална радна група или мултидисциплинарни тим са проценитељем.

Анализа промена јесте метода општег карактера, применљива је на све аспекте анализираних система, а њени принципи су флексибилни и једноставни. Представља једноставан, праволинијски процес, који је релативно брз и лак за учење и примену. Користи се за оцену безбедности система, процењивањем промена и одређивањем контрапромена ради одржавања система у равнотежи. Погодна је за проналажење брзих одговора и идентификавање непознатих узрока (грешака) који могу повећати ризик система. *Реализатор методе*: локална радна група или мултидисциплинарни тим са проценитељем.

Анализа безбедности рада има за циљ идентификацију опасности и штетности на радном месту. Примењује се и за рутинске активности као превентива за безбедан рад. То је једноставна, „праволинијска“ метода која се релативно лако спроводи. Веома је корисна и брза када се примењује на мале системе или мануалне послове (нпр. једна машина, део процеса производње, ...). *Реализатор методе*: локална радна група или мултидисциплинарни тим са проценитељем.

Комплексна метода за процену нивоа укупне опасности од акцидента веома је практична и једноставна метода. Чине је прорачуни опасности које су изазване технолошким процесима, деловањем људског фактора и окружењем. Ова три основна фактора имају своје параметре који их квантитативно одређују. Користећи висок степен знања, искуство, интуицију, познавање понашања елемената у истим или сличним условима, експерти доносе суд о највероватнијој реализацији елементарних догађаја, њиховом међусобном односу и њиховом утицају на укупан ниво опасности од акцидента. *Реализатор методе*: мултидисциплинарни тим експерата.

Систем управљања безбедношћу, здрављем и заштитом животне средине има за циљ интегрисање парцијалних система менаџмента у јединствен интегрални систем управљања и руковођења једном организацијом. Увођење појединачних система менаџмента доводи до сувишних преклапања, чиме се нарушава оптимално функционисање система. То представља посебан проблем за мала и средња предузећа, а трошкови улагања у појединачне системе знатно су виши. Интегрисани систем заштите радне и

животне средине омогућава ефективније и ефикасније одвијање процеса, уз рационализацију ресурса и смањење ризика. *Реализатор*: локална радна група за процену интегрисаног система менаџмента.

Аудит има за циљ спровођење интерне или екстерне, објективне провере да ли су активности примене система менаџмента квалитетом, заштитом животне средине, здрављем и безбедношћу на раду, извршене ефикасно и да ли су усаглашене са међународним стандардима. Овај алат утврђује и да ли реализовани резултати доприносе постизању одређених циљева и политике организације у којој се врши провера и да ли су идентификоване потенцијалне могућности за побољшање. *Реализатор методе*: локална радна група за процену парцијалног или интегрисаног система менаџмента.

Пропуст менаџмента и стабло ризика има за циљ откривање организационих и управљачких грешака анализом акцидентата који су се десили. То је релативно једноставна метода за примену, код које је сваки елемент лак за учење и разумевање. Заснива се на формирању темељне истраге о акцидентима, идентификацији основних узрока акцидентата и увођењу специфичних и основних мера контроле узрока акцидентата. *Реализатор методе*: локална радна група.

Анализа животног циклуса спроводи се са циљем утврђивања могућности за смањење утицаја на животну средину у различитим фазама животног циклуса производа или процеса. Њена сврха јесте идентификација и анализа „слабих тачака“ животног циклуса производа или процеса, оцењивање еколошких својстава производа или процеса, као и отклањање уочених недостатака. Она омогућава поређење како постојећих производа или процеса, тако и формирање модела нових производа, као и анализу трошкова. Такође, омогућава анализу утицаја производа или процеса на људско здравље и стање екосистема, даје препоруке за ефикаснији систем управљања отпадом и маркетинг, потврђује испуњеност критеријума о заштити животне средине („еколошки знак“) или критеријума за декларацију о утицају производа на животну средину („еко-декларација“). *Реализатор методе*: локална радна група.

Ексергетска анализа животног циклуса има за циљ оцењивање материјалних, енергетских и ексергетских биланса, тј. откривање стварних губитака енергије и масе и тачне локације тих губитака по фазама животног циклуса, као и њихових могућих утицаја на животну средину. Дакле, помоћу *ELCA* анализе утврђује се које су фазе животног циклуса најнесавршеније и какве последице исцрпљивање ресурса има на животну средину. Да би се оценио и утицај емисија уведена је тзв. *ZERO – ELCA*. Код ове методе улази и излази система приказују се заједничким физичким јединицама, што ствара могућност да се одмах утврди ексергетска ефикасност

неког процеса. Утврђивањем ексергетске ефикасности процеса могу се упоређивати сви остали процеси који су анализирани по истом принципу. *Реализатор методе*: локална радна група.

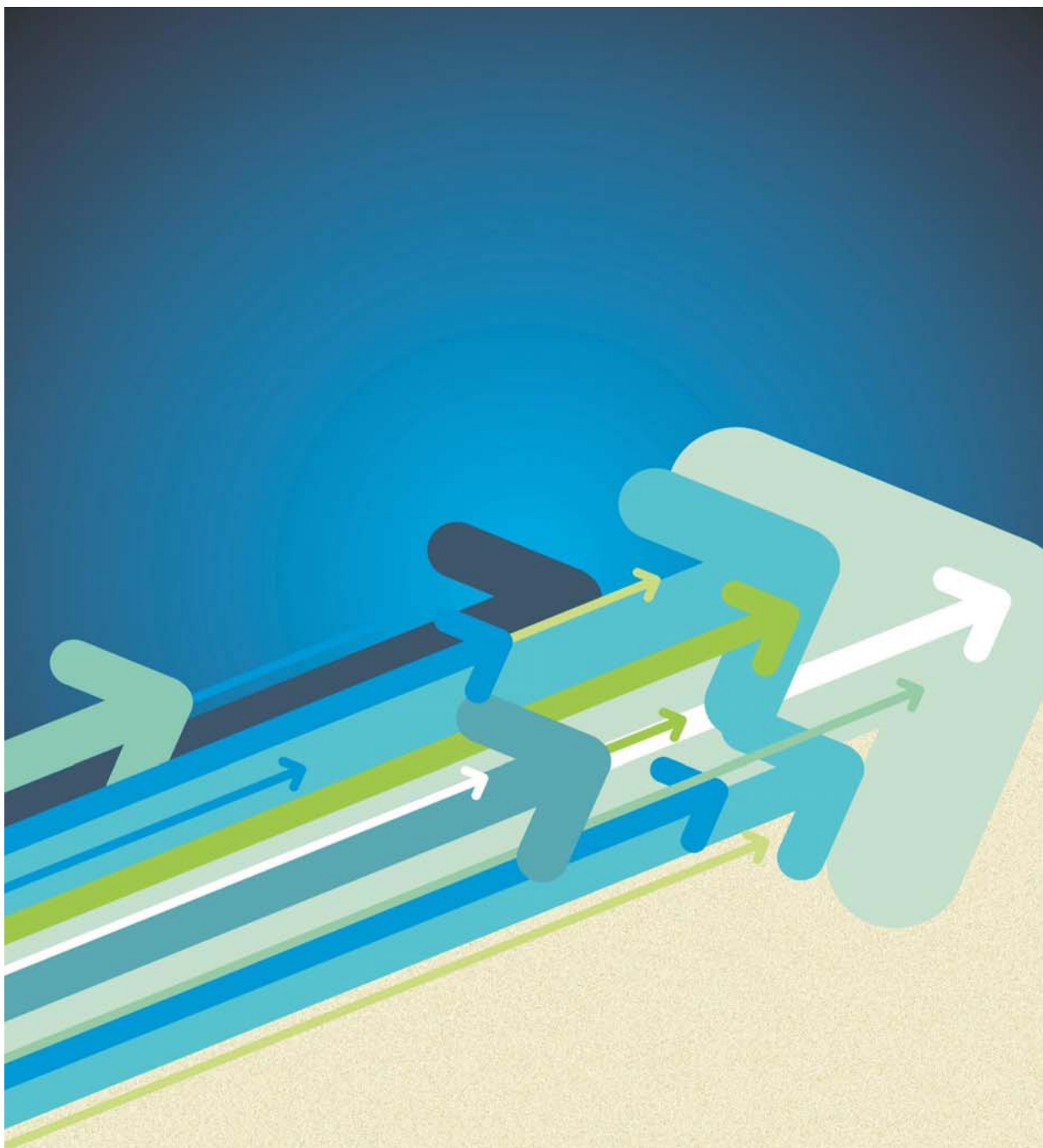
Дакле, *LCA* и *ELCA* имају за циљ оцењивање еколошких аспеката производа и процеса и сумирање њихових могућих утицаја на животну средину у свим фазама животног циклуса, од екстракције сировина, кроз производњу, дистрибуцију, примену и ликвидацију.

На основу спроведене анализе метода за процену ризика, у табели 10.1. приказане су методе, које могу адекватно да допринесу реализацији могућих практичних решења у разним областима истраживања безбедности и ризика система. Применом ових метода долази се до скупа идентификованих ризика који се могу класификовати, анализирати и проценити. Основни циљ примене ових метода јесте проналажење угрожених подручја и примена мера за постизање адекватног нивоа безбедности система. На овај начин формиран је синергетски методолошки оквир за процену ризика система, који доприноси увођењу систематичности у истраживању ове значајне проблематике и отклањању одређених недумица неких аутора „да се примена оцена вероватноће као критеријума безбедности опасних објеката чини сумњивом због упрошћавања, претпоставки у коришћеном математичком апарату, непостојања сигурне статистике о инцидентима, удесима и поузданости опреме...“, мада исти аутор закључује да су „прорачуни вероватноће ризика, по правилу, неопходни за упоредну анализу различитих варијанти, аргументовање и оптимизацију предлаганих мера безбедности“ (Меньшиков, 2003).

Формирањем методолошког оквира за процену ризика са циљем идентификације и квантификације подручја где потенцијално може доћи до настанка акцидента, затим селекцијом и избором метода како би се одредиле најрелевантније за процену вероватноће и последица, и њиховом адекватном применом у реализацији могућих практичних решења у разним областима истраживања, може се закључити да само синергетска примена метода за процену поузданости техничких система, људске поузданости, метода за анализу акцидента и управљачких делатности омогућава адекватну процену безбедности и ризика система (Grozdanović, Stojiljković, & Krstić, 2012).

Табела 10.1. Примена метода за процену ризика

Метод	Могућа практична решења								
	Формирање базе података за процену ризика	Анализа система безбедности	Анализа поузданости система	Идентификација ризика	Процена вероватноће ризика	Процена последица ризика	Процена нивоа ризика	Оперативно управљање ризицима	Интегрисано управљање системима
EA				X					
DA				X					
HAZOP	X	X	X	X		X	X	X	
SFA		X		X					
FMECA	X	X	X	X	X	X	X	X	
HEART			X	X	X	X	X		
FTA	X	X	X	X	X		X		
ETA	X	X	X	X		X	X		
APJ	X			X	X	X		X	X
CA				X				X	
SLIM	X			X	X	X	X	X	
MORT	X			X				X	X
JSA	X		X	X					
THERP	X	X	X	X	X	X	X	X	
AUDIT				X				X	X
CMA	X		X	X			X		
SHE-MS								X	X
LCA				X	X	X	X		
ELCA				X	X	X	X		



ЛИТЕРАТУРА

А. Књиге, чланци из часописа и зборника радова

*Б. Стандарди, директиве,
закони, правилници и интернет адресе*

ЛИТЕРАТУРА

А. Књиге, чланци из часописа и зборника радова

- [1] Адамовић, Ж., и други (2008). *Модели одржавања на бази ризика*. Бања Лука: Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине.
- [2] ***. (2008). *Акт о процени ризика на радним местима и у радној околини ПД ЕД „Југоисток“ д.о.о Ниш*. Интерна документација ПД ЕД “Југоисток” д.о.о Ниш.
- [3] Анђелковић, Б. (2009). *Основи система заштите*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу.
- [4] Andelković, B., & Krstić, I. (2007). Application of Exergetic Analysis in the Risk Analysis of Technological Systems and Environmental Protection. *Facta universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 4 (1), 31 – 39.
- [5] Анђелковић, Б., Крстић, И. (2002). *Технолошки процеси и животна средина*. Ниш: Југословенски савез друштва инжењера и техничара заштите.
- [6] Аронов, И. З. (2004). *Инженерство безопасности*. Москва: Академии проблем качества России, заведующий отделом ВНИИ Сертификации Госстандарта России.
- [7] Арсовски, С. (2001). Приступ развоју и имплементацији интегрисаног система менаџмента-QMS/EMS/OHSAS/RM. *Квалитет*, XI (1-2), 25-28.
- [8] Artto, K., & Hawk, D. (1999). Industry Models of Risk Management and Their Future. Proceedings from: *The 30th Annual Project management Institute, Seminars & Symposium Philadelphia*. Pennsylvania, USA.
- [9] Архипова, Н. И., Кульба, В. В. (1998). *Управление в чрезвычайных ситуациях*. Москва: РГГУ.
- [10] Bahr, N. J. (1997). *System Safety Engineering and Risk Assessment: A Practical Approach*. London: Taylor & Francis.

- [11] Белов, П. Г. (1996). *Теоретические основы системной инженерии безопасности*. Москва: МИБ СТС, Государственный научно-технический проект „Безопасность“.
- [12] Богдановић, М. (1999). *Опасности од хемијских акцидента*. Београд: Задужбина Андрејевић.
- [13] Богичевић, С. (1998). Развој модела за идентификацију и процену ризика производних система применом теорије FUZZY скупова и FUZZY логистике. *Магистарски теза*. Нови Сад: Технички факултет.
- [14] Brown, I. D. (1976). *Psychological Aspects of Accident Causation: Theories, Methodology and Proposals for Future Research*. Unpublished report prepared for the Medical Research Council. Environmental Medicine Committee's Working Party on Specific Aspects of Accident Research.
- [15] Vauglan, E. J. (1997). *Risk Management*. New York: John Willey & Sons.
- [16] Владимиров, В. А. и др. (2000). *Управление риском*. Москва: Наука.
- [17] Вујошевић, М. (1996). Примена теорије поузданости у анализи ризика. Зборник радова: *Технички системи и средства заштите од пожара, експлозија, хаварија и провала*. Београд: Дунав превинг.
- [18] Вукићевић, С., Видовић, М. (1995). Могућности оптимизације улагања у превентиву и интерес осигуравајућих компанија за та улагања. *Превентивно инжењерство*, III (1), 5–14.
- [19] Вучковић, Љ. (1994). Оптимизација метода за оцену опасности од електричне енергије као узрочника пожара и експлозија. *Докторска дисертација*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу.
- [20] Глишовић, С. (2006). Управљање квалитетом животне средине реинжењерингом индустријских производа и процеса конструисања. *Докторска дисертација*. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду.
- [21] Glisovic, S. (2000). Software Support to Environmentally Friendly Product Design: Classification and Feasibility Study. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Enviromental Protection*, 1 (5), 31-38.
- [22] Glisovic, S., & Zikic, V. (2007). *Dissemination of LCA Approaches in Transition Countries of South-East Europe*, Proceedings from: *3rd International Conference on Life Cycle Management*, (27 – 29 August, 2007). Zurich, Switzerland: University of Zurich at Irchel, pp. 102.
- [23] Goedkoop, M. (1994). *Manual of SimaPro 3.1*. Pré Consultants. The Netherlands: Amersfoort.

- [24] Goedkoop, M. (1995). *The Eco-indicator 95*. Pré Consultants. The Netherlands: Amersfoort.
- [25] Граховац, Д., Петковић, Д. (2000). План процене и смањења ризика као подршка унапређењу система квалитета. *Квалитет*, 7–8. Београд: Пословна политика АД.
- [26] **Гроздановић, М.** (1999). *Ергономско пројектовање делатности човека–оператора*. Ниш: Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу.
- [27] **Гроздановић, М.** (2003a). *Ергономско пројектовање центара за контролу и управљање аутоматизованим системима*. Монографија. Ниш: Универзитет у Нишу.
- [28] **Гроздановић, М.** (2003b). Информациони системи управљања ризиком у радној и животној средини. *Економика*, XLIX (5-6), 33-54.
- [29] **Гроздановић, М.**, Живковић, Н., Маленовић, Ј. (2000). Модел контроле и унапређивање квалитета животне средине посредством стандарда ISO14000. Зборник радова: *Electra I – JUS ISO 14000*. Аранђеловац: Forum квалитета.
- [30] **Grozdanovic, M.** (2001). Human Factors and Preventive Engineering. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 2 (1), 39-50.
- [31] **Grozdanovic, M.** (2005a). Usage of Human Reliability Quantification Methods. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 11 (2), 153-159.
- [32] **Grozdanovic, M.** (2005b). Human Factors and Biomechanics. *Journal of the Technical University of Gabrovo*, 31, 3-9.
- [33] **Grozdanović M., & Mladenović, I.** (2004). The Influence of Automatic Control Technologies on Human Errors in the Centres for Control and Management of Automated Systems. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 2 (4), 267–275.
- [34] **Grozdanovic, M., & Savic, S.** (2001). Assessment of Human Error Probabillity using Success Likelihood Index Method. Proceedings from: *The 5th International Conference on Reliability, Maitaiability and Safety*. Dalian, China.
- [35] **Grozdanovic, M., & Stojiljkovic, E.** (2005a). Cognition, Education and Training. Proceedings from HCI 2005: *The International Conference on Human Computer Interaction* (22-27 July, 2005). Las Vegas, Nevada, USA, pp. on CD.

- [36] **Grozdanovic, M., & Stojiljkovic, E.** (2005b). Framework for Synergetic Engineering and Design. Proceedings from CAES'2005: *International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety* (25-28 May, 2005). Košice, Slovak Republic: Technical University of Košice, pp. on CD.
- [37] **Grozdanovic, M., & Stojiljkovic, E.** (2005c). Integrated Management System for the Health, Safety and Environment. Proceedings from HWWE 2005: *International Ergonomics Conference Humanizing Work and Work Environment* (10-12 Decembar, 2005). Guwahati, India: Indian Institute of Technology. pp. on CD.
- [38] **Grozdanovic, M., & Stojiljkovic, E.** (2006). Framework for Human Error Quantification. In N. Božilović (Eds.), *Facta Universitatis, Series: Philosophy, Sociology and Psychology*, 5 (1), 131–144.
- [39] **Grozdanovic, M., Stojiljkovic, E., & Josimovic, LJ.** (2013). The Automated Technological Systems and Human Factor. *Metallurgia International*, XVIII (Special Issue No 4), 316–321.
- [40] **Гроздановић, М., Стојиљковић, Е., Крстић, И.** (2012). Методолошки приступи за управљање ризиком од удеса. Зборник радова са конференције МКСМ2012: 8. Мајска конференција о стратегијском менаџменту. (25-27.05.2012). Бор: Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, Одсек за менаџмент, стр. 319–326.
- [41] **Grozdanović, M., Stojiljković, E., & Krstić, I.** (2012). Synergetic Methodological Framework for Risk Assessment of Accident. Proceedings from ICDQM-2012: *The 3rd International Conference Life Cycle Engineering and Management* (28-29 June, 2012). Čačak, Serbia: Research Center of Dependability and Quality Management, pp.193-203.
- [42] **Grozdanovic, M., & Vuckovic, LJ.** (2002). Review of Human Reliability Quantification Methods. Proceedings from: *Dependability and Quality Management*. Belgrade, Serbia.
- [43] Dorner, D. (1987). On the Difficulties People have in Dealing with Complexity. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New Technology and Human Error*. Chichester: John Wiley & Sons.
- [44] Eijk, van J., Nieuwenhuis, J. W., Post, C. W., & Zeeuw, de J. H. (1992). *Re-usable Versus Disposable?* Dutch Ministry of Housing, Infrastructure and Environment, Production Belied nr. 1992/11. The Netherlands: Zoetermeer.

- [45] Embrey, D. E. (1986). SHERPA: A Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach. Proceedings from: *The International Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems*. Knoxville, Tennessee.
- [46] EPA, Solders in Electronics. (2005). *A Life-Cycle Assessment Summary*. US Environmental Protection Agency.
- [47] Живковић, Н. (2007). Етапе развоја методологије за управљање ризиком од опасних материја у Србији. *Ревизија рада*, 31, 8 – 30.
- [48] Зељковић, В. (2000). *Поузданост у пракси*. Београд: Лола Институт.
- [49] Ивановић, Г. (1991). Анализа стабла отказа, основи и примена у пројектовању моторног возила. *Техника*, 5-6, 23 – 28.
- [50] Ивановић, Г., Станивуковић, Д., Бекер, И. (2010). *Поузданост техничких система*. Нови Сад: Факултет техничких наука; Београд: Машински факултет, Војна академија.
- [51] Јанковић, А., и други (2009). *Безбедност и здравље на раду, Књига 1*. Крагујевац-Нови Сад: Машински факултет у Крагујевцу.
- [52] Jankovic, Z., & Glisovic, S. (1998). Environmentally Friendly Industrial Products – Recycling Considerations. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Enviromental Protection*, 1(3), 1–7.
- [53] Johnson, W, G. (1980). *MORT Safety Assurance System*. Chicago: National Safety Council.
- [54] Kirwan, B. (1994). *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: Taylor & Francis.
- [55] Kirwan, B. (1995). Human Reliability Assessment. In John R. Wilson, & E. Nigel Carlet (Eds.), *Evaluation of Human Work*. London: Taylor & Francis.
- [56] Klatz, T. A. (1983). *HAZOP and HAZAN - Notes on the Identification and Assessment of Hazards*. Rugby, England: The Institution of Chemical Engineers.
- [57] Kletz, T. (1986). *Hazop & Hazan - Notes on the Identification and Assessment of Hazards (2nd ed.)*. Regby, UK: The Institution of Chemical Engineers.
- [58] Ковалев, Е. Е., Иванов, В. И., Пахамов, Б. Я., Иванова, А. Н. (1979). *Новая техника и проблемы безопасности человека*. Москва: Вопр. Философ.

- [59] Костић, С. (1999). Улога логистике у реализацији циљева савременог концепта квалитета. Зборник радова са 2. DQM конференције: *Управљање одржавањем*. Чачак: Етитех, стр. 50-63.
- [60] Крстић, И., **Стојиљковић, Е.**, Кусало, А., Лазаревић, В. (2012). Интегрисани систем менаџмента заштите радне и животне средине. Зборник радова са конференције МКСМ2012: 8. *Мајска конференција о стратегијском менаџменту*. (25-27.05.2012). Бор: Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, Одсек за менаџмент, стр. 653-660.
- [61] Крстић, И., **Стојиљковић, Е.**, Кусало, А., Стојиљковић, П. (2011). Интегрисани систем заштите као основ анализе ризика технолошких система. Зборника радова са националне конференције са међународним учешћем: *Заштита на раду у 21. веку – теорија и пракса*. (04-08.10.2011). Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за инжењерство заштите животне средине и заштите на раду, стр. 111-116.
- [62] Луковић, С. (2000). *Приручник за процену професионалних ризика*. Београд: Заштита.
- [63] Majer, I., Oravec, M., Sinay, J., & Sloboda, A. (1998). Methods of the Risk Evaluation. Zbornik radova sa III Međunarodne konference: *Globalna varnost – Global Safety*. Bled, Slovenia.
- [64] Марковић, Д., Цармати, Ш., Гржетић, И., Веселиновић, Д. (1996). *Физичкохемијски основи заштите животне средине – извори загађивања, последице и заштита (књига II)*. Београд: Универзитет у Београду.
- [65] Матрјуков, Б. С. (2004). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях*. Москва: Академия.
- [66] Меньшиков, Б. Б., Швыряев, А. А. (2003). *Опасные химические объекты и техногенный риск*. Москва: Государственный Университет имени М.В. Ломоносова.
- [67] Меньшиков, В. Б. (2003). Идентификација професионалног ризика. Зборник радова са националне конференције са међународним учешћем: *Оцена професионалног ризика-теорија и пракса*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, стр. 9-12.
- [68] Милованов, Б., Пећанац, Р. (2005). Интегрисање система заштите здравља и сигурности на раду у систему менаџмента организације. Зборник радова са националне конференције са међународним

- учешћем: *Оцена професионалног ризика-теорија и пракса*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, стр. 78-86.
- [69] Митић, Д. и др. (2005). *Процена опасности (ризика) од хемијског удеса и од загађивања животне средине мерама припреме и мерама за отклањање последица у фабрици „Messer Tehnogas“ А.Д. „Фабрика Ниш“*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу.
- [70] Morse, G., Lester, J., & Perry R. (1994). *The Environmental and Economic Impact of Key Detergent Builder Systems in the European Union*. London: Selper Publications.
- [71] McClellan, R. O. (1994). A Commentary on the NRC Report „Science and Judgment in Risk Assessment“. *Regul Toxicol Pharmacol*, 20, S142-68.
- [72] Николић, В. (2007). Образовање као елемент управљања ванредним ситуацијама. *Ревизија рада*, 321/2007, 8 – 30.
- [73] Николић, В., Живковић, Н. (2010). *Безбедност радне и животне средине, ванредне ситуације и образовање*. Монографија. Ниш: Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу.
- [74] Николић, В., Савић, С. (2003). Образовање за безбедан рад и управљање професионалним ризиком. Зборник радова: *Ризик пожара, експлозије, хаварије и поплаве у осигурању и организација система заштите*. Београд: Дунав Превинг а.д., стр. 95-101.
- [75] Nikolic, V., Savic, S., & Stankovic, M. (2007). Designing a Multimedia Platform for Emergency Management. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 18 (2), 198–210.
- [76] Папић, Љ., Холовац, С. (1994). *Анализа врста, последица и критичности отказа (АВПКО), теоријски и практични аспекти. Методе анализе отказа система, Књига 1 (Ед.)*. Чачак: Истраживачки центар за поузданост и управљање квалитетом у техници.
- [77] Pačaiova, H. (2005). Failure Analysis as a Tool for Safety Improvement. Proceedings from CAES'2005: *International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety*. Košice, Slovak Republic: Technical University of Košice, pp. 61-64.
- [78] Pačaiova, H., & Sinay, J. (2003). *Analyza rizik – nastroj per vol'bu efektivnej strategie udržby*. Praha, ČR: UDRŽBA.
- [79] Poels, C. M. (1999). Occupational Safety and Health Management in an Organization with Worldwide Operations. Proceedings from European Workshop (Symposium Tb 100): *Occupational Health and Safety*

- Management Systems*. Dortmund/Berlin, Germany: Publications Series from the Federal Institute for Occupational Safety and Health.
- [80] Power, M., & McCarty, L. (1998). A Comparative Analysis of Environmental Risk Assessment/Risk Management Frameworks. *Environ Sci Technol*, 32, 224A-231A.
 - [81] Радосављевић, С., Радосављевић, М. (2010). FMECA метода у рударству и енергетици, процесни приступ. *Техничка дијагностика*, 3, 17–28.
 - [82] Rasche, T. (2001). *Risk Analysis Methods-a Brief Review*. Australia: The University of Queensland, Minerals Industry Safety and Health Centre.
 - [83] Рахметова, (2008). *Понятие и правовая сущность экологического риска*. Казахстан: Казахстанский институт юриспруденции и Казахстанский гуманитарно-юридический университет.
 - [84] Reason, J. (1990a). *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.
 - [85] Reason, J. (1990b). The Age of Organizational Accident. Proceedings from: *Nuclear Engineering International* (July 1990), pp. 18–19.
 - [86] Reason, J. T. (1987). Generic Error Modeling System: A Cognitive Framework for Locating Common Human Error Forms. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat, (Eds.), *New Technology and Human Error* (pp. 63-83). Chichester: John Wiley & Sons.
 - [87] Reason, J. T. (1997). Framework Models of Human Performance and Error: A Consumer Guide. In L. P. Goodstein, H. B. Andersen & S. E. Olsen (Eds.): *Tasks, Errors and Mental Models*. London: Teylor & Francis.
 - [88] Reason, J. T., & Embrey, D. E. (1986). *Human Factors Principles Relevant to the Modeling of Human Errors in Abnormal Conditions of Nuclear and Major Hazardous Instalations*. Report for the European Atomic Energy Community, Technical Report ECI-1164-B72221-84-UK, for the European Atomic Energy Community. Lanes, England: Human Reliability Associates-Ltd Parbold.
 - [89] Sage, A. (1995). *Systems Engineering for Risk Management. Computer Supported Risk Management*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 3-31.
 - [90] Савић, С. (1992). Анализа грешака управљања и њихов утицај на поузданост система „човек-машина“. *Докторска дисертација*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу.

- [91] Савић, С., Анђелковић, Б., Станковић, М., Борота, П. (2002). Специфичности система управљања ризиком. Зборник радова са I стручног саветовања: *Инжењерски ризик и хазард у урбаном систему Београда*. Београд: Скупштина града Београда, стр. 227-234.
- [92] Савић, С., Вујовић, Р., Станковић, М. (2003). Квалитет и ризици система радне средине. Зборник радова са националне конференције са међународним учешћем: *Оцена професионалног ризика-теорија и пракса*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, стр. 43-50.
- [93] Савић, С., Станковић, М. (2012). *Теорија система и ризика*. Београд: Академска мисао.
- [94] Савић, С., Станковић, М., Анђелковић, Б. (2005). Превентивно инжењерство-системско инжењерство ризика. *Истраживања и пројектовања за привреду*, III (9/2005), 17-28. Београд: Институт за истраживања и пројектовања у привреди.
- [95] Seaver, D. A., & Stillwell, W. G. (1983). Procedures for Using Expert Judgement to Estimate Human Error Probabilities in Nuclear Power Plant Operations. *NUREG/CR-2743*. Washington DC: USNRC.
- [96] Sinay, J., & Pačaiova, H. (2003). Maintenance-One of the Possible Tools of Prevention of Major Industrial Accidence. Proceedings from International conference: *National maintenance forum*. Slovakia: Vysoke tatry SSU, pp.124-129.
- [97] Shannon, H., & Manning, D. (1980). The Use of a Model to Record and Store Data on Industrial Accidents Resulting in Injury. *Journal of Occupational Accidents*, 3, 57-65.
- [98] Spurgin, A. J., Lydell, B. D., Hannaman, G. W., & Lukic, Y. (1987). Human Reliability Assessment, a Systematic Approach. Proceedings from: *Reliability 87*. Birmingham: NEC.
- [99] Стамболић, М. (2005). *Сигурносни инструментални системи у процесној индустрији*. Београд: Грађевинска књига.
- [100] Станковић, Б., Станојевић, Ј., Берберовић, Д. (1996). *Управљање ризиком од хемијског удеса (кроз прописе РС)*. Ниш: Институт за квалитет радне и животне средине „1. Мај“.
- [101] Станковић, М., Савић, С., Рашић, Б. (2006). О стратешким и оперативним плановима за управљање ванредним ситуацијама. Зборник радова SYMOPIS'06: *Симпозијум о операционим истраживањима*, (CD-издање). Београд: Факултет организационих наука.

- [102] Stephans, A. R. (2004). *System Safety for 21st Century*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.
- [103] Стоиљковић, В., Стоиљковић, П., Стоиљковић, Б., Обрадовић, М. (2006). *Интегрисани системи менаџмента*. Ниш: Машински факултет у Нишу, CIM College д.о.о.
- [104] **Стојиљковић, Е.** (2007). Методолошки оквир за процену вероватноће удеса. *Магистарска теза*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу.
- [105] **Стојиљковић, Е.** (2011). Методолошки оквир за процену људске грешке. *Докторска дисертација*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу.
- [106] **Stojiljkovic, E., & Grozdanovic, M.** (2005). Review of Methods for Hazard Assessment. Proceedings from HWWE 2005: *International Ergonomics Conference Humanizing Work and Work Environment* (10-12 Decembar, 2005). Guwahati, India: Indian Institute of Technology, pp. on CD.
- [107] **Stojiljkovic, E., Grozdanovic, M., & Glisovic, S.** (2011). Methodological Framework for Assessment of Overall Hazard of an Accident - a Serbian Experience. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 70 (03), 204-209.
- [108] **Stojiljkovic, E., Grozdanovic, M., & Stojiljkovic, P.** (2012). Human Error Assessment in Electric Power Company of Serbia. *Work*, 41 (1/2012), S3207–3212.
- [109] **Stojiljkovic, E., Grozdanovic, M., & Cenic, S.** (2011). Edukacija operaterjev za reagiranje v stresnih pogojih. *Didactica Slovenica – Pedagoška obzorja*, Letnik 26 (1–2), 157–168.
- [110] STOWA (1996). *The cleaning of municipal waste water in the context of sustainable development for pollution control*. Hageman Verpakkers B.V. The Netherlands: Zoetermeer.
- [111] Swain, A.D., & Guttman, H.E. (1983) A Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. *NUREG /CR-1278*. Washington DC-20555: USNRC.
- [112] Тотх, И. (2007). Управљање у катастрофама свака заједница мора посветити посебну пажњу. У: И. Тотх, З. Жидовец (ур.), *Како се штитимо од катастрофа*. Загреб: Хрватски Црвени крж, Државна управа за заштиту и спасавање, Велеучилиште Велика Горица с правом јавности.

- [113] Farmer, E., & Chambers, E. G. (1926). A Psychological Study of Individual Differences in Accident Rate. *Industrial Health Research Board*, Report No.30. London: HMSO.
- [114] Филиповић, Д. (2000). Геопросторно моделовање ризика у животној средини. *Докторска дисертација*. Београд: Географски факултет.
- [115] Fischer, M., Schuller, O., Albrecht, S., & Faltenbacher, M. (2008). Exergy-Efficiency as Enhancement of Energy-Efficiency – an LCA Perspective. Proceedings from: *Life Cycle Assessment VIII*. Seattle: ACLCA.
- [116] Frangopoulos, C., & Spakowski, M. (1993). A Global Environomic Approach for Energy Systems Analysis and Optimization, Part 1. Proceedings from: *ENSEC'93*. Cracow, Poland.
- [117] Hale, A. R., & Glendon, I. (1987). *Individual Behaviour in the Control of Danger*. Oxford: Elsevier.
- [118] Harms-Ringdahl, L. (1986). Experiences from Safety Analysis of Automatic Equipment. *Journal of Occupational Accidents*, 8, 139–146.
- [119] Harms-Ringdahl, L. (1987). Safety Analysis in Design – Evaluation of a Case Study. *Accident Analysis and Prevention*, 19, 305–317.
- [120] Harms-Ringdahl, L. (2000). Assessment of Safety Function at an Industrial Workplace – a Case Study. In: Cottam, M.P., Harvey, D.W., Pape, R.P., & Tait, J. (Eds): *Foresight and Precaution, ESREL2000* (1373–1378). Balkema, Edinburgh.
- [121] Harms-Ringdahl, L. (2001). *Safety Analysis-Principles and Practice in Occupational Safety*. New York: Taylor & Francis Inc.
- [122] Heinrich, H. W. (1931). *Industrial Accident Prevention*. New York: McGraw-Hill.
- [123] Хелета, М. (2004). *TQM – Модел изврсности – интегрисани менаџмент системи и модел изврсности*. Београд: EDUCТА.
- [124] Hignett, K. C. (1996). *Practical Safety and Reliability Assessment*. London, UK: E&FN Spon.
- [125] Ходолич, Ј., Бадида, М., Мајерник, М., Шебо, Д. (2005). *Машинство у инжењерству заштите животне средине*. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
- [126] Hollnagel, E. (1999). *Accident Analysis and Barrier Functions*. Kjeller, Norway: Institute for Energy Technology.

- [127] Comer, M. K., Seaver, D. A., Stillwell, W. G., & Gaddy, C. D. (1984). Generating Human Reliability Estimates Using Expert Judgement (*Vol 1 and 2, NUREG/CR-3688, (SAND 84-7115)*). Washington, DC: Sandia National Laboratory, Albuquerque, New Mexico, 87185 for Office of Nuclear Regulatory Research, US Nuclear Laboratory Commission.
- [128] Cornelissen, R. L. (1997). Thermodynamics and Sustainable Development: The Use of Exergy Analysis and the Reduction of Irreversibility. *PhD Thesis*. Netherlands: University of Twente, Enscheda.
- [129] Цхадая, Н. Д., Подосенова, Н. С. (2008). *Управление безопасностью труда*. Москва: ЦентрЛитНефтеГаз.
- [130] Wall, G. (2000). *Conditions and Tools in the Design of Energy Conversion and Management Systems of a Sustainable Society*. Sweden: Exergy Consultant, Solhemsgatan 46, SE-431 44 Mölndal.
- [131] Wall, G. (2010). *Exergy and Sustainable Development*. Mölndal, Sweden: International Exergy Institute.
- [132] Waugh, W. (2000). *Living with Hazards, Dealing with Disasters: an Introduction to Emergency Management*. Armonk NY: M. E. Sharpe.
- [133] Willams, J. C. (1986). HEART - a Proposed Method for Assessing and Reducing Human Error. Proceeding from: *The 9th Advances in Reliability Technology Symposium*. West Yorkshire, UK: University of Bradford.
- [134] Woods, D. D., Roth, G., & Pople, H. (1987). An Artificial Intelligence Based Cognitive Model for Human Performance Assessment. *NUREG /CR-4852*. Washington, DC: USNRC.
- [135] Whalley, S. P. (1988). Minimising the Cause of Human Error. In G. P. Libberton (Eds.), Proceedings from: *The 10th Advances in Reliability Technology Symposium*, Libberton London: Elsevier.

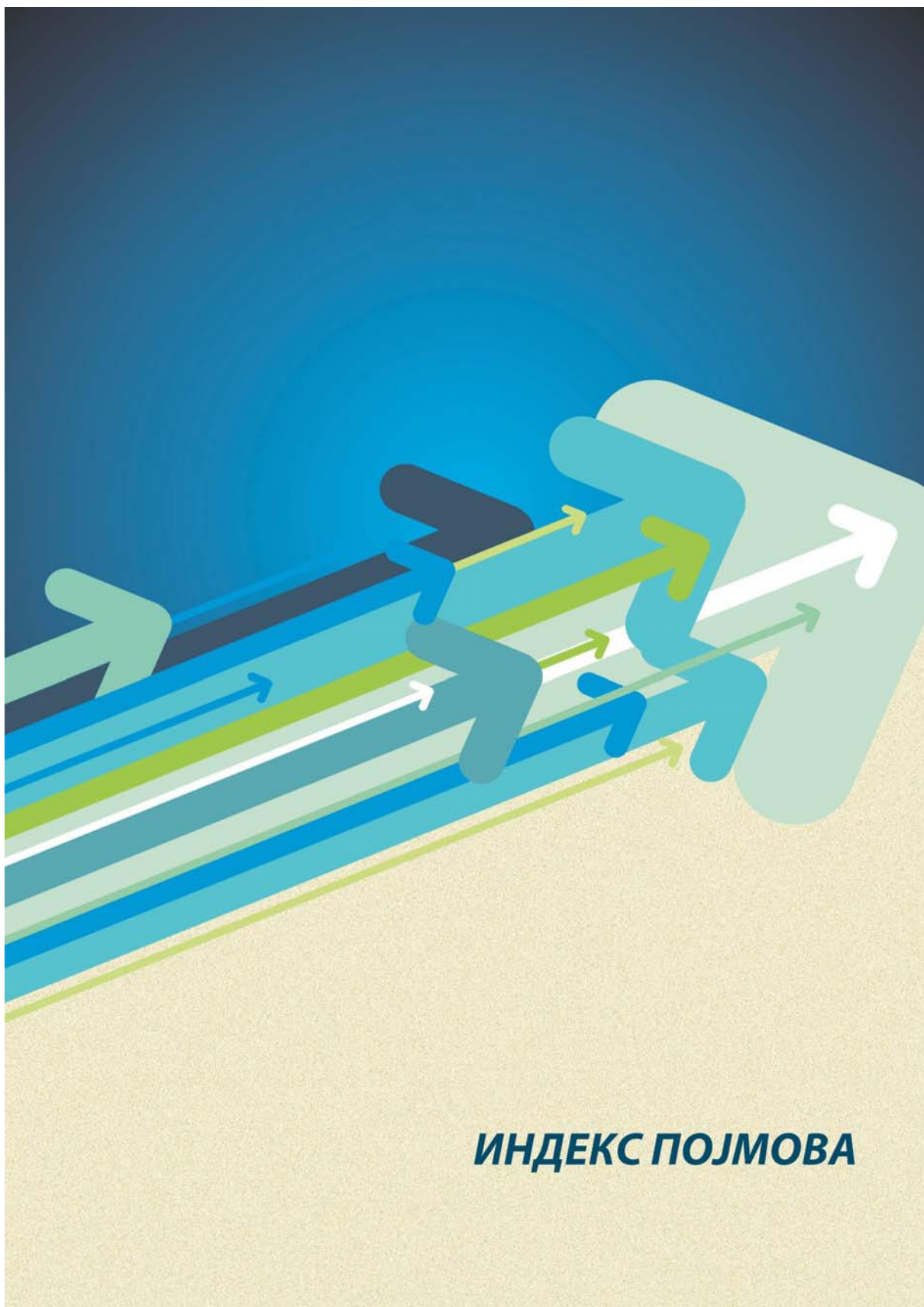
Б. Стандарди, директиве, закони, правилници и интернет адресе

- [1] AN/NZS 4360:2004. (2004). *Australia/New Zealand Standard for Risk Management*. Retrieved from http://www.ucop.edu/riskmgt/erm/documents/as_stdnds4360_2004.pdf.
- [2] BS IEC 61882:2001. *Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) – Application Guide*. Retrieved from <http://www.scribd.com/doc/23637115/BS-IEC-61882-2001-HAZOP-guide>.
- [3] BS PAS 99:2012. *Publicly Available Specification*. Retrieved from <http://andrewtmarlow.files.wordpress.com/2012/04/pas-99-second-draft-1-7.pdf>.

-
- [4] BS8800:1996. *Guide to Occupational Health and Safety Management Systems*. London: British Standards Institution.
- [5] ГОСТ-22.0.02-94. (2000). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий* (утв. постановлением Госстандарта РФ от 22 декабря 1994 г. N 327) (с изменениями от 31 мая 2000 г.).
- [6] Great Britain Health & Safety Law. (1992). *Management of Health & Safety at Work Regulations*. Retrieved from <http://www.legislation.gov.uk/si/1992/2051/contents/made>.
- [7] Ericson, A. C. (1999). *Fault Tree Analysis*. Retrieved from <http://www.fault-tree.net>.
- [8] *Закон о ванредним ситуацијама*, „Сл. гласник РС“, бр. 111/09, 92/11.
- [9] *Закон о заштити животне средине Републике Србије*, „Сл. гласник РС“, бр. 135/2004, 36/2009.
- [10] *Закон о пензијском и инвалидском осигурању*, „Службени гласник РС“, бр. 34/03, 64/04, 84/04, 85/05, 101/05, 63/06, 5/09, 107/09 и 101/10.
- [11] IEC 1508:1998. *Functional Safety: Safety Related Systems*. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- [12] IEC 61511:2003. *Guidelines in the Application of IEC 61511*. Retrieved from http://www.4shared.com/office/ZK7sb1Y4/IEC_61511_Part2_Guidelines_in.html.
- [13] International Labour Organization (ILO). (2001). *Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems (ILO-OSH 2001)*. Geneva, Switzerland: International Labour Office, SafeWork-ILO InFocus Programme on Safety and Health at Work and the Environment. Retrieved from <http://www.ilo.org/public/english/region/afpro/cairo/downloads/wcms107727.pdf>.
- [14] ISO 14001:2004 (SRPS ISO 14001:2007). *Системи управљања заштитом животне средине – Захтеви са упутством за коришћење*.
- [15] ISO 19011:2002. *Смернице за проверавање система менаџмента квалитетом и система менаџмента заштитом животне средине*.
- [16] ISO 22004 (SRPS ISO 22004:2006). *Системи менаџмента безбедношћу хране – Упутство за примену ISO 22000:2005*.
- [17] ISO 26000:2010 (SRPS ISO 26000:2011). – *Системи менаџмента друштвене одговорности корпорације – Упутство о друштвеној одговорности*.

- [18] ISO 31000:2009. *Risk Management – Principles and Guidelines on Implementation*. Retrieved from [http://www.npcse.co.th/pdf/iso31000/ISO FDIS 31000 \(E\).pdf](http://www.npcse.co.th/pdf/iso31000/ISO%20FDIS%2031000%20(E).pdf).
- [19] ISO 31010:2009. *Risk Management – Risk Assessment Techniques*. Retrieved from http://www.previ.be/pdf/31010_FDIS.pdf.
- [20] ISO 9000:1987. *Quality Management and Quality Assurance Standards – Guidelines for selection and use (ISO 9000)*. Geneva: International Organization for Standardization.
- [21] ISO 9000:2008 (SRPS ISO 9000:2008). *Системи менаџмента квалитетом*.
- [22] ISO, 1990. *Guidelines for Auditing Quality System – Part 1: Auditing (10 011)*. Geneva: International Organization for Standardization.
- [23] ISO, 1996. *Environmental Management System – Specification with the Guidance for Use (ISO 14001)*. Geneva: International Organization for Standardization.
- [24] ISO GUIDE 73:2009. *Risk Management – Vocabulary*. Retrieved from <http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>.
- [25] ISO/IEC 27001:2013. *Information Technology – Security Techniques – Information Security Management Systems – Requirements*. Retrieved from <http://www.iso27001security.com/html/27001.html>
- [26] Krug, E. (1999). *Injury: A Leading Cause of the Global Burden of Disease*. Geneva: A WHO Monograph. Retrieved from http://www.who.int/violence_injury_prevention/index.html.
- [27] Minerals Industry Safety and Health Centre (MISHC). (2003). *National Minerals Industry Safety and Health Risk Assessment Guideline*. Version 2, July 2003, Internet edition.
- [28] Minerals Industry Safety and Health Centre (MISHC). (2004). *National Minerals Industry Safety and Health Risk Assessment Guideline*. Version 3, March 2004, Internet edition, pp 73–117.
- [29] OHSAS 18001:2005 (OHSAS 18001:2006). *Системи управљања заштитом здравља и безбедношћу на раду – Захтеви*.
- [30] OHSAS 18002:2005 (OHSAS 18002:2006). *Системи управљања заштитом здравља и безбедношћу на раду – Упутство за примену OHSAS 18001*.
- [31] *Правилник о садржини политике превенције удеса и садржини и методологији израде извештаја о безбедности и плана заштите од удеса „Сл. гласник РС“, бр. 41/2010.*

-
- [32] Rausand, M. (2005). *Systems Analysis – Event Tree Analysis. System Reliability Theory (2ed Ed.)*. Norway: Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology. Retrieved from <http://www.ntnu.no/ross/slides/eta.pdf>.
- [33] Systems Engineering Fundamentals (SEF). (2001). *Risk Management - Chapter 15*. Supplementary Text Prepared by the Defense Acquisition University Press Fort Belvoir, Virginia. Retrieved from <http://www.dau.mil/pubs/pdf/SEFGuide>.
- [34] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2007). *Emergency Management Guide for Business & Industry*. Retrieved from www.fema.gov/business/guide/index.html.
- [35] HACCP/ISO 22000:2005 (SRPS ISO 22000:2006). *Системи менаџмента безбедношћу хране – Захтеви за сваку организацију у ланцу исхране*.
- [36] Hirs, G. G. (2003). Thermodynamics Applied. Where? Why? *Energy*, 28 (2003), 1303-1313. Retrieved from <http://www.gerardhirs.nl/images//gghirs-thermo-2000-2a.pdf>.
- [37] Ходолич, Ј., Будак, И., Илић, М., Милановић, Б., Миланковић, Д. (2011). *Оцењивање животног циклуса производа и процеса*. Преузето са <http://www.docstoc.com/docs/103985906/Slide-1---Univerzitet-u-Novom-Sadu>.
- [38] CAN/CSA-Q850-97. (1997). *Risk Management: Guideline for Decision-Makers*. Etobicoke (Toronto), Canada: Canadian Standards Association.
- [39] Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2002). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures: With Worked Examples (3rd Edition)*. New York, USA: American Institute of Chemical Engineers, Inc.
- [40] Clemens, L. P. (1993). *Fault Tree Analysis (4th Edition)*. Retrieved from <http://www.fault-tree.net/papers/clemens-fta-tutorial.pdf>.
- [41] Council Directive 96/82/EC. (1996). *Control of Major Accident Hazards Involving Dangerous Substances*. Council of the European Union.
- [42] Cornelissen, R. L., Van Nimwegen, P.A., & Hirs, G. G. (2000). *Exergetic Life-Cycle Analysis*. Retrieved from <http://www.gerardhirs.nl/images//gghirs-thermo-2000-2a.pdf>.



ИНДЕКС ПОЛМОВА

ИНДЕКС ПОЈМОВА

А

акцидент,	104, 135, 138, 139, 141, 146, 152, 174, 175, 176, 183, 190, 191, 192, 212, 214, 299
анализа	
безбедности рада,	169
енергије,	8, 83
животног циклуса,	8, 226, 233, 240, 241, 283, 301
начина и ефеката отказа,	101, 103, 104
одступања,	8, 169, 174
опасности и операбилности,	8, 58, 59, 68, 83, 155
промена,	8, 169, 181, 183
ризика,	43, 47, 280
стабла догађаја,	58, 69, 83, 141
стабла отказа,	8, 58, 69, 83, 120, 127, 131
функције безбедности,	8, 169, 174
анергија,	236
аудит,	8, 195, 201, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212

Б

безбедност,	4, 6, 23, 29, 30, 62, 63, 99, 103, 142, 152, 165, 170, 172, 173, 175, 178, 181, 183, 185, 195, 196, 197, 203, 205, 213, 274, 280, 282, 295
-------------	--

В

ванредна ситуација,	18, 19
вероватноћа,	6, 7, 14, 15, 30, 36, 69, 74, 77, 79, 99, 108, 111, 126, 131, 135, 140, 147, 159, 165, 173, 185, 186, 266, 273, 274, 299
вредновање ризика,	38, 47, 51, 56, 69, 295

Г	
график ризика,	142
Д	
документовање ризика,	38, 48, 49, 51
Е	
ексергија,	236, 237, 238, 239, 240, 242, 288
ексергијски биланс,	236
енергија,	83, 85, 86, 87, 88, 186, 235, 236, 238, 239, 284
енергијски биланс,	235, 236
З	
заштитни слојеви,	138, 139, 141, 146
И	
идентификација	
опасности,	73, 186, 204, 280, 296
ризика	5, 67
иницијални догађај,	22, 135, 141, 147, 298
интегрисани систем менаџмента	196, 198, 312
К	
комуникација и консултовање,	44, 49, 51, 80
Љ	
људска грешка,	155, 174
М	
матрица ризика,	71, 142
метода процене и редукције људске грешке,	160
методе	
за анализу акцидентата,	8, 59, 169
за анализу еколошких ризика,	8
за процену људске поузданости,	299

за процену ризика техничких система,	8, 59, 83
квалитативне,	7, 58
квантитативне,	7, 58
комбиноване,	7, 58
минимални скуп пресека,	120, 122
минимални скуп стаза,	120
мониторинг ризика,	48, 68

Н

несрећа,	4, 19, 29, 30, 31, 57, 156, 199
ниво ризика,	16, 62, 77, 79, 147, 151, 154, 266

О

одступање,	14, 97, 99, 174, 175, 176, 180, 212
опасност,	14, 15, 24, 25, 32, 102, 143, 146, 186, 191, 256, 257, 274, 275, 276, 297
отказ,	15, 101, 108, 109, 113, 115, 129, 130, 137, 140, 170, 174, 175, 273, 298

П

последице,	4, 5, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 28, 31, 38, 47, 58, 68, 74, 86, 87, 89, 90, 97, 99, 101, 108, 110, 135, 138, 140, 141, 143, 145, 147, 170, 178, 180, 191, 192, 214, 242, 266, 273, 274, 275, 280, 281, 296, 298, 301, 312
прихватљивост ризика,	71
пропуст менаџмента и стабло ризика,	8, 195, 212, 216
процена	
одступања,	180
ризика,	4, 5, 6, 7, 9, 40, 47, 49, 51, 57, 70, 84, 199, 204, 280

С

систем	
безбедности,	62, 64

МЕТОДЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА

заштите,	138, 205, 281, 300, 312
менаџмента заштитом животне средине,	197, 206
менаџмента здрављем и безбедношћу на раду,	197
менаџмента квалитетом,	197, 206

Т

третман ризика,	37, 38, 43, 48, 49, 51, 68, 79, 80, 100
-----------------	---

У

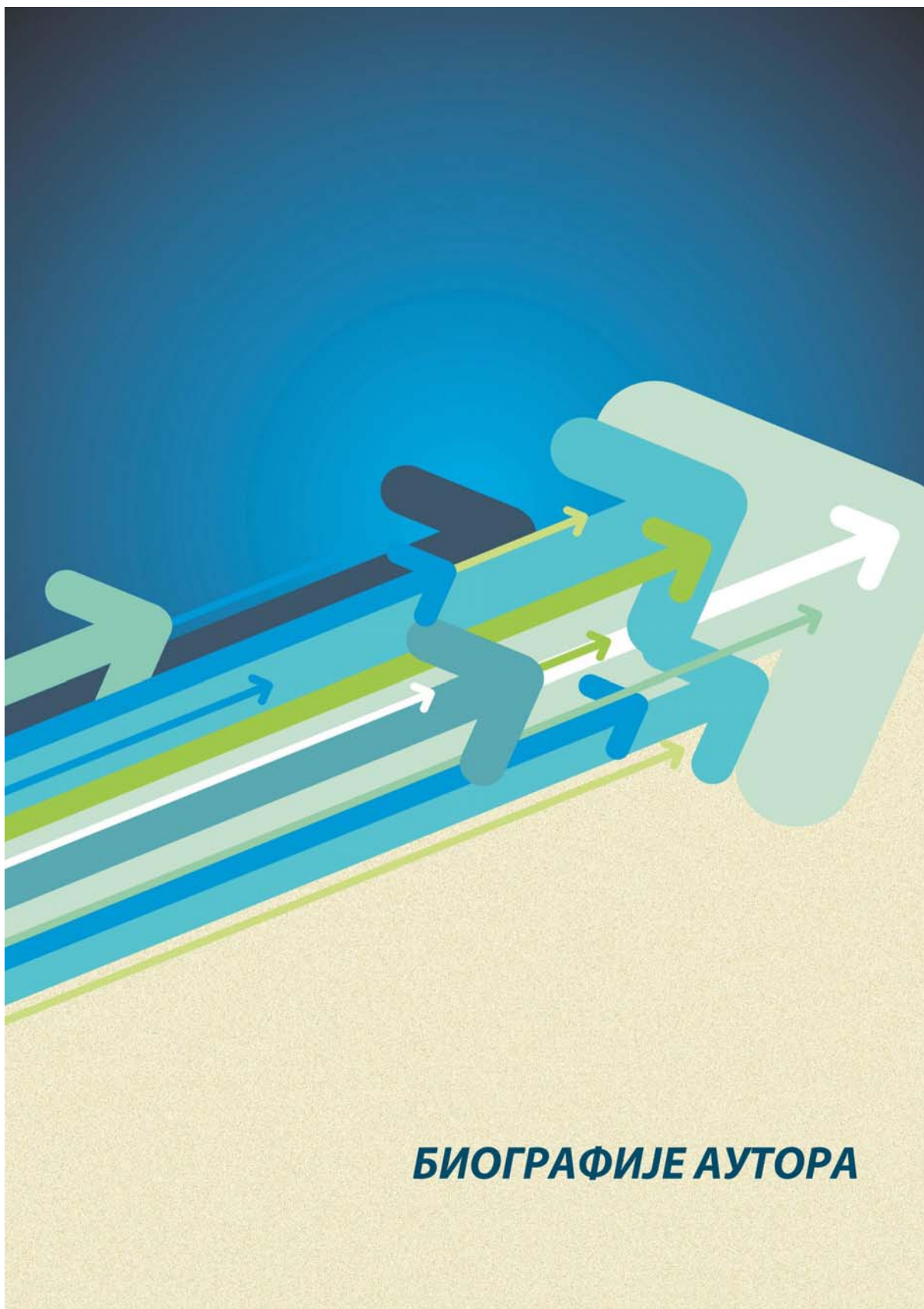
удес,	16, 19, 24, 26, 27, 28, 29, 274, 275, 276
управљање ризиком,	4, 5, 7, 28, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 55, 57, 79, 310, 311
утицајни догађај,	137

Ф

функција безбедности,	148, 169, 170, 172, 173
-----------------------	-------------------------

Х

хазард,	15, 315
---------	---------



БИОГРАФИЈЕ АУТОРА



Проф. др Мирољуб Д. Гроздановић рођен је 2.6.1947. године у Лесковцу. Дипломирао је на Електронском факултету у Нишу, магистрирао на Факултету заштите на раду у Нишу, а докторирао на Факултету за електротехнику и рачунарство у Љубљани.

Након завршеног факултета радио је на следећим радним местима: Електронска индустрија – Фабрика саставни делови, као развојни инжењер; *Iskra Commerce* – Љубљана, Филијала Ниш, као водећи инжењер за инвестиционе програме; ТП Електротехна Ниш – као помоћник генералног директора; *El Holding Corporacija* – као помоћник и заменик генералног директора. На Факултету заштите на

раду у Нишу је 1994, 1999. и 2003. године биран у звања доцента, ванредног и редовног професора.

Проф. др Мирољуб Гроздановић био је декан Факултета заштите на раду у Нишу, проректор за наставу и ректор Универзитета у Нишу, председник Већа катедре за системска истраживања безбедности и ризика и руководилац Центра за истраживања у Електропривреди и одрживи развој. Редован је члан Инжењерске академије Србије, председник Ергономског друштва Србије и члан Савета Интернационалне ергономске асоцијације. Руководио је и/или учествовао у 8 националних и 10 међународних пројеката. Аутор је две монографије, једног уџбеника, коаутор 12 књига под едицијом и монографија, преко 200 научних радова, од чега је више од половине публиковано и представљено у иностранству.



Доц. др Евица И. Стојиљковић рођена је 31.3.1976. године у Лесковцу. Дипломирала је, магистрирала и докторирала на Факултету заштите на раду у Нишу. Добитник је *Повеље Универзитета у Нишу* као најбољи дипломирани студент Факултета заштите на раду у Нишу у школској 2000/2001. години.

На Факултету заштите на раду у Нишу ради од 2001. године, најпре као сарадник последипломаца, а од 2003. као стручни сарадник по основу ангажовања Министарства за науку и заштиту животне средине. Године 2005. изабрана је у звање асистента-приправника, 2008.

у асистента, а 2011. у звање доцента за ужу научну област Безбедност и ризик система. Учествовала је у реализацији 5 пројеката финансираних од стране републичког министарства надлежног за науку и у изради више аката о процени ризика на радним местима и у радној околини. Аутор/коаутор је преко 60 научних радова из области заштите радне и животне средине објављених у међународним и домаћим часописима и зборницима конференција.

Доц. др Евица И. Стојиљковић заменик је председника Савета Факултета заштите на раду у Нишу, члан Ергономског друштва Србије, оснивач Центра за дистрибуцију развојних стратегија, члан Центра за истраживања у Електропривреди и одрживи развој, члан Комисије за обезбеђење квалитета и Комисије за самовредновање на Факултету заштите на раду у Нишу.

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

351.759.6
351.862.21
005.334

ГРОЗДАНОВИЋ, Мирољуб Д., 1947 –

Методe проценe ризика / Мирољуб Д.
Гроздановић, Евица И. Стојиљковић. – Ниш:
Факултет заштите на раду, 2013 (Ниш: Графика
Галеб). – XXIV, 331 стр.: илустр.; 24 cm

На врху насл. стр.: Универзитет у Нишу. –
Слике аутора. – Тираж 200. – Биографије
аутора: стр. 331. – Summary: Risk Assessment
Methods. – Библиографија: стр. 307 – 321. –
Регистар.

ISBN 978-86-6093-049-3

1. Стојиљковић, Евица И. [аутор], 1976 –

а) Управљање ванредним ситуацијама

б) Управљање ризиком

COBISS.SR-ID 199214348