

Mislav Ilijašević
Končar Distributivni i specijalni transformatori d.d.
mislav.ilijasevic@koncar-dst.hr

Branimir Ćučić
Končar Distributivni i specijalni transformatori d.d.
branimir.cucic@koncar-dst.hr

HERMETIČKI ZATVORENI ENERGETSKI TRANSFORMATORI MANJIH SNAGA

SAŽETAK

Energetski transformatori uobičajeno se izvode s konzervatorom, koji služi za kompenzaciju volumena ulja uslijed promjene temperature. Izvedba s konzervatorom podrazumijeva da je ulje u dodiru sa zrakom, čime postoji mogućnost pojave plinova i vlage u ulju. Također je potrebno redovito održavanje (sušionik zraka). Kod hermetički zatvorenog energetskog transformatora kompenzacija volumena ulja se odvija u hladilima. Tako ne postoji doticaj ulja sa zrakom te se smanjuje potrebno održavanje transformatora. Masa transformatora je manja jer nema potrebe za konzervatorom i dodatnom količinom ulja u njemu.

Budući da na tržištu u slobodnoj prodaji ne postoje hladila koja dopuštaju ekspanziju ulja (ekspanziona hladila), razvijena je konstrukcija takvog hladila i napravljen prototip. Rješenje je provjereno na energetskom transformatoru 8 MVA te je zadovoljavajuće prošlo ispitivanja.

Ključne riječi: ekspanzioni hladnjaci, hermetički zatvoreni energetski transformatori

SEALED TYPE SMALL POWER TRANSFORMERS

SUMMARY

Power transformers are usually designed with the conservator, which is used to compensate for the change in oil volume due to temperature changes. Version with conservator implies that the oil is in contact with air, whereby there is the possibility of gases and moisture in the oil. Maintenance is necessary (air dehydrator). In the hermetically sealed power transformer compensation of oil volume occurs in coolers. Thus, oil is not in contact with air, and less maintenance of the transformer is needed. The mass of the transformer is lower because there is no need for a conservator and an additional amount of oil in it.

Since such coolers that allow oil expansion (expansion coolers) are not commercially available on the market, design of such cooler is developed and prototype is built. The solution is verified on the power transformer 8 MVA and satisfactorily passed the test.

Key words: expansion coolers, sealed type power transformers

1. UVOD

Prilikom zagrijanja ulja u transformatoru, ono mijenja svoj volumen. Da bi se kompenzirala ta promjena volumena, uobičajena izvedba transformatora je sa konzervatorom u kojem se odvija širenje i skupljanje ulja. No takvo rješenje znači da je ulje u dodiru sa zrakom, što povlači sa sobom potrebu za dodatnom opremom (sušionik zraka) koju je potrebno održavati.

70-tih godina prošlog stoljeća su se distributivni transformatori – čiji su kotlovi izvedeni sa valovitim stranicama gdje valovi služe kao rashladna površina – počeli izvoditi kao hermetički zatvoreni. Na taj način valovi osim za hlađenje svojom elastičnošću omogućavaju promjenu volumena ulja. Takav koncept se pokazao pouzdan i učinkovit, te se distributivni transformatori sa valovitim stranicama do snage 8MVA u pravilu izvedu kao hermetički zatvoreni.

Postavlja se pitanje da li se kod energetskih transformatora može primijeniti isti princip. U ovom članku je opisan razvoj ekspanzionog hladnjaka, koji osim hlađenja svojom elastičnošću omogućava promjenu volumena ulja.

2. DIZAJN EKSPANZIONOG HLADNJAKA

Hladnjaci energetskih transformatora rade se iz čeličnog lima prema EN 10130:2006 [1]. Debljina lima je 1 ili 1.2 mm. Valovite stranice distributivnih transformatora rade se iz iste vrste lima, debljina 1, 1.2 i 1.5 mm. To znači da materijal za izradu ekspanzionog hladnjaka može ostati isti kao i za obični hladnjak, budući je podesan za veće deformacije koje su potrebne da bi se osiguralo širenje ulja.

Ako se promatra običan hladnjak, on nema dovoljnu elastičnost tj. rastom temperature ulje bi se širilo, ali zbog velike krutosti bi došlo do velikog porasta tlaka i havarije transformatora. Postoji više konstrukcijskih rješenja kako povećati elastičnost, tj. omogućiti veće deformacije a da ne dođe do loma ili gubitka mehaničke stabilnosti.

Ukupno su razrađena 4 konstrukcijska rješenja, od kojih je odabrano najpovoljnije. Važno je naglasiti da hladnjaci variraju po visini, te da su neka konstrukcijska rješenja povoljnija za manje visine, a neka za veće visine. Također debljina lima utječe na karakteristike hladnjaka. Ovdje prikazani ekspanzioni hladnjaci su konstrukcijski izvedeni tako da su pogodni za izvedbe u visinama hladnjaka 1100-1800 mm, što znači da su pogodni za energetske transformatore manjih snaga (cca 4-25 MVA). Za hladnjake manje od 1100 i više od 1800 mm potrebna je drugačija konstrukcijska izvedba.

3. ELASTIČNOST EKSPANZIONOG HLADNJAKA

Osnovno svojstvo ekspanzionog hladnjaka je njegova elastičnost. Projektant mora znati koliko se jedan članak hladnjaka može deformirati, tj. koliko ulja može u njega stati, te koliki je pri tome tlak. Pretpostavka koja je dokazana u praksi jest da je svaki članak hladnjaka zaseban, tj. nije važno da li hladnjak ima 5 ili 50 članaka, svaki članak se ponaša nezavisno od ostalih. Zbog toga su sva ovdje prikazana mjerenja svedena na jedan članak.

Za mjerenje elastičnosti ekspanzionog hladnjaka korištena je oprema prikazana na slici 1. Princip mjerenja je da se u hladnjak utisne određena količina ulja i pri tome mjeri tlak u hladnjaku. Mjerenjem u uzastopnim točkama dobije se krivulja ovisnosti tlaka i volumena. Ista stvar se napravi sa izvlačenjem ulja iz hladnjaka, pri čemu se mjeri nastali potlak. Teoretski, ovisnost tlaka i volumena je linearna.

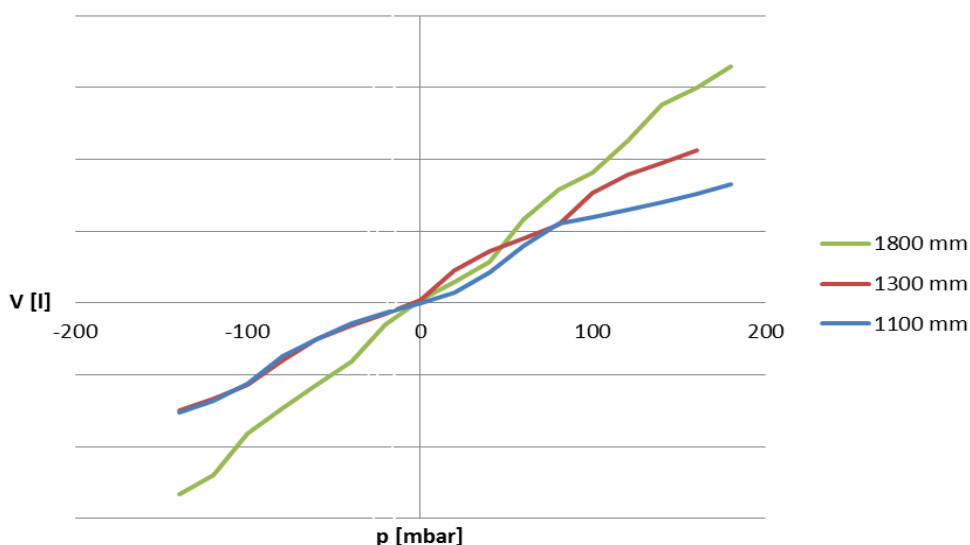
U trenutku kada deformacija stranica hladnjaka postane trajna, to je gornja granica do koje se ekspanzioni hladnjak može deformirati u eksploataciji, a tlak u tom trenutku je maksimalni radni tlak.



Slika 1. Mjerenje elastičnosti ekspanzionog hladnjaka

3.1. Rezultati mjerenja elastičnosti

Iskustvo s valovitim stranicama distributivnih transformatora pokazuje da elastičnost rebra ovisi o visini rebra. Zbog toga su napravljena 3 prototipa visina 1100, 1300 i 1800 kako bi se izmjerila njihova elastičnost. Rezultati mjerenja prikazani su na slici 2.

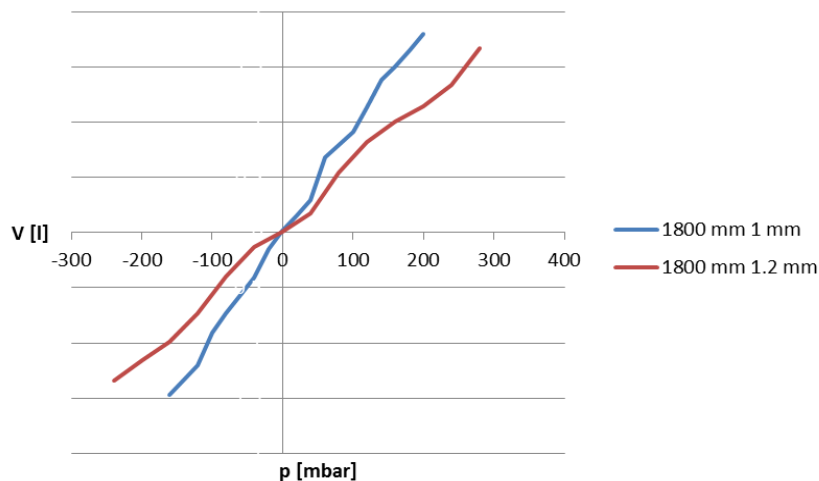


Slika 2. Rezultati mjerenja elastičnosti ekspanzionog hladnjaka

Položenost krivulje označava elastičnost. Što je položenost veća (manji nagib krivulje) to je elastičnost manja. Vidi se da je krivulja za 1100 mm najpoloženija, tj. za hladnjak visine 1100 mm za isti tlak je potreban najmanji dodatni volumen ulja u hladnjaku. Hladnjak visine 1800 mm može primiti najveći dodatni volumen ulja.

3.2. Faktori koji dodatno utječu na elastičnost

Najvažniji faktor koji utječe na elastičnost je debljina lima. Standardne debljine koje se koriste su 1 i 1.2 mm. Na ekspanzionom hladnjaku visine 1800 mm napravljeno je mjerenje elastičnosti na hladnjacima napravljenim iz lima 1 i 1.2 mm. Rezultati su prikazani na slici 3.

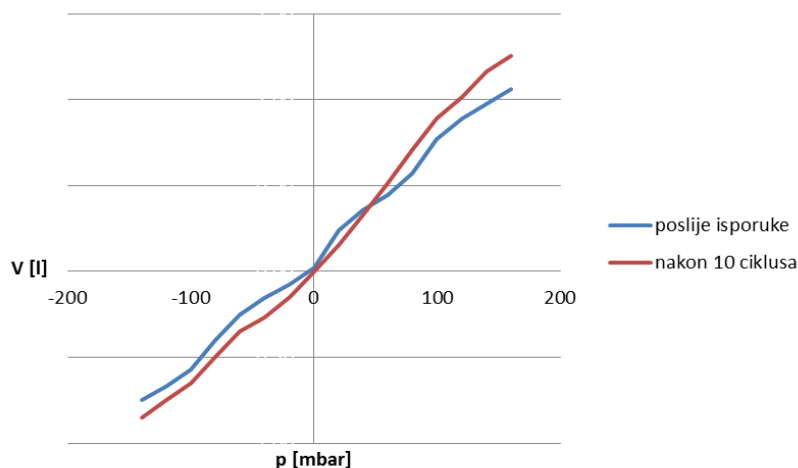


Slika 3. Rezultati mjerenja elastičnosti ekspanzionog hladnjaka visine 1800 mm

Rezultati su u potpunosti u skladu sa očekivanjima. Upotreba tanjeg lima 1 mm doprinosi većoj elastičnosti, te su radni tlakovi manji što je također povoljnije. Izmjerene deformacije na hladnjaku iz lima 1 mm su zadovoljavajuće.

Iskustvo sa valovitim stranicama distributivnih transformatora pokazuje da elastičnost rebra ne ovisi samo o dimenzijama rebra i debljini lima. Zbog toga su za ekspanzione hladnjake napravljena dodatna ispitivanja.

Hladnjak je tijekom izrade podvrgnut velikim temperaturnim opterećenjima (uslijed zavarivanja i eventualno vrućeg cinčanja). Zbog toga se u materijalu javljaju zaostala naprezanja, što se pokazuje pri mjerenju elastičnosti. Ekspanzioni hladnjak je prvi put ispitan odmah nakon isporuke, a drugi put nakon 10 ciklusa (tijekom ciklusa je variran tlak u hladnjaku). Takvo cikličko opterećenje je omogućilo relaksaciju zaostalih naprezanja. Na slici 4 su prikazani rezultati mjerenja elastičnosti hladnjaka visine 1300 mm u ta dva slučaja.

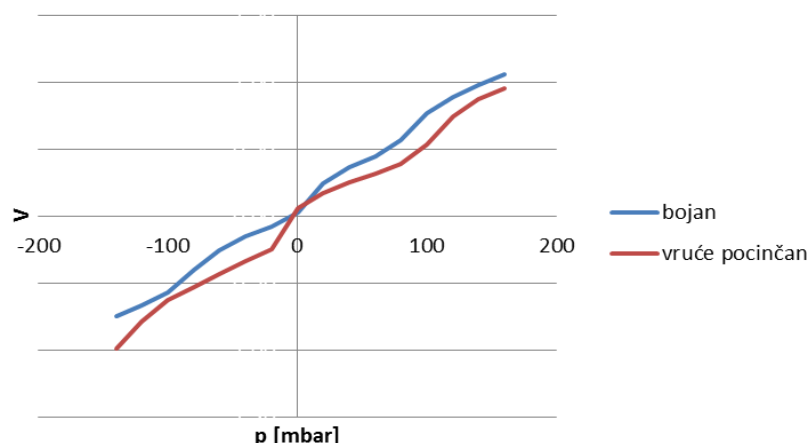


Slika 4. Rezultati mjerenja elastičnosti ekspanzionog hladnjaka visine 1300 mm

Rezultati mjerenja pokazuju da relaksacijom zaostalih naprezanja dolazi do povećanja elastičnosti. To se treba uzeti u obzir prilikom projektiranja transformatora. Dodatna ispitivanja pokazuju da je relaksacija najizraženija u nekoliko prvih cikličkih opterećenja, tj. da dodatno cikličko opterećenje hladnjaka vrlo malo mijenja elastičnost.

Vrsta antikorozivne zaštite također ima utjecaj na elastičnost. Vruće cinčanje nanosi na stjenku hladnjaka dodatni sloj metalne navlake (debljine 0.08 mm), što nije zanemarivo obzirom na debljinu osnovnog materijala od 1 mm. Zbog toga su napravljena mjerenja elastičnosti ekspanzionog hladnjaka

visine 1300 mm za dvije izvedbe – jedan hladnjak je bojan, a drugi vruće cinčan. Rezultati su prikazani na slici 5.



Slika 5. Rezultati mjerenja elastičnosti ekspanzionog hladnjaka visine 1300 mm

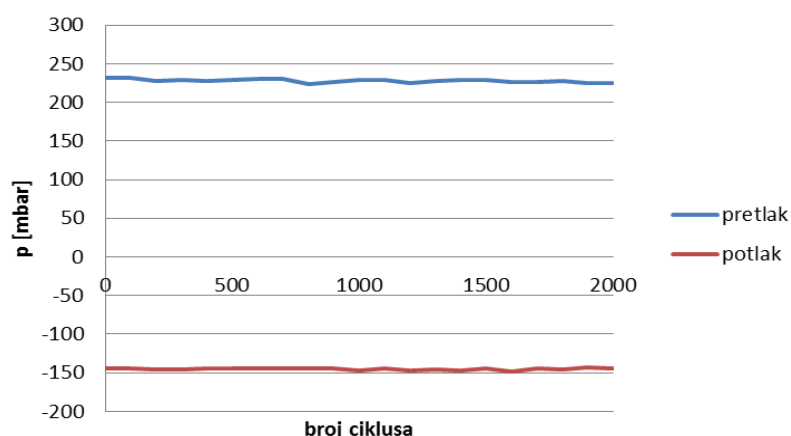
Vruće cinčani ekspanzioni hladnjak ima veću krutost, što je sukladno očekivanjima budući ima veću debljinu stjenke.

4. CIKLIČKO ISPITIVANJE

Određivanje elastičnosti ekspanzionog hladnjaka važno je da bi se mogao ispravno projektirati, međutim time se još uvijek ne dokazuje da je hladnjak sposoban izdržati životni vijek od 30 godina.

Kod distributivnih transformatora ispitivanje životnog vijeka valovitih kotlova definirano je standardom EN 50464-4 [2]. Standard definira da valoviti kotao mora izdržati 2000 ciklusa, pri čemu je svaki ciklus definiran minimalnom temperaturom $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ i maksimalnom temperaturom $+88\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kod energetskih transformatora ne postoji standard koji bi pokrивao to područje dokazivanja životnog vijeka. Zbog toga je odlučeno da se ekspanzioni hladnjaci ispituju prema [2], budući su ekspanzioni hladnjaci izrađeni iz istog materijala kao valoviti kotlovi i imaju istu funkciju.

Cikličko ispitivanje je napravljeno na opremi prikazanoj na slici 1. Prilikom svakog ciklusa zabilježen je maksimalni i minimalni tlak u ekspanzionom hladnjaku. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 6.



Slika 6. Rezultati cikličkog ispitivanja ekspanzionog hladnjaka visine 1300 mm

Rezultati ispitivanja pokazuju da se ekspanzioni hladnjak ponašao izuzetno stabilno. Uobičajeno je da valoviti kotao nakon početka cikličkog ispitivanja doživi manji pad tlaka, što se kod ekspanzionog hladnjaka nije dogodilo. Također standard [2] dopušta pojavu trajne deformacije nakon cikličkog

ispitivanja, tj. dopušta da se nakon ispitivanja u kotao dolije određena količina ulja. Kod ekspanzionih hladnjaka trajne deformacije uopće nije bilo, tj. nije bilo potrebe dolijevati ulje.

Konačni zaključak je da je ovakva konstrukcijska izvedba ekspanzionog hladnjaka vrlo pouzdana, tj. da je ekspanzioni hladnjak sposoban podnijeti sva naprezanja uslijed temperaturnih oscilacija u tijeku cijelog svog životnog vijeka.

5. IZRADA PROTIPNOG TRANSFORMATORA

Nakon svih provedenih testiranja napravljen je prototip transformatora koji će imati ugrađene ekspanzione hladnjake. Prototip snage 8 MVA prikazan je na slici 7.



Slika 7. Prototip transformatora 8 MVA sa ekspanzionim hladnjacima

Vidljivo je da prototip transformatora osim ekspanzionih hladnjaka (koji se po vanjskom izgledu po ničemu ne razlikuju od običnih hladnjaka) ima i konzervator. Razlog je što je rađena dva pokusa zagrijanja, jedan sa ekspanzionim hladnjacima i jedan sa konzervatorom.

Rezultati pokusa zagrijanja pokazuju da se ekspanzioni hladnjaci sa stajališta zagrijanja ponašaju kao i kod transformatora sa običnih hladnjacima i konzervatorom. Utjecaj smanjenja zračnog raspora između članaka zbog širenja hladnjaka je zanemariv. Nakon pokusa zagrijanja tlak u transformatoru se vratio na početnu vrijednost što znači da nije došlo do trajne deformacije hladnjaka, tj. da su ekspanzioni hladnjaci pravilno dimenzionirani.

Također je napravljeno mjerenje elastičnosti cijelog transformatora sa 8 ekspanzionih hladnjaka i uspoređeno sa elastičnosti jednog hladnjaka (svedeno na 1 članak). Rezultati pokazuju da je kotao vrlo krut, tj. da pri proračunu elastičnosti treba uzeti u obzir samo ekspanzione hladnjake, a ne i kotao.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu razvijene konstrukcije ekspanzionog hladnjaka visine 1100-1800 mm (za energetske transformatore manjih snaga, 4-25 MVA) i provedenih ispitivanja, može se zaključiti da su ekspanzioni hladnjaci dovoljno elastični da bi se u njima mogla odvijati ekspanzija ulja. Pri tome neće doći do prevelikih deformacija hladnjaka, niti će biti narušena njihova funkcija. Ekspanzioni hladnjaci su sposobni podnijeti sva naprezanja uslijed temperaturnih oscilacija u cijelom svom životnom vijeku.

Predloženo rješenje zadovoljava po svim tehničkim pitanjima, a upotreba ekspanzionih hladnjaka bi učinila transformator lakšim, manjih dimenzija, jeftinijim za izradu, jeftinijim za održavanje, i pouzdanijim u radu.

7. LITERATURA

- [1] EN 10130:2006 Cold Rolled Low Carbon Steel Flat Products For Cold Forming
- [2] EN 50464-4 Three-phase oil-immersed distribution transformers 50 Hz, from 50 kVA to 2500 kVA with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV – Part 4: Requirements and tests concerning pressurised corrugated tanks, April 2007.