

stran **54**

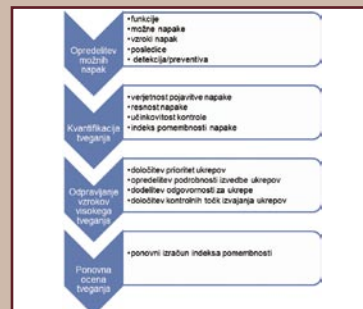
Manja Podpečan, dipl. org.

Matjaž Maletič, univ. dipl. org., dipl. inž. les.

izr. prof. dr. Boštjan Gomišček, univ. dipl. inž. el.

### **ANALIZA MOŽNIH NAPAK IN POSLEDIC (FMEA) KOT ORODJE MENEĐMENTA KAKOVOSTI V GRADBENIŠTVU**

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) AS A TOOL FOR  
QUALITY MANAGEMENT IN CONSTRUCTION



stran **61**

doc. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh., mitja.kosir@fgg.uni-lj.si

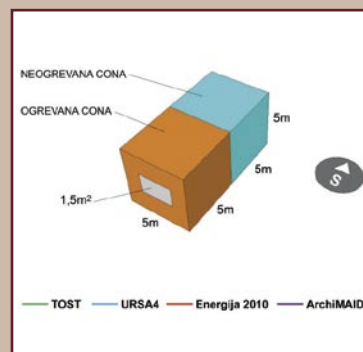
prof. dr. Aleš Krainer, univ. dipl. inž. arh.

Primož Šestan, dipl. inž. grad.

doc. dr. Živa Kristl, univ. dipl. inž. arh.

### **ŠTUDIJA DELOVANJA PROGRAMSKE OPREME ZA IZRAČUN PORABE ENERGIJE V STAVBAH**

STUDY OF COMPUTER SOFTWARE PERFORMANCE FOR  
CALCULATION OF ENERGY USE IN BUILDINGS



stran **72**

Rok Mlakar, univ. dipl. inž. grad.

Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.

### **DVIŽNI MOST ZA PEŠCE V GDANSKU (POLJSKA) PRVONAGRAJENA NATEČAJNA REŠITEV**

DRAW FOOTBRIDGE IN GDANSK (POLAND)  
WINNING COMPETITION DESIGN



## Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Porušena nadstrešnica v Adrii mobil, foto Breda Dušič Gornik, Dolenjski list

# ANALIZA MOŽNIH NAPAK IN POSLEDIC (FMEA) KOT ORODJE MENEDŽMENTA KAKOVOSTI V GRADBENIŠTVU

## FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) AS A TOOL FOR QUALITY MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

**Manja Podpečan, dipl. org.**

manja.podpecan@gmail.com

**Matjaž Maletič, univ. dipl. org., dipl. inž. les.**

matjaz.maletic@fov.uni-mb.si

**izr. prof. dr. Boštjan Gomišček, univ. dipl. inž. el.**

bostjan.gomiscek@fov.uni-mb.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede,

Laboratorij za management kakovosti

Kidričeva 55 a, Kranj, Slovenija

**Znanstveni članek**

UDK 658.56:624/628

**Povzetek** | Namen članka je predstaviti uporabo analize možnih napak in posledic (FMEA), ki je eno izmed osnovnih orodij menedžmenta kakovosti, pri gradbeni dejavnosti na primeru zbirnega bazena odpadnih voda. Če izgradnja poteka v zahtevnih geomehanskih pogojih, je še toliko pomembneje, da se vključi proaktivni pristop k preprečevanju možnih napak. Skladno z metodologijo FMEA so bile predhodno identificirane možne napake, možne posledice napak in možni vzroki zanje. V okviru obstoječega stanja so bili opredeljeni posamezni kontrolni ukrepi in od sodelujočih strokovnjakov podane ocene za posamezne faktorje. Na podlagi izračuna indeksa pomembnosti napak (IP) je bilo ugotovljeno, da so mejno vrednost presegle le naslednje možne napake: nepravilno vgrajen beton, bazen ni vodotesen in stiki med betonom niso očiščeni žagovine. Z namenom znižanja indeksa pomembnosti za navedene napake so bili predlagani ukrepi za izboljšave. Analiza je pokazala, da se lahko s primernimi kontrolnimi ukrepi vrednost IP zniža pod mejno vrednost. Pomembna pa je tudi ugotovitev, da je za učinkovito izvedbo potreben tim ustrezno usposobljenih strokovnjakov, ki je ključen element za uspešno izvedbo FMEA.

Ključne besede: menedžment kakovosti, gradbeništvo, FMEA, orodja menedžmenta kakovosti, stalno izboljševanje

**Summary** | The purpose of this paper is to present the failure mode and effects analysis (FMEA), which offers an opportunity of the systematic examination of potential failure modes, potential effects of failure modes as well as potential causes of failure modes. The paper shows a wide range of possible use of FMEA method with the emphasis on the construction industry. In particular, this paper includes an application of FMEA in the case of a waste water collection tank. Having in mind that the construction of the waste water collection tank was conducted in the complex geotechnical conditions, it is even more important to use a proactive approach to prevent potential failures. In accordance with the FMEA methodology, potential failure modes, potential effects and their causes were identified. Within the analysis of the current situation, current control methods were defined and each factor was estimated by the involved experts. Based on the risk priority

number (RPN) and results evaluation, we identified potential failure modes that exceeded the limited value: incorrectly build concrete, the waste water tank is not waterproof and contacts between concrete are not clean of sawdust. In order to reduce the RPN, several improvements were proposed. The analysis showed that with proper control methods, the values of RPNs can be reduced below the limit value of 30. An important finding arising from this research is related to the development of an appropriate team of skilled experts, which is considered to be one of the key elements of effective implementation of the FMEA.

Keywords: quality management, construction, FMEA, quality management tool, continuous improvement

## 1 • UVOD

Pojem kakovosti je čedalje bolj prisoten v vsakdanjem življenju že precejšen del zgodovine, vendar je v zadnjem času postal temelj vseh procesov in proizvodov (Hočevar, 2006). Skladno z razvojem tehnologije, proizvodnih sredstev, delitve dela, organizacijskih znanj, družbenih odnosov, ekonomskih načel, znanja delovne sile in drugih faktorjev so se spreminjali tudi pristopi in načini doseganja kakovosti (Marolt, 2005).

Zagotavljanje kakovosti predstavlja princip preprečevanja napak. Vse aktivnosti naj bodo vnaprej načrtovane, s čimer se lahko odpravijo vsa možna odstopanja, ki bi lahko prepeljala do napak. Zagotavljanje kakovosti pa mora obsegati vse planirane in sistematične dejavnosti, potrebne za pridobitev primernega zaupanja, da določen izdelek izpolnjuje predpisane zahteve (Hočevar, 2006).

Projekti razvoja novih proizvodov so pogosto neuspešni predvsem zato, ker rezultat načrtovanja in razvoja ne ustreza kupčevim

pričakovanjem in zahtevam (Matzler, 1998). Učinkovito obvladovanje procesa razvoja novega proizvoda je tako ključnega pomena za doseganje konkurenčne prednosti (Chin, 2000). Skladno s tem tudi avtorji (Carpinetti, 2003) navajajo, da so dejavnosti stalnega izboljševanja vseh ključnih procesov organizacije izjemnega pomena pri doseganju konkurenčne prednosti.

Kompleksnost reševanja problemov s področja kakovosti zahteva uporabo orodij menedžmenta kakovosti, ki omogočajo učinkovitejše in uspešnejše analiziranje in reševanje problemov (Hagemeyer, 2006). V preteklih letih je bilo razvitih veliko orodij menedžmenta kakovosti, katerih namen je izboljšanje učinkovitosti in uspešnosti razvoja novega proizvoda. Ta orodja vključujejo zlasti metode, kot so razvrstitve funkcije kakovosti (QFD), analizo možnih napak in posledic (FMEA) ter načrtovanje za šest *sigma* (DFSS) (Thia, 2005).

Analiza možnih napak in posledic (FMEA) je še posebno uporabna z vidika preventive in izboljševanja, kar omogoča zagotovitev ustreznega proizvoda, ki zadostuje kupčevim zahtevam (Shahin, 2004). Izhaja iz problematike nastajanja in odpravljanja napak pri razvoju proizvoda. Znano je, da so vzroki večine napak v prvih fazah nastajanja proizvoda, kot so načrtovanje, razvoj in uvajanje v proizvodnjo. Odpravljanje teh napak pa se večinoma začne šele, ko se napake pokažejo (Ocvirk, 2008).

Namen prispevka je predstaviti uporabo FMEA za proizvod v gradbeništvu na praktičnem primeru zbirnega bazena odpadnih voda. Da bi dosegli namen prispevka, smo oblikovali naslednje cilje:

- predstaviti teoretična izhodišča metode FMEA,
- opisati karakteristike zbirnega bazena odpadnih voda,
- opraviti analizo možnih napak in posledic (FMEA) na primeru zbirnega bazena,
- predlagati možne izboljšave na osnovi ugotovitev.

## 2 • FMEA V OKVIRU MENEDŽMENTA KAKOVOSTI

Obvladovanje kakovosti zahteva natančno opredelitev neposrednih in posrednih zahtev. Z vidika kakovosti gradbenega objekta kot končnega izdelka so pomembne določitve del in postopkov po posameznih fazah graditve, določitve odgovornosti in obveznosti pri sistemu kontrole oziroma zagotavljanju kakovosti v vseh fazah graditve. Kljub zahtevnim ukrepom zdajšnje kontrole kakovosti v procesu gradnje končna kakovost objekta običajno ni skladna z začetnimi projektnimi zahtevami investitorja, zato je nujno v vseh fazah graditve

pri vseh udeležencih graditve preiti s kontrole kakovosti na sistem zagotavljanja kakovosti v celotnem življenjskem ciklusu objekta (Reflak, 2004).

Celovita kakovost je več kot zgolj tehnične zahteve, predpisane s standardi, pravilniki ali normativi. Označuje kakovost, s katero so pri gradnji zadovoljni vsi, od naročnika, uporabnika, lastnika do širšega družbenega okolja, pri kateri sta upoštevana tudi skrb za varovanje okolja in obvladovanje celovite življenjske dobe objekta (Jejčič, 2007).

Življenjski krog gradbenega objekta se začne z idejo o gradnji nekega objekta in konča z njegovo odstranitvijo. Graditev pa obsega (Reflak, 2004):

- projektiranje objekta (zasnovo in konstrukcijo),
- izvedbo (izdelavo gradbenih proizvodov in gradnjo ali rekonstrukcijo),
- uporabo (vzdrževanje in odstranitev objekta).

Zasnova objekta v veliki meri vpliva na posamezne faze njegovega življenjskega cikla. Zaradi tega je pomembno, da se že v fazi načrtovanja uporabijo ustrezna orodja menedžmenta kakovosti, katerih namen je preprečevanje možnih napak in s tem pove-

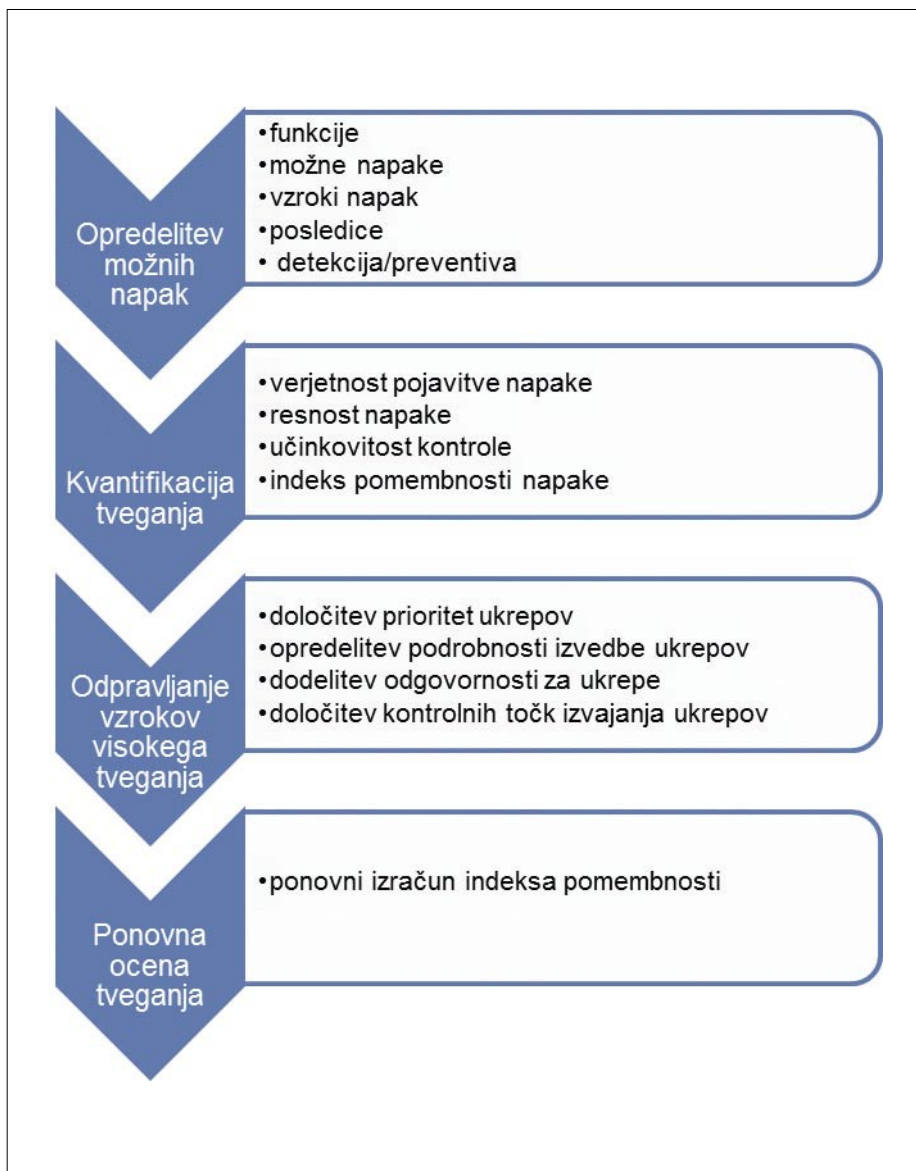
zanih nastalih stroškov. FMEA je eno izmed takih orodij, ki je sicer pogosteje uporabljeno v drugih panogah, vendar se kažejo tudi široke možnosti uporabe tega orodja v gradbeništvu (Murphy, 2011).

FMEA je metoda za sistematično odkrivanje napak in njihovih vzrokov, še preden se pojavijo. Usmerja se na preprečevanje napak, njihovo odkrivanje in iskanje vzrokov zanje. Metoda FMEA se lahko izvaja v vseh fazah procesa razvoja izdelka, v fazi snovanja, priprave prototipa in v končnem razvoju izdelka (McDermott, 2009). Metoda FMEA je izrazito preventivna, njena uporaba pa je raznolika. Uporablja se tako v razvoju, ko se preverja konstrukcijske rešitve novega izdelka, kot v tehnologiji, ko se preverjajo tehnološke rešitve v procesu. Metoda FMEA pa se lahko uporabi tudi v kurativnem smislu, ko se iščejo vzroki za neustrezno kakovost izdelkov in je njen cilj ovrednotenje posledic oziroma učinkov napak za kupca oziroma naročnika (Ocvirk, 2008).

FMEA poda vpogled v področja, ki jih je treba posebej obravnavati in jim nameniti več pozornosti. Za dosego čim boljšega rezultata je treba FMEA izvesti dovolj zgodaj, v začetni fazi načrtovanja, razvoja, in jo pozneje ponoviti na istem procesu, proizvodni ali sistemu (Ilič, 2012). FMEA naj bi bila v organizaciji del sistema menedžmenta kakovosti. Integracija FMEA v sistem kakovosti je ključnega pomena za pridobivanje čim večjih koristi (McDermott, 2009).

Metoda FMEA se izvaja v naslednjih korakih ((McDermott, 2009), (Marolt, 2005)):

1. pregled izdelka ali procesa,
2. opredelitev vseh možnih napak,
3. opredelitev možnih posledic napak,
4. identifikacija vzrokov za vsako posamezno napako,
5. opredelitev obstoječih kontrolnih ukrepov,
6. določitev ocene verjetnosti nastopa napake,
7. določitev ocene resnosti oziroma teže napake za kupca/naročnika,
8. določitev ocene verjetnosti odkritja napake, potrebna je ocena posledic vsake napake,
9. izračun indeksa pomembnosti napake,
10. določitev prioritete ukrepov na osnovi indeksa pomembnosti,
11. izvedba ukrepov za izboljšanje obstoječega stanja,
12. ponovni izračun indeksa pomembnosti po izvedenih izboljšavah.



Slika 1 • Koraki izvedbe metode FMEA (Vinodh, 2012)

Proces FMEA se izvede s klasičnim FMEA-obrazcem, ki se ga lahko prilagodi vsakemu podjetju in vsaki dejavnosti posebej (McDermott, 2009). Posamezni koraki FMEA so predstavljeni na sliki 1.

Ključne pri izvedbi FMEA so informacije, ki jih mora zagotoviti organizacija, za kar pa mora imeti vzpostavljen učinkovit sistem zbiranja podatkov in dobro opredeljene procese. Slednje je zelo pomembno pri izvedbi FMEA, saj so zanesljivi podatki bistveni za učinkovito izvedbo analize (McDermott, 2009).

Prvi korak (slika 1) je še posebno pomemben za učinkovito izvedbo metode, saj se navezuje na iskanje možnih napak in njihovih posledic. V nadaljnjih korakih je treba oceniti

pomembnost napake za kupca, oceniti verjetnost pojavljanja napak, preučiti posledice napak za kupce in oceniti možnost, da napako odkrijemo s predvidenimi kontrolnimi ukrepi. Ustrezni konstrukcijski, proizvodnoprocesni in kontrolni ukrepi so vsekakor zelo pomembni, saj omogočijo, da potencialne napake oziroma vzroke nastanka napak pravočasno odkrijemo. Preveriti je treba tudi predvidene specifikacije in kontrolne postopke, da se odkrije in prepreči čim več napak (Marolt, 2005). Z metodo FMEA določimo tudi ustrezne korektivne in izboljševalne ukrepe, po izvršenih ukrepih pa preverimo rezultate in preučimo ponovno odkrite napake (Marolt, 2005).

### 3 • UPORABA METODE FMEA NA PRIMERU IZ GRADBENIŠTVVA

#### 3.1 Opredelitev zbirnega bazena odpadnih voda

V okviru izgradnje projekta bloka 6 na lokaciji TE Šoštanj je bil zgrajen podzemni zbirni bazen odpadnih voda, objekt z rešetkami in združitveni jašek. Zbirni bazen odpadnih voda je florisnih dimenzij 17,50 m X 25,10 m do 26,90 m min. primarne višine 9,85 m z lokalnimi poglobitvami do 12,25 m. V okviru izgradnje bazena je bil izveden še objekt z rešetkami in združitveni jašek. Bazena je bil zgrajen po principu bele kadi, nosilne konstrukcije pa so armiranobetonske. Lociran je med obstoječim hladilnim stolpom in obstoječo jedilnico, južno ob uvozni rampi v novo upravno stavbo TE Šoštanj.

#### 3.2 Metode dela

V okviru pridobivanja podatkov so bile uporabljene različne metode, kot so analiza doku-

mentacije, opazovanje v realnem okolju, kakor tudi intervjuji z odgovornimi za načrtovanje in gradnjo zbirnega bazena odpadnih voda.

Pri izvedbi analize so sodelovali trije strokovnjaki, ki so bili odgovorni za različna področja načrtovanja in gradnje zbirnega bazena odpadnih voda. V okviru postopka izdelave FMEA je bil upoštevan ustrezen postopek ((McDermott, 2009), (Marolt, 2005)), od opredelitve posameznih sklopov zbirnega bazena (ki so predmet proučevanja FMEA) do izračuna indeksa pomembnosti za posamezne napake.

V sklopu izvedbe metode FMEA so bili izdelani preglednice za vrednotenje stanja in obrazec, ki je razdeljen na dva dela: na obstoječe in na izboljšano stanje. V obrazcu, ki opisuje obstoječe stanje, so opisani značilnosti proizvoda, lastnosti, možne napake, možne

posledice napak in možni vzroki napak. Vsa ko možno napako pa je treba ovrednotiti z naslednjimi faktorji:

- faktor G - resnost oziroma teža za kupca oziroma naročnika,
- faktor P - verjetnost nastopa napake,
- faktor D - verjetnost odkritja napake.

V sklopu obrazca, ki se navezuje na obstoječe stanje, so opisani tudi predvideni kontrolni ukrepi in predlagani ukrepi za izboljšanje. V obrazcu, ki predstavlja izboljšano stanje, pa so prav tako opisane značilnosti proizvoda, lastnosti, možne napake, možne posledice napak in možni vzroki zanje. Razlika med enim in drugim je ta, da so v obrazcu o izboljšanem stanju na koncu opisani predlagani ukrepi za izboljšave. Po podanih izboljšavah se postopek vrednotenja napak ponovi in se indeks pomembnosti ponovno izračuna.

### 4 • PREDSTAVITEV IN ANALIZA REZULTATOV FMEA

V prvi fazi so bili identificirani sklopi zbirnega bazena, ki so bili v nadaljevanju predmet preučevanja s FMEA. V analizo so bili vključeni: vzgonski piloti, piloti za varovanje gradbene jame, temeljna plošča, stene bazena, zaslupi, cevi, jaški, iztekalne površine in stropna plošča.

V skladu s postopkom FMEA (slika 1) je bilo treba v nadaljevanju za vsak izbran sklop določiti možne napake, možne posledice napak, možne vzroke zanje, opredeliti obstoječe kontrolne ukrepe in izračunati indeks pomembnosti (IP), ki je produkt faktorjev G, P in D (Marolt, 2005). V nadaljevanju kot primer

navajamo preglednico 1, ki prikazuje del rezultatov FMEA na primeru gradnje vzgonskih pilotov.

Iz preglednice 1 je razvidno, da izmed izračunanih vrednosti (IP) najbolj izstopa napaka nepravilno vezane armature. Posledica te napake je neustrezna trdnost konstrukcije, katere vzrok so manjkajoči distančniki. Z namenom preprečitve napake je treba dosledno upoštevati načrte za vgradnjo in vezavo armature ter obvezno preverjati končano delo

Možne napake	Možne posledice napak	Možni vzroki napak	IP 1	IP 2	IP 3	Povprečje IP
Nepravilen postopek vrtanja glede na zemljino	Vdori zemlje med beton	Nepravilna uporaba zaščitnih cevi	3	12	8	7,67
Napačna armatura	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Pripeljana je napačna armatura	4	24	8	12
Nepravilno vezana armatura	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Manjka streme	12	24	42	26
		Manjka spirala	20	36	28	28
		Manjkajo distančniki	48	36	8	30,67
		Neupoštevanje načrtov za vgradnjo in vezavo armature	8	32	16	18,67
Vdori zemlje med beton med betoniranjem	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Neuporaba zaščitnih cevi za zaščito vrtine	3	18	42	21
Nepravilno vgrajen beton		Pravilna uporaba kontraktorja	24	6	8	12,67
Neustreznost betonskih mešanic		Napaka pri naročilu betonskih mešanic	6	7	16	9,67

Preglednica 1 • Prikaz rezultatov na primeru gradnje vzgonskih pilotov



FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) zbirnega bazena odpadnih voda											
Značilnosti proizvoda	Potrdili					Ime. Oddelek. Dobavitelj			Naziv proizvoda:		
	Lastnosti	Možne napake	Možne posledice napak	Možni vzroki napak	Predvideni kontrolni ukrepi	IP <sub>m</sub>	Ukrepi	Koda	Izdelal:	Datum:	
									Izboljšano stanje:		
									Nastop P	Teža G	Prednost št. tveganih IP
Vzgonski piloti Armatura: Palice: S500 φ22r L = 9 m	Nepravilna vezava armature	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Manjkajo distančniki	Kontrola armature po seznamu	30,67	Kontrola armature po seznamu, sprotno preverjanje vgrajene armature, kontrola dobavljenega materiala, doslednosti pri vgradnji	1	7	2	14	
Temeljna plošča Dolžina: 25,10 m Širina: 18,70 m Debelina: 1 m Betoni: C30/37-xd3	Betonske mešanice	Nepravilno vgrajen beton	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Preverjanje po koncu dela	30,33	Kontrola med vgradnjo betonskih mešanic, delavec, ki opravlja to delo, mora imeti izkušnje in poznati naravo dela	2	5	2	20	
Stene bazena Širina: 17,50 m Debelina: 40 cm Globina: 10 m Dolžina: 25,10 do 26,90 m Jeklo: S500	Bazen ni vodotesen	Stiki med stenami in temeljno ploščo ne tesnijo	Netočnost izvedbe del	Končna kontrola	32,3	Sprotno preverjanje opravljenih del, dosledno je treba slediti načrtom, elaboratu in standardom. Treba je spremljati vgrajene materiale in njihovo kakovost	2	6	2	24	
	vodotesnost	Stiki med betonom niso očiščeni žagovine	Neočiščena površina	Kontrola del pred betoniranjem	35,33	Kontrola pred nadaljnjim izvajanjem del, sprotno pregledovanje in po potrebi ponovno čiščenje	2	4	2	16	

pred nadaljnjim opravljanjem del in nalog. Pri podrobnejšem pregledu rezultatov, predstavljenih v preglednici 1, lahko ugotovimo, da je v okviru napake nepravilno vezana armatura, precejšnja variabilnost med posameznimi vrednostmi IP, ki so bile izračunane na podlagi različnih ocenjevalcev.

Med rezultati najbolj izstopajo vrednosti, ki so povezane z možnim vzrokom manjkajočega stremena, pri čemer vrednosti variirajo med 12 in 42.

Pri možni napaki vdora zemlje med beton med betoniranjem je to napaka, ki povzroči neustrezno trdnost konstrukcije, vzrok zanjo pa je neuporaba zaščitnih cevi. Strokovnjaki, ki so sodelovali pri izdelavi FMEA, so se tudi tukaj odločali zelo različno, saj vrednosti IP variirajo med 3 in 42.

Vzroke za razkorak pri ocenjevanju faktorjev je vsekakor mogoče opredeliti z različnih vidikov. V prvi vrsti je treba poudariti, da so to rezultati pilotne študije FMEA, ki je bila izvedena v obravnavanem podjetju. To pomeni, da so na ocenjevanje posameznih faktorjev (G, P in D) lahko v veliki meri vplivali različni dejavniki, kot so ustrezna sestava tima, usposobljenost članov tima kakor tudi čustvena vpletenost v sam projekt (McDermott, 2009).

V okviru FMEA zbirnega bazena odpadnih voda je bila od strokovnjakov iz obravnavanega podjetja, ki so sodelovali pri izvedbi FMEA, dogovorjena in postavljena mejna vrednost IP<sub>m</sub> = 30. Dogovorjena mejna vrednost je predstavljala merilo za izbiro možnih napak, ki so bile vključene v nadaljnje analize.

V preglednici 2 so predstavljeni ukrepi za izboljšanje obstoječega stanja za napake, ki so presegle mejno vrednost IP<sub>m</sub>, in v skladu s tem podani ponovni izračuni IP.

Kot je razvidno iz preglednice 2, so mejno vrednost IP<sub>m</sub> presegle štiri možne napake, ki bi lahko nastale na vzgonskih pilotih, na temeljni plošči in stenah bazena.

V primeru nepravilne vezave armature, katere vzrok so manjkajoči distančniki na vzgonskih pilotih, je lahko posledica neustrezna trdnost konstrukcije. Z namenom znižanja vrednosti IP se lahko predvidijo dodatni kontrolni ukrepi, ki zajemajo kontrolo dobavljenega materiala, doslednost pri vgradnji in sprotno preverjanje.

Pri temeljni plošči sta mejno vrednost IP<sub>m</sub> presegle dve možni napaki. V primeru nastopa napake, ki se navezuje na nepravilno vgradnjo betona, je možen vzrok premalo vibrirana betonska mešanica, posledica napake pa je,

Preglednica 2 • Izboljšano stanje po izvedbi FMEA na primeru vzgonskih pilotov

da konstrukcija nima ustrezne trdnosti. Kontrolni ukrep, ki naj bi to napako preprečeval, vključuje spremljanje poteka del. V primeru izboljšanja je predviden še dodatni kontrolni ukrepi, in sicer kontrola med vgradnjo betonskih mešanic. Hkrati je predvidena tudi ustrezna usposobljenost in izkušnost človeka, odgovornega za opravljanje teh del.

Druga možna napaka je povezana z vodotesnostjo bazena, ki jo lahko povzroči netočnost pri izvedbi del. Posledica te napake se odraža v tem, da stiki med stenami bazena in temeljno ploščo ne tesnijo. Kontrolni ukrepi, ki bi tveganje za takšno napako znižali, pa narekujejo doslednosti pri preverjanju izvedenih del ter upoštevanje pripadajočih načrtov, elaborata in standardov. Treba je spremljati tudi kakovost vgrajenih materialov. V primeru uvedbe teh ukrepov se tudi tveganje za možen nastop procesa ali proizvoda zniža.

Kot zadnja možna napaka je predstavljena napaka na stenah bazena, ki je povezana z vodotesnostjo in katere možen vzrok za nastop so neočiščeni stiki med posameznimi betoniranj. Posledica neočiščenosti žagovine lahko vodi v propustnost stikov betona. Predviden kontrolni ukrep, ki bi to napako preprečil, je kontrola del pred betoniranjem. Z namenom, da bi tveganje za nastop možne napake zmanjšali, so predvideni še dodatni kontrolni ukrepi, ki omogočijo precejšnje znižanje vrednosti IP. Kontrolni ukrepi, ki se še lahko uvedejo, so kontrola pred nadaljnjim izvajanjem del, sprotno pregledovanje in po potrebi ponovno čiščenje stikov.

Rezultati FMEA nakazujejo, da navedena metoda ponuja sistematičen način odkrivanja in preprečevanja napak, še preden te nastanejo. S tega stališča lahko poudarimo, da je za izvedbo FMEA najbolj primerna faza snovanja procesa ali proizvoda. V fazi konstrukcije ali

snovanja se lahko namreč predvidijo potencialne napake še pred samo izvedbo oziroma proizvodnjo. Posledično se lahko predlaga ukrepe, ki omogočajo pravočasno odkritje in odpravo napak oziroma njihovih vzrokov. McDermott (2009) trdi, da se lahko s pravilno in načrtovano uporabo močno znižajo stroški, ki bi nastali zaradi možnih napak, ki se pojavijo na proizvodni ali v procesu.

Na osnovi študije primera in literature ((Marolt, 2005), (Teng, 2006)) lahko povzamemo ključne dejavnike, ki vplivajo na učinkovitost izvedbe FMEA:

- podpora vodstva pri opravljanju dejavnosti, povezanih s FMEA,
- oblikovanje tima, ki je ustrezno usposobljen za izvajanje FMEA,
- ustrezno poznavanje predmeta analize,
- zagotovitev ustreznega časa za diskusijo in analizo med člani tima.

## 5 • SKLEP

Namen prispevka je prikazati analizo možnih napak in posledic (FMEA) na konkretnem primeru v gradbeništvu.

Glede na to, da je izgradnja zbirnega bazena odpadnih voda potekala v zahtevnih geomehanskih razmerah, čemur je morala biti prilagojena tudi tehnologija, uporabljena pri izgradnji, je še toliko pomembneje, da v postopku načrtovanja in procesa izvajanja gradnje predvidimo možne napake, njihove posledice in identificiramo možne vzroke zanje. Pri tem se je FMEA izkazala kot možnost sistematičnega preučevanja možnih napak in njihovih posledic, da se jih prepreči, še preden nastanejo. Uspešnost izvedbe zbirnega bazena odpadnih

voda je potrdil tudi rezultat FMEA, saj so le štiri možne napake presegle mejno vrednost ( $IP_m = 30$ ). Te napake so: nepravilna vezava armature ( $IP = 30,67$ ), nepravilno vgrajen beton ( $IP = 30,33$ ), bazen ni vodotesen ( $IP = 32,30$ ) in stiki med betonom niso očiščeni žagovine ( $IP = 35,33$ ). Skladno z ugotovitvami FMEA so bili predlagani ukrepi za izboljšanje stanja. V raziskovanem primeru bi poudarili zlasti ukrepe, ki se navezujejo na predvidene kontrolne ukrepe, s čimer smo povečali možnost odkritja napake in s tem vplivali na znižanje vrednosti faktorja D. S tem se je znižala tudi vrednost IP, ki pri ponovnem izračunu ni presegala mejne vrednosti (preglednica 2). Na ta način se je FMEA

izkazala kot učinkovito in sistematično orodje izboljševanja kakovosti gradnje zbirnega bazena odpadnih voda.

Poleg FMEA bi se tudi drugi pristopi in orodja menedžmenta kakovosti morali sistematično vključevati v procese in proizvode v gradbeništvu, kar bi nedvomno izboljšalo njihovo kakovost, uspešnost in učinkovitost.

Pomembna ugotovitev, ki izhaja iz študije primera, je povezana z oblikovanjem ustreznega tima strokovnjakov, ki imajo ustrezno znanje s področja metodologije izvedbe FMEA. Strokovnjaki, ki so sodelovali pri izvedbi FMEA, so se s to metodo srečali prvič, kar pojasnjuje razhajanja pri ocenjevanju posameznih faktorjev. Pri učinkoviti izvedbi metode FMEA je še zlasti pomembna vloga vodje tima, ki je odgovoren za koordinacijo vseh dejavnosti, ki so povezane s procesom izvedbe FMEA.

## 6 • LITERATURA

- Carpinetti, C. R., Buosi, T., Gerólamo, M. C., Quality management and improvement, A framework and a business-process reference model, Business Process Management Journal, Emerald, letnik 9, št. 4, str. 543–554, 2003.
- Chin, K. S., in Pun, K. F., A strategic review of product development direction for Hong Kong manufacturing industries: proactive versus reactive?, International Journal of Operations and Quantitative Management, INFOMS, letnik 6, št. 2, str. 79–97, 2000.
- Hagemeyer, C., Gershenson, J. K., Johnson, D. M., Classification and application of problem solving quality tools, A manufacturing case study, The TQM Magazine, Emerald, letnik 18, št. 5, str. 455–483, 2006.
- Hočvar, L., Tveganja v ocenjevanju stroškov življenjskega cikla gradbenega objekta, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, 2006.
- Ilić, Ž., Uporaba metode FMEA pri obvladovanju stroškov kakovosti v pogodbeni proizvodnji farmacevtske industrije, Fakulteta za organizacijske vede, Univerza v Mariboru, diplomsko delo, 2012.

- Jejčič, N., Deset let znaka kakovosti v graditeljstvu, *Gradbenik, Tehnis*, letnik 3, št. 3, str. 176–177, 2007.
- Marolt J., Gomišček B., *Management kakovosti, Založba Moderna organizacija*, 2005.
- Matzler, K., Hinterhuber, H. H., How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment, *Technovation, Elsevier*, letnik 18, št. 1, str. 25–38, 1998.
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., Bearegard, M. R., *The basics of FMEA*, Tylor & Francis Group, 2009.
- Murphy, M., Heaney, G., Perera, S., A methodology for evaluating construction innovation constraints through project stakeholder competencies and FMEA, *Construction Innovation, Emerald*, letnik 11, št. 4, str. 416–440, 2011.
- Ocvirk, I., Vpliv obvladovanja kakovosti na zadovoljstvo odjemalcev, *Ekonomsko-poslovna fakulteta Maribor, Univerza v Mariboru, magistrska naloga*, 2008.
- Reflak, J., Zagotavljanje kakovosti v procesu gradnje, *Družba, prostor, graditev, IZS, Ljubljana*, 19. 5. 2004, 185–189, 2004.
- Shahin, A., Integration of FMEA and the Kano model, An exploratory examination, *International Journal of Quality & Reliability Management, Emerald*, letnik 21, št. 7, str. 731–746, 2004.
- Teng, S. G., Ho, S. M., Shumar, D., Liu, P. C., Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment, *International Journal of Quality & Reliability Management, Emerald*, letnik 23, št. 2, str. 179–196, 2006.
- Thia, C. W., Chai, K. H., Baully, J., Xin, Y., An exploratory study of the use of quality tools and techniques in product development, *The TQM Magazine, Emerald*, letnik 17, št. 5, str. 406–424, 2005.
- Vinodh, S., Santhosh, D.), Application of FMEA to an automotive leaf spring manufacturing organization, *The TQM Journal, Emerald*, letnik 24, št. 3, str. 260–274, 2012.