

KOMPENZATORI ZA TLAČNU PRIMJENU – KLASIFIKACIJA

Metal bellows expansion joints for pressure applications – classification

Pavić Josip ¹, Radojka Marković², Ivan Samardžić², Marić Dejan ²

¹ Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o, Dr. Mile Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

² Mechanical Engineering Faculty, Trg I. Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

Ključne riječi: kompenzatori, tlačna primjena, pomak, klasifikacija.

Sažetak:

U radu se opisuje klasifikacija kompenzatora prema njihovom tipu pomaka koji mogu apsorbirati prema normi EN 14917:2009. Opisuju se iskustva Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o pri projektiranju i primjeni pojedinih tipova kompenzatora, te su opisani najutjecajniji parametri pri projektiranju i odabiru kompenzatora. U radu su opisane i kategorije kompenzatora u skladu sa PED 97/23/EC.

Key words: metal bellows expansion joints, pressure applications, type of movement, classification

Abstract:

This paper describes the classification of metal bellows expansion joints according to their type of movement that can absorb according to EN 14917: 2009. The experiences of Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o are described in the design and application of some types of metal bellows expansion joints, and the most influential parameters are described in designing and selecting the metal bellows expansion joints. This paper also describes the categories of metal bellows expansion joints in accordance with PED 97/23/EC.

1. Uvod

Europska norma (EN 14917:2009) određuje zahtjeve za projektiranje, proizvodnju i ugradnju kompenzatora za tlačne primjene, pri maksimalno dopuštenom tlaku većem od 0.5 bara.

Kompenzatori, ekspanzijski spojevi sa metalnom harmonikom, koriste se kao dio cjevovoda ili kao dio tlačne posude i imaju jedan ili više metalnih valova. Metalni valovi služe za kompenzaciju ekspanzija ili kontrakcija u sustavima cjevovoda uzrokovanim uslijed promijena u dimenzijama cjevovoda, izazvanih najčešće promjenama temperature (okoliša i/ili protočnog radnog medija), tlaka, vibracija ili vanjskim fizičkim kretanjima. [1]

Kompenzatori se danas najviše primjenjuju u:

- gradskim i centralnim grijanjima,
- u kemijskim i petrokemijskim postrojenjima,
- u klimatizacijskim i ventilacijskim sistemima,
- u brodogradnji,
- u zrakoplovnim sistemima za gorivo i klimatizaciju,
- kod ispušnih sistema motora,
- u elektranama,
- kod izmjenjivača topline.

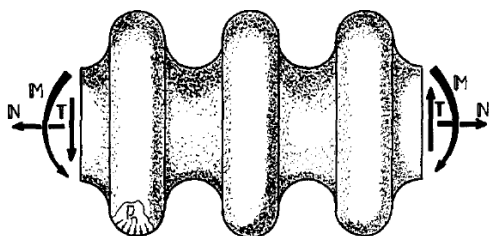
2. Parametri pri odabiru kompenzatora

Na odabir kompenzatora utječu slijedeći parametri: [2]

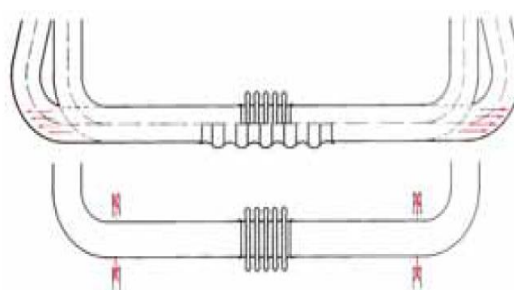
- tlak – radni, projektni i ispitni,
- temperatura – radna, projektna (minimalna/maksimalna),
- medij koji teče kroz cijev,
- sistem cjevovoda,
- pomaci koji će djelovati na kompenzator.

2.1 Tlak

Važno je znati radni, projektni i ispitni tlak kojem će kompenzator biti podvrgnut. Na slici 1 je prikazan rezultat djelovanja unutrašnjeg tlaka na valoviti dio kompenzatora, koji nastoji otvoriti kompenzator kako uzdužno tako i kružno po obodu.



Slika 1 Geometrija kompenzatora te utjecaj tlaka [3]



Slika 2 Djelovanje sile tlaka F_p na kompenzator [2]

Sila tlaka F_p je aksijalna sila koja nastaje kao posljedica unutrašnjeg tlaka koji nastoji kompenzator razvući u cijev (slika 2). Ova sila se izračunava se prema slijedećoj jednačbi [2]:

$$F_p = p \cdot A \quad (1)$$

$$A = \frac{D_m^2 \cdot \pi}{4} \quad (2)$$

- F_p - sila tlaka (N)
 p - unutrašnji tlak (N/mm²)
 A - efektivna površina kompenzatora (mm²)
 D_m - srednji promjer harmonike (mm)

Kod izračuna sile od unutarnjeg tlaka treba uzeti u obzir ispitni tlak iz razloga što je on najčešće maksimalno predvidivi tlak koji će opteretiti kompenzator.

2.2 Temperatura

Temperaturna dilatacija trase cjevovoda, produljenje ili skraćenje cjevovoda je u funkciji promjene temperature, vrsti materijala cjevovoda i dužini trase cjevovoda. O ovom parametru općenito ovisi pomak cjevovoda. Izračunava se prema slijedećoj jednačbi [4]:

$$\Delta l_T = \alpha \cdot \Delta T \cdot l \quad (3)$$

- Δl_T - ukupna dilatacija trase (mm)
 α - koeficijent toplinskog rastezanja (mm/m°C x 10⁻³)
 ΔT - raspon između maksimalne i minimalne temperature (°C)

l - duljina trase (m)

2.3 Medij

Medij kojem je izložen kompenzator kao i njegova agresivnost, okoliš u kojem je kompenzator ugrađen direktno utječu na izbor materijala iz kojeg će isti biti izrađen. Standardni kompenzatori uglavnom se izrađuju iz austenitnog nehrđajućeg čelika 18/8 koji je pogodan za veliki broj uvjeta, međutim ako materijal nije izabran u skladu sa unutrašnjim i vanjskim uvjetima eksploatacije to može uzrokovati propadanje kompenzatora. Primjer propadanja i neadekvatnog izbora materijala, te načini same sanacije i sprečavanja propadanja kompenzatora prikazani su na primjeru kompenzatora izrađenoga od materijala AISI 304L gdje je uslijed djelovanja agresivnog medija N_2 , H_2 , CO , CO_2 uz oko 50 ppm H_2S i pri tlaku od 2.1 MPa došlo do havarije i oštećenja kompenzatora. [3]

Nekoliko primjera medija kod kojih je bolje koristiti legure nikla:

- para uz prisustvo klorida, pregrijana para u kojoj su uvjeti visoko lužnati,
- sirova nafta ili morska voda koja stoji mirno u valovima kompenzatora,
- sirova nafta uz povećanu koncentraciju sumpora.

2.4 Sistem cjevovoda

Razmještaj cjevovoda i položaj glavnih uređaja uglavnom je već određen. Potrebno je podjeliti trasu cjevovoda u sekcije i odrediti položaj kompenzatora, položaj čvrstih točaka i vodilica, a zatim izduženje raznih dijelova cjevovoda.

Trasu cjevovoda neophodno je podjeliti u sekcije u slijedećim slučajevima:

- kada cjevovod ima mnogo koljena, a pomaci se javljaju u više od dvije ravnine,
- ako je pomak jedne ravne sekcije velik,
- kada je potrebno postaviti čvrsti oslonac na točno određeno mjesto.

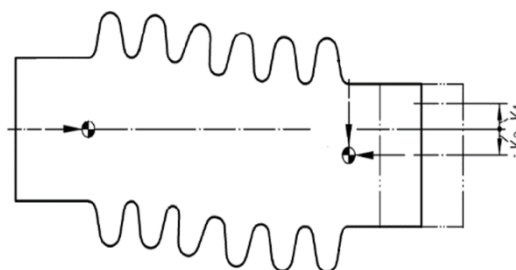
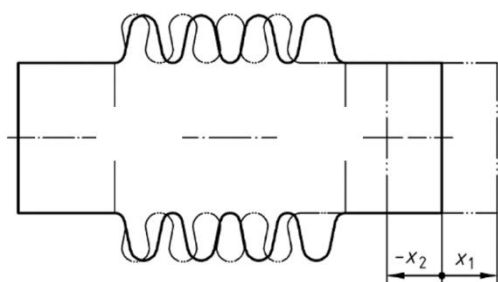
2.5 Pomak

Rezultanta sila koje opterećuju oslonac u cjevnom sistemu je suma:

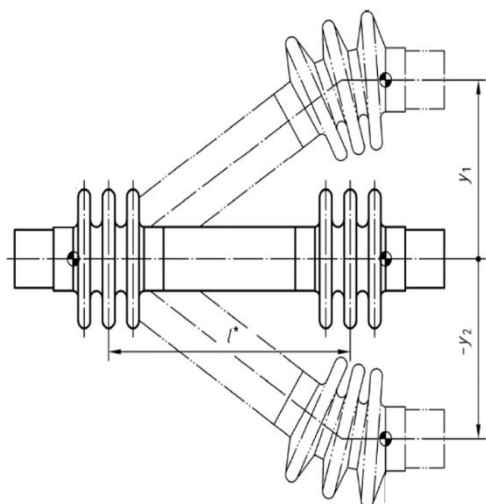
- Sila tlaka F_p (sila unutrašnjeg tlaka),
- Sila kompenzatora F_k (sila opružnog djelovanja kompenzatora),
- Sila trenja F_t (sila trenja cijevi koja se pomiče kroz vodilice),
- Centrifugalna sila F_c (sila koju uzrokuje tok medija na osloncima postavljenim na cjevnim koljenima),
- Vanjske sile (izvijanje i uvijanje palube broda, moment sile kod visokonadzemnih cjevovoda...).

Kompenzator mjenja svoj oblik u skladu sa silama koje djeluju na njega.

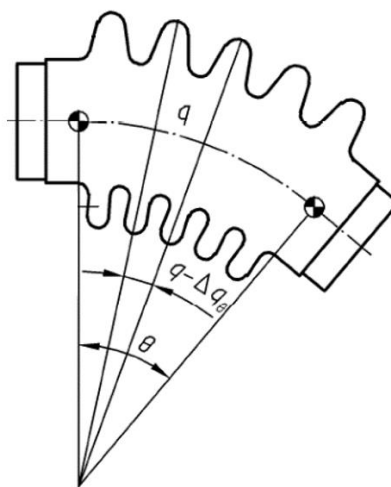
Pomak kompenzatora izražava se kvantitativno kao aksijalni, kutni i poprečni (slika 3 - 6).



Slika 3 Harmonika izložena aksijalnom pomaku x Slika 4 Harmonika izložena pop. pomaku



Slika 5 Poprečni pomak y / univerzalni kompenzator sa dvije harmonike i srednjom cijevi



Slika 6 Harmonika izložena kutnom pomaku θ

3 KLASIFIKACIJA KOMPENZATORA

Prema vrsti pomaka koji mogu prihvatiti kompenzatori se dijele na četiri osnovna tip prema normi HRN EN 14917 i to kako slijedi [5]:

- a) Aksijalni - Nespregnuti opterećeni unutarnjim tlakom
- Nespregnuti opterećeni vanjskim tlakom
- Spregnuti opterećeni unutarnjim tlakom
- b) Kutni - Zglobni
- Kardanski
- c) Poprečni - Dvostruki spregnuti s dva vijka
- Dvostruki spregnuti s dvije poluge
- Dvostruki spregnuti s više vijaka
- Dvozglobni
- Dvokardanski
- d) Univerzalni

a) *Aksijalni kompenzatori* su konstruirani (oblikovani) da prihvate pomake skupljanja ili istezanja duž uzdužne osi kompenzatora. Mogu biti opterećeni unutarnjim ili vanjskim tlakom i ne preuzimaju silu tlaka. Aksijalni kompenzatori zahtjevaju veće čvrste oslonce i odgovarajuće vođenje cijevi. Najveća sila koja opterećuje oslonce je sila tlaka, što znači da se aksijalni kompenzatori obično primjenjuju za manje promjere i niže tlakove. Na slici 7a prikazan je aksijalni nespregnuti kompenzator opterećen unutarnjim tlakom koji nema svojstvo preuzimanja sile tlaka F_p .

Spregnuti aksijalni kompenzatori ili kompenzatori sa izjednačenim tlakom oblikovani su da preuzmu silu tlaka putem sprega (slika 7b).

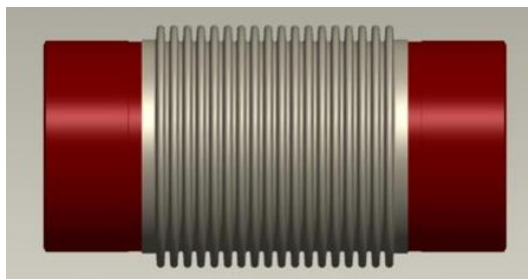
Prednosti:

- lako razumljivo rješenje kompenzacije,

- trasa cjevovoda ostaje nepromjenjena,
- minimalni prostor za ugradnju,
- dozvoljeni su minimalni poprečni i kutni pomaci,
- idealni elementi za rasterećenje osjetljivih elemenata (pumpe, motori, kompresori) ako su radni tlakovi niski,
- niska cijena koštanja.

Nedostaci:

- veliki čvrsti oslonci koji mogu biti tehnički ili ekonomski problem,
- za dugačke prave trase i velike pomake potrebno je više kompenzatora,
- kratke trase s dosta lomova zahtjevaju dosta čvrstih oslonaca i svaka mora biti posebno kompenzirana,
- rasterećenje osjetljivih strojnih elemenata (pumpe, motori, kompresori) nije sigurno u slučaju velikih promjera i visokih tlakova.



Slika 7a Aksijalni nespregnuti kompenzator opterećen unutarnjim tlakom [6]



Slika 7b Aksijalni spregnuti kompenzator opterećen unutarnjim tlakom [6]

b) Kutni kompenzatori su konstruirani (oblikovani) da prihvate kutni pomak i preuzmu silu tlaka. Zglobni kompenzatori su oblikovani tako da dopuštaju kutna zakretanja samo u jednoj ravnini. Krajnja opterećenja preuzimaju zglobni dijelovi, i stoga je ovaj tip kompenzatora idealan gdje praktički nije moguće postaviti robusne klizne točke ili jake čvrste točke na slici 3.2 nalazi se jedan kutni zglobni kompenzator koji ima mogućnost preuzimanja sile tlaka F_p .

Kardanski kompenzatori su oblikovani tako da dopuštaju kutna zakretanja u bilo kojoj ravnini, upotrebljavajući dva para zglobova postavljenih na odgovarajućem kružnom kardanskom prstenu. Kardanski prsten i zglobni dijelovi su oblikovane da preuzmu sile nastale djelovanjem unutrašnjeg tlaka.



Slika 8 Kutni zglobni kompenzator [6]

c) *Poprečni kompenzatori* su konstruirani (oblikovani) da prihvate poprečni pomak i preuzmu silu tlaka prikazan je na slici 9.

Prednosti kutnih i poprečnih kompenzatora:

- dimenzioniranje čvrstih oslonaca nije od prvobitnog značenja,
- kompenziranje izduženja bilo koje dužine je moguće,
- manji broj oslonaca i vodilica, nego kod kompenziranja s aksijalnim kompenzatorima,
- kompenziranje izduženja u više ravnina,
- sprege (vijci i poluge) omogućuju da se spregnuti kompenzatori primjenjuju za rasterećenje osjetljivih elemenata (pumpe, motori, kompresori).

Nedostaci kutnih i poprečnih kompenzatora:

- neophodno je da se trasa cjevovoda lomi,
- zahtjevaju više mjesta za ugradnju od aksijalnih kompenzatora.

Kod spregnutih kompenzatora razlikujemo kompenzatore za kutni pomak i poprečni pomak. Spregnuti kompenzatori ne mogu se ugrađivati u cjevovod i preuzimati aksijalno izduženje. U tom slučaju potrebni su lomovi trase cjevovoda, kako bi se aksijalno izduženje cjevovoda pretvorilo u poprečno ili kutno zakretanja kompenzatora. Spregnuti kompenzatori su dobili naziv po spregama (vijci ili poluge) koje imaju, a služe za preuzimanje sile tlaka. Kako je sila tlaka jedna od utjecajnih parametara na dimenzioniranje čvrstih oslonaca njezinim sprežanjem nisu potrebne masivni čvrsti oslonci kao kod aksijalnih kompenzatora.



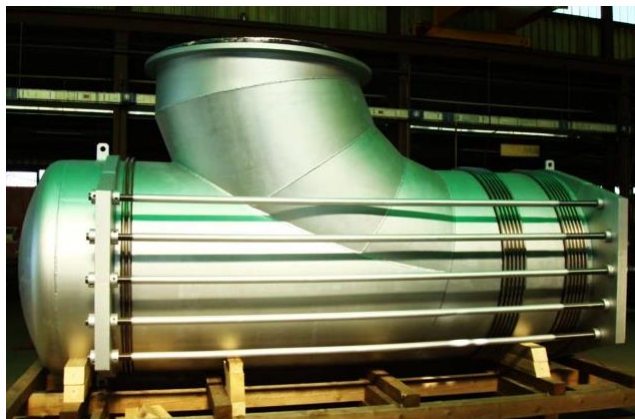
Slika 9 Poprečni dvozglojni kompenzator [6]

d) *Univerzalni kompenzatori* su konstruirani (oblikovani) da prihvate pomake skupljanja ili istezanja duž uzdužne osi kompenzatora, poprečni pomak u jednoj ili više ravnina i preuzmu silu tlaka. Na slici 10 prikazan je jedan tip univerzalnog kompenzatora (kompenzator sa izjednačenim tlakom).

Kod kompenzatora sa izjednačenim tlakom sila uslijed unutrašnjeg tlaka se eliminira konstrukcijom kompenzatora tako da se na ostatak cjevovoda prenosi samo sila uslijed opružnog

djelovanja. Sprezni vijci su uvijek u kontaktu sa nosivom prirubnicom i stoga je sila tlaka zadržana u samom kompenzatoru. Aksijalni pomak cjevovoda stišće jedan dio kompenzator, dok se drugi dio kompenzatora isteže za istu veličinu uslijed djelovanja tlaka na slijepi kraj cijevi.

Primjenjuju se u cjevovodima gdje se ne mogu izvesti čvrste točke, gdje je prostorom ograničena primjena nekih drugih rješenja, te kada je potrebno maksimalno smanjiti opterećenje na ostalu opremu u cjevovodu kao što su turbine, pumpe, ventili i dr.



Slika 10 Univerzalni kompenzator [6]

4 KATEGORIJE KOMPENZATORA [5,7]

Kompenzatori su sastavni dijelovi posuda pod tlakom i cjevovoda i njihova primjena je direktno vezana uz PED (Pressure Equipment Directive 97/23/EC) uz specifičnosti vezane za kompenzatore. Prema PED-u, oprema pod tlakom razvrstava se prema kategorijama sukladno rastućoj razini opasnosti. Kategorije ovise o PS (najveći dopušteni tlaku), V (volumenu posude) ili DN (promjeru cjevovoda), mjestu ugradnje (posuda ili cjevovod) i vrsti fluida.

Fluidi su, prema PED-u, podjeljeni u dvije skupine:

Skupina 1: sadrži opasne fluide definirane kao:

- eksplozivni,
- ekstremno zapaljivi,
- vrlo zapaljivi,
- zapaljivi (gdje je maksimalna dopuštena temperatura iznad točke zapaljenja),
- vrlo toksični,
- toksični.

Skupina 2: obuhvaća sve druge tekućine koje nisu navedeni u Skupini 1.

Kada se kompenzatori koriste kao dio posuda pod tlakom kategorija kompenzatora koji se koriste određuje se volumenom posuda u kojoj je ugrađen. Ako se posuda sastoji od više komora, ona se razvrstava u najvišu kategoriju koja se primjenjuje na pojedinačnu komoru. Ako komora sadrži nekoliko tekućina, razvrstavanje mora biti na osnovi tekućine koja zahtijeva najvišu kategoriju. Kategorija kompenzatora koji se koriste u cjevovodima normalno se određuje pomoću promjera (DN) cijevi na koju je spojen. U slučaju da je kompenzator konstruiran tako da mu je promjer puno veći od promjera cjevovoda kategoriju kompenzatora treba odrediti koristeći ovaj promjer.

U kategoriju SEP (Sound engineering practice) kompenzatori se razvrstavaju kada su zahtjevi za projektiranje, proizvodnju i ugradnju ispod zahtjeva u kategorijama kompenzatora u posudama pod tlakom ili cjevovodu. Kompenzatori su izrađeni u skladu sa inženjerskom praksom kako bi se osigurala sigurna upotreba i u tom slučaju se ne smiju označavati CE oznakom. Kompenzatori ugrađeni u posude pod tlakom ili u cjevovode klasificiraju se prema kategorijama fluida koji struji (plin, ostale tekućine) te prema skupinama 1 ili 2.

6. Zaključak

Kompenzatori su danas sastavni dio cjevovoda i posuda pod tlakom. Dizajnirani su tako da ispunjavaju zahtjeve u pogledu maksimalnog tlaka i temperature u cjevovodu, jer ova kombinacija tlaka i temperature predstavlja minimum teško predvidivih radnih uvjeta. Podaci o mediju i njegovoj agresivnosti, brzini protoka medija, pomacima koji mogu biti uzrokovani temperaturom, pomjeranjem tla, netočnostima montaže, vibracijama su sve dodatne informacije koje utječu na projektiranje, proizvodnju i ugradnju pojedinih tipova kompenzatora.

Pored kompenzatora spomenutih u radu Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o. u mogućnosti je ponuditi široku paletu standardnih i specijalnih kompenzatora koji mogu zadovoljiti i najsloženije radne uvjete.

7. Literatura

- [1] S. Igi, H. Katayama I M. Kawahara: Evaluation of mechanical behavior of new type bellows with two-directional convolutions, *Nuclear Engineering and Design*, pp. 107-114, 13 September 2000.
- [2] Katalog Kompenzatora: *Đuro Đaković Tendington tvornica kompenzatora*, Slavonski Brod.
- [3] B. Skoczen, J. Skrzypek: Application of the equivalent column concept to the stability of axially compressed bellows, *Int. J. Mech. Sci.* Vol. 34, No. 11, pp. 901-916, 1992
- [4] I. Alfirović: *Nauka o čvrstoći I*, Zagreb, ITP Tehnička knjiga, d.d., 1995, 318str.
- [5] EN 14917, Metal bellows expansion joints for pressure applications
- [6] Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o., Slavonski Brod, Galerija. <http://www.kompenzatori.hr/hr/>
- [7] Pressure Equipment Directive PED 97/23/EC