

ODREĐIVANJE STRATEGIJE ODRŽAVANJA U FAZI KONSTRUISANJA METALNIH TEMPERATURNIH KOMPENZATORA

DETERMINING THE MAINTENANCE STRATEGY IN THE PHASE OF CONSTRUCTION OF METAL EXPANSION JOINT

Nedeljko Vukojević
Mašinski fakultet u Zenici
Zenica, BiH

Harun Hodžić
Zenica, BiH

REZIME

U radu je predstavljen metod izbora strategije održavanja tehničkog sistema ili nekog njegovog dijela na primjeru temperaturnog kompenzatora. Izbor strategije održavanja vrši se simultano sa projektovanjem, a unapređenje strategije održavanja se vrši tokom ostalih faza životnog ciklusa i ima veliku ulogu u optimalnom održavanju tehničkog sistema kroz cijeli životni ciklus. Pri tome su u obzir uzete dosadašnje prakse projektanata i korisnika temperaturnih kompenzatora, te moguća poboljšanja koja bi se mogla napraviti prilikom određivanja strategije održavanja.

Ključne riječi: Aksijalni temperaturni kompenzator, strategija održavanja, analiza načina, efekta i kritičnosti otkaza

ABSTRACT

The paper presents a method for choosing a strategy for maintaining a technical system or some part of it on an example of a expansion joint. The selection of the maintenance strategy is done simultaneously with the design, and the improvement of the maintenance strategy is carried out during other phases of the life cycle and plays a major role in optimal maintenance of the technical system throughout the life cycle. We take into account the previous practices of the designers and users of expansion joint, and the possible improvements that could be made when determining the maintenance strategy.

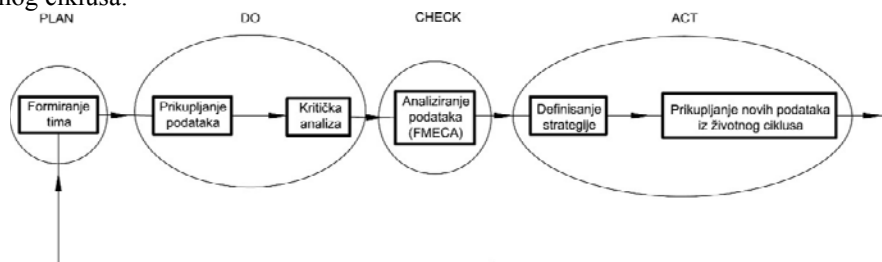
Keywords: Axial expansion joint, maintenance strategy, failure mode effect and criticality analysis (FMEA)

1. UVOD U TEMU

Temperaturni kompenzatori su elementi cjevovoda koji omogućavaju njegov pravilan rad kompenzirajući temperaturne promjene dužine cjevovoda. Osnovni dio temperaturnog kompenzatora je membrana kompenzatora i ona predstavlja elastični dio koji na sebe preuzima opterećenja izazvana temperaturnom dilatacijom. Od membrane kompenzatora se zahtijeva da u cirkularnom pravcu ima veliku čvrstoću kako bi podnijela radni pritisak, ali u isto vrijeme se od nje zahtijeva da ima i veliku elastičnost u longitudinalnom pravcu kompenzatora kako bi mogla preuzeti pomjeranje dijela cjevovoda u kojem je postavljena, uz što manji otpor. Ovakav

zahtjev za čvrstoćom i elastičnošću u isto vrijeme je jedinstven problem sa kojim nisu opterećeni drugi dijelovi cjevovoda.

Osnovna strategija održavanja prema Demingovom principu [1] stalne nadogradnje i unapređenja može se mijenjati kao što je prikazano na slici 1. Unapređenje strategije održavanja i uvođenje novih metoda zavisi od novih podataka koji su prikupljeni u toku faza životnog ciklusa.



Slika 1. Faze izbora strategije održavanja kroz Demingov krug unapređenja

2. PRIKUPLJANJE INFORMACIJA O VRSTI OTKAZA

2.1. Podaci o najčešćim uzrocima i otkazima kompenzatora prikupljeni tokom eksploatacije temperaturnih kompenzatora

Dosadašnji podaci o vrsti otkaza i njihovom uzroku, vjerovatnoći pojave određenog načina otkaza, srednjem vremenu do pojave otkaza MTTF¹, koji su prikupljeni pri eksploataciji temperaturnih kompenzatora su rijetki. Kao izvor ovih informacija mogu se koristiti baze podataka kao što su FMD – 91[2] i NPRD -91 [3] kao i druge slične baze podataka. U fazi konstruisanja novog kompenzatora ove vrijednosti dobijene iz navedenih ili sličnih izvora mogu se prihvatiti kao relevantne. Osim ovih podataka u toku testiranja i eksploatacije kompenzatora može se napraviti sopstvena baza podataka koja će se koristiti u narednom periodu. Za određivanje radnog vijeka temperaturnog kompenzatora koristi se proračun broja ciklusa prema krivulji zamora materijala membrane prema važećem EN – 13445 [4] standardu.

3. ANALIZA ZNAČAJA TEMPERATURNOG KOMPENZATORA NA CJEVODNI SISTEM

Treći zadatak tima koji se bavi određivanjem strategije održavanja dijela tehničkog sistema je procjena značaja istog na ukupnu funkciju koju obavlja tehnički sistem. Najveći rizik po funkcionisanje temperaturnih kompenzatora i cijelog cjevovodnog sistema predstavlja mogući iznenadni otkaz u radnim uslovima čije uticajne faktore kao što su korozija, erozija, hemijski sastav fluida i hidraulični udar, eksperimentalno testiranje kompenzatora ne uzima u obzir. Iznenadni otkazi mogu izazvati velike troškove zastoja i na njih se prvenstveno mora paziti kod puštanja u rad novih cjevovodnih sistema, kao i u periodu eksploatacije cjevovoda.

4. ANALIZA NAČINA, EFEKTA I KRITIČNOSTI OTKAZA (FMECA²) TEMPERATURNOG KOMPENZATORA

U ovom radu kao metoda procjene i smanjenja vjerovatnoće pojave kvara prije njegovog nastanka korištena je FMEC – Analiza temperaturnog kompenzatora. Pri tome su određeni načini otkaza, posljedice otkaza temperaturnog kompenzatora i efekat otkaza na cjevovodni

¹ MTTF – Mean Time To Failure

² FMECA – Failure Mode Effect and Criticality Analysis

sistem. U analizu su uključeni dostupni podaci za membranu kompenzatora i zaptivače ali podaci o unutarnjem naglavku kao i vanjskoj zaštiti membrane nisu uzeti u obzir i trebaju se naknadno prikupiti i obraditi u periodu unapređenja strategije održavanja.

Tabela 1. Postavka FMEC – Analize

		Definiranje funkcije sistema, podsistema i dijelova
Sistem	Cjevovod	Tehnički sistem koji vrši obezbjeđenje prenosa fluida uz zadate parametre: radnog pritiska, brzine strujanja, protoka i temperature
Podsystem	Aksijalni temperaturni kompenzator	Vrši kompenziranje aksijalnog pomjeranja dijela cjevovoda koji se nalazi između dva nepokretna oslonca prilikom promjene temperature cijevi, uz osiguravanje nesmetanog prenosa fluida uz zadate parametre
Dijelovi podsistema	Membrana	Kompenziranje temperaturnih pomjeranja cjevovoda pri radnom i testnom pritisku
	Zaptivač	Osiguravanje nepropusnosti spoja prirubnica membrane i cijevi

Tabela 2. Klasifikacija krajnjih posljedica prema njihovoj ozbiljnosti

Kategorija 1. Katastrofalni otkaz	Gubitak neke od osnovnih funkcija temperaturnog kompenzatora ili gubitak obje osnovne funkcije pri čemu dolazi do zastoja rada cijelog cjevovoda
Kategorija 2. Kritična posljedica	Degradacija koja smanjuje funkcionalnost temperaturnog kompenzatora i dovodi ga u stanje koje se nalazi izvan projektovanih okvira (kompenzator i dalje radi)
Kategorija 3. Marginalna posljedica	Degradacija koja smanjuje funkcionalnost ali kompenzator i dalje radi u okviru dozvoljenih odstupanja
Kategorija 4. Neznatne posljedice	Neznatne posljedice po funkcionalnost temperaturnog kompenzatora i cjevovoda

Tabela 3. Analiza načina i efekta otkaza membrane i zaptivača kompenzatora

ID. br.	Vrsta otkaza i uzrok	Posljedice otkaza			Klasifikacija ozbiljnosti
		Lokalne	Slijedeći viši nivo	Krajnje posljedice	
1.	Pukotine (abrazivno habanje, uticaj kavitacije)	<ul style="list-style-type: none"> • Koncentracija napona • Smanjenje radnog vijeka membrane • Moguće curenje fluida 	<ul style="list-style-type: none"> • Isticanje fluida uz pad radnog pritiska i smanjenje protoka 	<ul style="list-style-type: none"> • Moguće ekološke posljedice • Gubici pritiska i smanjenje protoka cjevovoda 	Marginalna posljedica (3)
	Istrošenost/starenje (razor)	<ul style="list-style-type: none"> • Degradacija radnih parametara • Moguće prsnuće 	<ul style="list-style-type: none"> • Nema efekta 	<ul style="list-style-type: none"> • Nema efekta 	Neznatne posljedice (4)
	Ogrebotine / bušenje / rez	<ul style="list-style-type: none"> • Koncentracija napona • Smanjenje radnog vijeka membrane • Moguće curenje fluida 	<ul style="list-style-type: none"> • Isticanje fluida uz pad radnog pritiska i smanjenje protoka 	<ul style="list-style-type: none"> • Moguće ekološke posljedice • Gubici pritiska i smanjenje protoka cjevovoda 	Kritična posljedica (2)
	Prsnuće/ eksplozija	<ul style="list-style-type: none"> • Prsnuće membrane 	<ul style="list-style-type: none"> • Veliki gubici protoka fluida • Veliki pad radnog pritiska 	<ul style="list-style-type: none"> • Zastoj rada cjevovoda • Moguće ekološke posljedice 	Katastrofalna posljedica (1)
2.	Starenje	<ul style="list-style-type: none"> • Moguća propusnost 	<ul style="list-style-type: none"> • Moguća korozija prirubnica i vijaka • Isticanje fluida 	<ul style="list-style-type: none"> • Nema efekta 	Neznatne posljedice (4)
	Istrošenost	<ul style="list-style-type: none"> • Moguća propusnost 	<ul style="list-style-type: none"> • Moguća korozija prirubnica i vijaka • Isticanje fluida 	<ul style="list-style-type: none"> • Nema efekta 	Neznatne posljedice (4)
	Napuknuće / polomljen	<ul style="list-style-type: none"> • Ostvarivanje propusnosti 	<ul style="list-style-type: none"> • Isticanje fluida • Korozija prirubnica i vijaka • Smanjenje protoka • Pad pritiska 	<ul style="list-style-type: none"> • Gubitak pritiska i protoka u cjevovodu 	Marginalna posljedica (3)
	Isticanje fluida	<ul style="list-style-type: none"> • Ostvarivanje propusnosti 	<ul style="list-style-type: none"> • Isticanje fluida • Korozija prirubnica i vijaka • Smanjenje protoka • Pad pritiska 	<ul style="list-style-type: none"> • Gubitak pritiska i protoka u cjevovodu 	Marginalna posljedica (3)

2.	Uklještenje	• Moguće napuknuće i propusnost	• Moguća korozija prirubnica i vijaka • Isticanje fluida	• Nema efekta	Neznatne posljedice (4)
	Oštećen	• Moguća propusnost	• Moguća korozija prirubnica i vijaka • Isticanje fluida	• Nema efekta	Neznatne posljedice (4)

Tabela 4. Analiza kritičnosti otkaza membrane i zaptivača kompenzatora

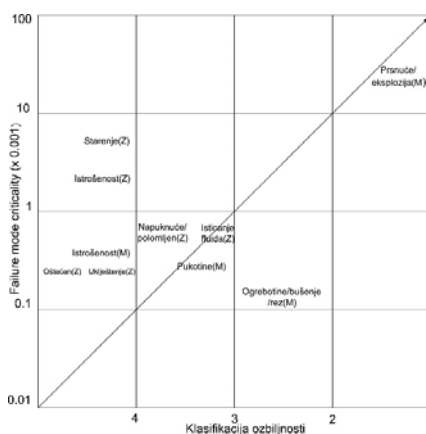
ID. br.	Vrsta otkaza i uzrok	Klasifikacija ozbiljnosti	Failure efect probability (β)	Failure mode ratio (α); [2]	Intenzitet otkaza (λ) [h^{-1}]; [3]	Pretpostavljeni vijek trajanja (t) [h]; [4]	Failure mode ³ $c_m = \alpha\beta\lambda t$	Failure mode item criticality ⁴ c_r
1.	Pukotine	(3)	0.5	0.42	$4.6 \cdot 10^{-9}$	387192	0.000374	0.000374
	Istrošenost / starenje	(4)	1	0.315	$4.6 \cdot 10^{-9}$	387192	0.000561	0.000561
	Ogrebotine/ bušenje / rez	(2)	0.5	0.21	$4.6 \cdot 10^{-9}$	387192	0.000187	0.000187
	Prsnuće / eksplozija	(1)	1	0.052	$1.51 \cdot 10^{-6}$	387192	0.03069	0.03069
2.	Starenje	(4)	0.25	0.488	$1.562 \cdot 10^{-7}$	387192	$7.38 \cdot 10^{-3}$	0.011
	Istrošenost	(4)	0.25	0.195	$1.562 \cdot 10^{-7}$	387192	$2.95 \cdot 10^{-3}$	0.011
	Napuknuće / polomljen	(3)	0.5	0.024	$1.562 \cdot 10^{-7}$	387192	$7.25 \cdot 10^{-4}$	0.00145
	Isticanje fluida	(3)	0.5	0.024	$1.562 \cdot 10^{-7}$	387192	$7.25 \cdot 10^{-4}$	0.00145
	Uklještenje	(4)	0.25	0.024	$1.562 \cdot 10^{-7}$	387192	$3.63 \cdot 10^{-4}$	0.011
	Oštećen	(4)	0.25	0.244	$1.562 \cdot 10^{-7}$	387192	$3.63 \cdot 10^{-4}$	0.011

³ Failure mode criticality number c_m – kritični broj načina otkaza

⁴ Failure mode item criticality number c_r – kritični broj otkaza dijela

Tabela 5. Analiza mogućnosti održavanja membrane i zaptivača kompenzatora

ID. br.	Vrsta otkaza i uzrok	Način otkrivanja otkaza	Klasifikacija ozbiljnosti	MTTF [h]
1.	Pukotine	Ispitivanje penetrantima	(3)	$217.39 \cdot 10^6$
	Istrošenost / starenje	Ispitivanje penetrantima	(4)	$217.39 \cdot 10^6$
	Ogrebotine/ bušenje / rez	Vizuelno ispitivanje	(2)	$217.39 \cdot 10^6$
	Prsnuće / eksplozija	Mjerenje protoka Mjerenje pritiska	(1)	$0.662 \cdot 10^6$
2.	Starenje	Ispitivanje curenja	(4)	$6.402 \cdot 10^6$
	Istrošenost	Ispitivanje curenja	(4)	$6.402 \cdot 10^6$
	Napuknuće / polomljen	Ispitivanje curenja	(3)	$6.402 \cdot 10^6$
	Isticanje fluida	Ispitivanje curenja	(3)	$6.402 \cdot 10^6$
	Uklještenje		(4)	$6.402 \cdot 10^6$
	Oštećen	Ispitivanje curenja	(4)	$6.402 \cdot 10^6$



Slika 2. Matrični prikaz rješenja FMEC - Analize

5. DEFINIRANJE STRATEGIJE ODRŽAVANJA TEMPERATURNOG KOMPENZATORA NA OSNOVU ANALIZIRANIH PODATAKA

Definiranje strategije vrši se prema rezultatu FMEC – Analize. Pri tome se mogu koristiti dva načina vrednovanja i to:

- Vrednovanje prema veličini c_r broja od najvećeg do najmanjeg
- Vrednovanje prema veličini c_m broja od najvećeg do najmanjeg

U ovom slučaju koristit će se kritični broj načina otkaza c_m .

Kao što se vidi na slici 2. najveću opasnost od otkaza predstavlja prsnuće membrane kompenzatora. Prsnuće membrane može nastati u bilo kojem trenutku životnog ciklusa i najčešće do njega dolazi pojavom hidrauličkog udara. Iako se radi o slučajnom otkazu za koji bi se mogla primjeniti strategija održavanja prema stanju ne postoji dijagnostički alat koji može predvidjeti ili prikazati moguću pojavu hidrauličkog udara.

Tabela 6. Izbor strategije održavanja za pojedinačne načine otkaza temperaturnog kompenzatora

ID br.	Način otkaza	C_m	Strategija	Mjere prevencije nastanka i otkrivanja načina otkaza
1.	Prsnuće / eksplozija	$3.07 \cdot 10^{-2}$	„Run to failure“	<ul style="list-style-type: none"> • Obezbjedenje mjera zaštite cjevovoda od pojave i posljedica hidrauličnog udara • Pravilno konstruisanje membrane kompenzatora • Praćenje nivoa radnog pritiska fluida u cjevovodu kao i volumnog protoka fluida u cjevovodu
2.	Starenje	$7.38 \cdot 10^{-3}$	Preventivno održavanje	<ul style="list-style-type: none"> • Pravilno dimenzionisanje radnog vijeka zaptivača prema radnom vijeku dijelova cjevovoda
2.	Istrošenost	$2.95 \cdot 10^{-3}$	Preventivno održavanje	<ul style="list-style-type: none"> • Pravilno dimenzionisanje radnog vijeka zaptivača prema radnom vijeku dijelova cjevovoda
2.	Napuknuće / polomljen	$7.25 \cdot 10^{-4}$	Održavanje prema stanju	<ul style="list-style-type: none"> • Periodična vizuelna provjera curenja od strane radnika • Periodična provjera curenja gasa mjehurićima
2.	Isticanje fluida	$7.25 \cdot 10^{-4}$	Održavanje prema stanju	<ul style="list-style-type: none"> • Periodična vizuelna provjera curenja od strane radnika • Periodična provjera curenja gasa mjehurićima
1.	Istrošenost / starenje	$5.61 \cdot 10^{-4}$	Preventivno održavanje	<ul style="list-style-type: none"> • Pravilno konstruisanje membrane kompenzatora prema važećim standardima EJMA i EN – 13455 • Periodično vizualno provjeravanje stanja membrane • Periodična provjera debljine stijenke membrane kompenzatora
1.	Pukotine	$3.74 \cdot 10^{-4}$	Održavanje prema stanju	<ul style="list-style-type: none"> • Pravilno konstruisanje membrane kompenzatora prema važećem standardu EN – 13455 • Periodično vizualno provjeravanje stanja membrane • Periodična provjera pukotina penetrantima • Praćenje volumnog protoka fluida kroz cjevovod
2.	Oštećen	$3.63 \cdot 10^{-4}$		<ul style="list-style-type: none"> • Vizuelna provjera zaptivača prije ugradnje
2.	Uklještenje	$3.63 \cdot 10^{-4}$	Održavanje prema stanju	<ul style="list-style-type: none"> • Edukacija osoblja koje vrši instaliranje kompenzatora • Periodična vizuelna kontrola zaptivača • Pritezanje vijaka moment ključem
1.	Ogrebotine / bušenje / rez	$1.87 \cdot 10^{-4}$	Održavanje prema stanju	<ul style="list-style-type: none"> • Periodična vizuelna kontrola membrane • Edukacija osoblja koje vrši instaliranje kompenzatora • Osiguravanje vanjske zaštite membrane kompenzatora

Najbolja zaštita od hidrauličnog udara a samim tim i od prsnuća membrane kompenzatora se vrši prevencijom nastajanja hidrauličkog udara provođenjem mjera zaštite koje se usvajaju još u procesu konstruisanja cjevovodnog sistema.

Tabela 7. Mjere zaštite od hidrauličnog udara prilikom konstruisanja cjevovoda

Vrsta hidrauličnog udara	Opis vrste hidrauličnog udara	Mjere zaštite od hidrauličnog udara
Hidraulični udar izazvan naglom promjenom brzine strujanja tečnosti	Najčešća vrsta hidrauličnog udara koja nastaje iznenadnim zaustavljanjem struje tečnosti zatvaranjem ventila.	<ul style="list-style-type: none"> • Ugradnja nepovratnih ventila koji osiguravaju postepeno zatvaranje (silent check valves) • Ugradnja vodostana • Ugradnja hidrauličnih akumulatora • Smanjenje brzine zatvaranja ventila
Temperaturni hidraulički udar	Nastaje pri mješanju gasne faze fluida više temperature sa tečnom fazom fluida koja ima nižu temperaturu. Pri tome dolazi do prelaska gasne faze u tečnu što dovodi do naglog ubrzavanja strujanja tečne faze.	<ul style="list-style-type: none"> • Ugradnja armature koja gasnu fazu fluida usmjerava u smjeru toka tečne faze fluida te na taj način osigurava smanjenje djelovanja na stijenk cjevovoda • Ugradnja elemenata za odvođenje kondenziranog fluida • Ugradnja elemenata za odvođenje parne faze fluida iz cjevovoda
Diferencijalni hidraulički udar	Nastaje strujanjem dvikomponentnog fluida kroz cjevovod. Brzina gasne faze je u većini slučajeva mnogo veća od brzine strujanja tečne faze. Pri tome nastaju „valovi“ tečnog fluida koji mogu zatvoriti cijelu površinu cijevi. Kada se to dogodi tečni fluid onemogućava protok gasa koji povećava brzinu tečne faze.	<ul style="list-style-type: none"> • Izolacija cijevi radi smanjenja količine kondenzata • Ugradnja odvoda kondenzata ispred ventila i svih drugih dijelova cjevovoda gdje bi moglo doći do nakupljanja kondenzata

6. LITERATURA

- [1] Bruce E. Winston Total Quality Management, 1999
- [2] Reliability Analysis Center: Failure Mode / Mechanism Distributions, 1991
- [3] W. Denson, C. Greg, R. Waner: NRPD – 91 Nonelectric reliability part data, 1991
- [4] EN -13445 Unfired pressure vessels Part 3 Design, 2012