

Tehnička ispitna stanica u funkciji utvrđivanja nepropusnosti transformatorskih kotlova

Čavlek, Mladen

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:956943>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-22**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository - Polytechnic of Međimurje Undergraduate and Graduate Theses Repository](#)



MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Mladen Čavlek

**TEHNIČKA ISPITNA STANICA U FUNKCIJI
UTVRĐIVANJA NEPROPUSNOSTI
TRANSFORMATORSKIH KOTLOVA**

ZAVRŠNI RAD

Čakovec, 2022.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Mladen Čavlek

**TECHNICAL TEST STATION IN THE FUNCTION OF
DETERMINING THE TIGHTNESS OF
TRANSFORMER TANKS.**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr.sc. Sarajko Baksa, prof. v.š.

Čakovec, 2022.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Čakovec, 24. veljače 2022.

država: **Republika Hrvatska**
Predmet: **Mehanika fluida**
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 2021-OR-I-74

Pristupnik: **Mladen Čavlek (0313024817)**
Studij: **izvanredni preddiplomski stručni studij Održivi razvoj**
Smjer: **Termotehničko strojarstvo**

Zadatak: **TEHNIČKA ISPITNA STANICA U FUNKCIJI UTVRĐIVANJA
NEPROPUSNOSTI TRANSFORMATORSKIH KOTLOVA**

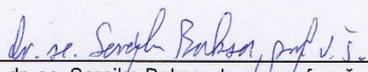
Opis zadatka:

Tehničkom zračnom ispitnom stanicom testiraju se transformatorski kotlovi i ispituje se nepropusnost na traž ulje, zavarenih kutnih i sučeonih spojeva. Za ispitivanje se koristi Penetrant; HELLING-MET-L-CHEK-FP93TU. Ovisno o konstrukciji i veličini samih kotlova, ispitna stanica radi s manjim tlakovima u više radno ispitnih ciklusa; od 0,15 bara do maksimalno 0,3 bara.

Zadatak uručen pristupniku: 24. veljače 2022.
Rok za predaju rada: 20. rujna 2022.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:


dr. sc. Sarajko Baksa, dr. sc. prof. v. š.

ZAHVALA

Zahvaljujem se poštovanom mentoru dr.sc. Sarajku Baksi, prof. v.š. na savjetu i uputama prilikom izrade završnog rada. Također se zahvaljujem obitelji, tvrtki Ferokotao, kolegama s posla, studentima i ostalim profesorima na kolegijalnim i stručnim savjetima.

Mladen Čavlek

Sažetak

Ispitna stanica za ispitivanje nepropusnosti transformatorskih kotlova je specijalni uređaj koji je načinjen glede ispitivanja valovitih kotlova. Ispitivanje se provodi zrakom u više intervala odnosno simulacije širenja (grijanja) i vraćanja u normalno stanje (hlađenja), kao što su radni ciklusi samog transformatora (transformatorskog kotla). Ispitivanjem se oslobađaju unutrašnje napetosti zavarenih spojeva i ispituju zavareni kutni i sučeljeni spojevi na nepropusnost transformatora. U ispitivanju se koristi penetrant "HELING-MET-L-CHEK-FP93TU" zbog lakšeg detektiranja mogućeg propuštanja. Na ispitnoj stanici ispituje se maksimalni volumen kotla do 3 m³. Volumen je jedan od parametara koji je nepoznat i nije ga moguće izravno iščitati iz dokumentacije, a za samo ispitivanje i nije relevantan.

Ispitni tlak ovisi o dimenziji valovite stranice, debljine i materijala stranice, izvedbi transformatora, te je li hermetički zatvoren ili ima ekspanzivnu posudu. Tlak se koristi za istiskivanja penetranta kroz greške u zavarenom spoju ne bi li se našle greške kod kojih može doći do propuštanja ulja. Ispitni tlakovi variraju o veličini kotlova i zahtjevu kupaca. Za sada se može reći da za veliku većinu kotlova tlak iznosi 0,15 bara, a za manjinu kotlova tlak iznosi 0,085 bara. Postoje posebni zahtjevi za ispitivanje specijalnih transformatora koji se koriste u rudarstvu, točnije u rudarskim jamama. Transformatori se ispituju predtlak od 0,6 bara i podtlak 0,3 bara. Prilikom ispitivanja specijalnih transformatora dolazi do plastične deformacije kotla što kupac traži kao dokaz da su transformatori ispitani na odgovarajući način.

U radu će se detaljnije obrazložiti ispitni postupak stanice u funkciji ispitivanja transformatorskih kotlova na tlak. Valoviti kotlovi su napravljeni od limova 0,8 mm, 1,0 mm, 1,2 mm, i 1,5 mm iz čega su napravljene stranice transformatorskih kotlova, dok su dijelovi okvira i dna napravljeni od limova 5 mm. Transformatorski kotlovi u funkciji imaju radni tlak do maksimalno 0,2 bara, stoga se ispitivanja rade na manjim tlakovima glede moguće plastične deformacije samih kotlova.

Ključne riječi: *ispitna stanica, zavarivanje, ispitni tlak, transformatorski kotao*

Summary

The test station for testing the tightness of transformer boilers is a special device that is made only for the purpose of testing corrugated boilers. The test is carried out by air at several intervals or simulations of expansion (heating) and return to normal state (cooling) such as the working cycles of the transformer itself (transformer boiler). The test releases the internal tension of the welded joints and tests the welded angular and interface joints to the tightness of the transformer. The study uses the penetrant "HELING-MET-L-CHEK-FP93TU" for easier detecting of possible leakage. At the test station, the maximum tested volume of the boiler goes up to 3 m³. The volume is one of the unknown parameters and it cannot be read directly from the documentation, it is not relevant for the test.

The test pressure depends on the dimension of the corrugated side, the thickness and material of the side, the performance of the transformer and whether it is hermetically sealed or has an expansive vessel. Pressure is used to squeeze out penetrants through errors in the welded joint in order to find errors in which oil may leak. Test pressures vary on the size of the boilers and the requirement of customers. For now, it can be said that for most boilers the pressure is 0,15 bar, and for a minority of boilers the pressure is 0,085 bar. There are special requirements for testing special transformers used in mining, more precisely in mining pits. Transformers are tested at a pressure of 0,6 bar and underpressure of 0,3 bar. When testing special transformers, plastic deformation of the boiler occurs, which the buyer looks for as proof that the transformers have been tested appropriately.

The paper will explain in more detail the testing process of the station in the function of testing transformer pressure boilers. The corrugated boilers are made of sheets of 0,8 mm, 1,0 mm, 1,2 mm, and 1,5 mm from which the sides of transformer boilers are made, while parts of the frame and bottom are made of 5 mm sheets. Transformer boilers while in operation have a working pressure of up to a maximum of 0,2 bar, so the tests are done at lower pressures due to the possible plastic deformation of the boilers themselves.

Keywords: *Test station, welding, test pressure, transformer boiler*

Sadržaj

1. UVOD	1
2. KOTLOVI	2
2.1. Distributivni kotlovi	2
3. ZAVARIVANJE	3
3.1. Vrste i opis postupaka zavarivanja	6
3.1.1. Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti plina - MIG / MAG.....	6
3.1.2. Ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom - REL	6
3.1.3. Elektrolučno zavarivanje pod praškom - EPP	7
3.2. Vrste zavarenih spojeva	8
4. POSTUPAK NANOSA PENETRANTA	10
4.1. TIG zavarivanje	12
5. ISPITNA STANICA	14
5.1. Postupak ispitivanja na nepropusnost zavarenog spoja	16
5.2. Ispitivanje specijalnih transformatora	19
5.3 Princip ispitivanja specijalnih transformatora u tvrtki Ferokotao	21
5.3.1. Punjenje kotla vodom	21
5.3.2. Dodavanje inhibitora	22
5.3.3. Zatvaranje kotla poklopcem pomoću matica, podloška i vijaka	22
5.3.4. Završno punjenje do razine završetka poklopca	23
5.3.5. Nanos penetranta radi provjere propusnosti zavara	23
5.3.6. Montiranje manometra i pumpom puštanje zraka	24
5.3.7. Iščitavanje vrijednosti tlaka	25
5.3.8. Praćenje promjena - prije / poslije	25
6. UREĐAJ ZA CIKLIČKO ISPITIVANJE KOTLOVA DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA PREMA NORMI EN 50464 - 4	27
7. ZAKLJUČAK	31
8. POPIS LITERATURE	32
POPIS SLIKA	33
POPIS TABLICA	34
POPIS DIJAGRAMA	35

1. UVOD

Ispitivanje tlakom provodi se kako bi se osigurala sigurnost, pouzdanost i nepropusnost zavarenih spojeva. Postoje dvije metode tlačnih ispitivanja: hidrostatska i pneumatska. Hidrostatičko ispitivanje provodi se korištenjem vode kao ispitnog medija, dok se pneumatsko ispitivanje koristi zrakom, dušikom ili bilo kojim nezapaljivim i netoksičnim plinom. Sva ispitivanja tlaka moraju se provesti pomoću manometra koji je kalibriran u prethodnih 12 mjeseci. Manometar treba biti dimenzioniran tako da ispitni tlak bude u srednjoj trećini raspona tlaka manometra.

Materijali i tekućine za mjerenje moraju biti kompatibilni s ispitnom tekućinom. Ispitivanje tlaka uvijek se mora izvoditi u kontroliranim uvjetima, prema odobrenom planu ispitivanja i dokumentirati u zapisniku o ispitivanju. Jedan odobreni plan ispitivanja može se koristiti za više ispitivanja, ali za svaki je potreban poseban zapis o ispitivanju.

2. KOTLOVI

Transformator je statički elektromagnetski uređaj u kojemu se električna energija iz jednog ili više izmjeničnih krugova, koji napajaju primarne namote transformatora, posredstvom magnetskog toka u jezgri prenosi u jedan ili više izmjeničnih krugova napajanih iz sekundarnih namota transformatora s izmijenjenim iznosima struje i napona.

Transformatori su namijenjeni prijenosu i pretvorbi električne energije, a dijele se na:

- generatorske,
- mrežne,
- distribucijske,
- ispravljačke i
- pećne.

2.1. Distributivni kotlovi

Distribucijski transformator ili servisni transformator je transformator koji omogućuje konačnu transformaciju napona u elektrodistribucijskom sustavu, snižavajući napon koji se koristi u distribucijskim vodovima na razinu koju koristi kupac bilo da se transformatori koriste za infrastrukturne sustave, industriju ili kućanstva, od kompaktnih distribucijskih transformatora do transformatora ograničene snage s nazivnim snagama do 2500 kVA. Transformatori se mogu klasificirati na temelju mnogih čimbenika poput instalacije ili gubitaka koji su najvažniji parametri transformatora. U svakom električnom aparatu, gubitak se može definirati kao razlika između ulazne i izlazne snage. Na slici 1 dan je prikaz jednog distributivnog kotla.



Slika 1. Prikaz distributivnog kotla

3. ZAVARIVANJE

Zavarivanje je postupak u kojem se spajaju dva ili više istorodna ili raznorodna materijala taljenjem, pritiskom ili taljenjem i pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala na način da se dobije homogeni zavareni spoj.

Na slici 2 je prikazano zavarivanje kotla. Svaki zavareni spoj je nerastavljiv. Sama svojstva koja će imati spoj ovise o tome koji će se osnovni i dodatni materijal koristiti te o samom postupku zavarivanja. U trenutku zavarivanja, zona spoja je dovedena u plastično ili tekuće agregatno stanje s ciljem da se materijali pomiješaju i povežu. To je ujedno i neizostavna tehnologija nerastavljivog spajanja u uvjetima eksploatacije zavarenog proizvoda kada se pojavljuju:

- izrazito visoke ili niske temperature,
- promjenjiva (dinamička) i udarna opterećenja,
- agresivni mediji (različite vrste korozivskih utjecaja na osnovni materijal i zavarene spojeve) i
- kod nekih proizvodnih procesa i reparaturnih procesa često puta je jedino moguće rješenje ili sa stajališta troškova najprihvatljivije rješenje kod spajanja materijala.



Slika 2. Zavarivanje kotla

Razlikujemo dvije skupine postupaka zavarivanja, slika 3:

- 1) zavarivanje taljenjem i
- 2) zavarivanje pritiskom.

U svakoj prethodno navedenoj skupini nalazi se niz postupaka zavarivanja koji su prilagođeni točno određenim vrstama proizvodnje i točno određenim vrstama proizvoda.

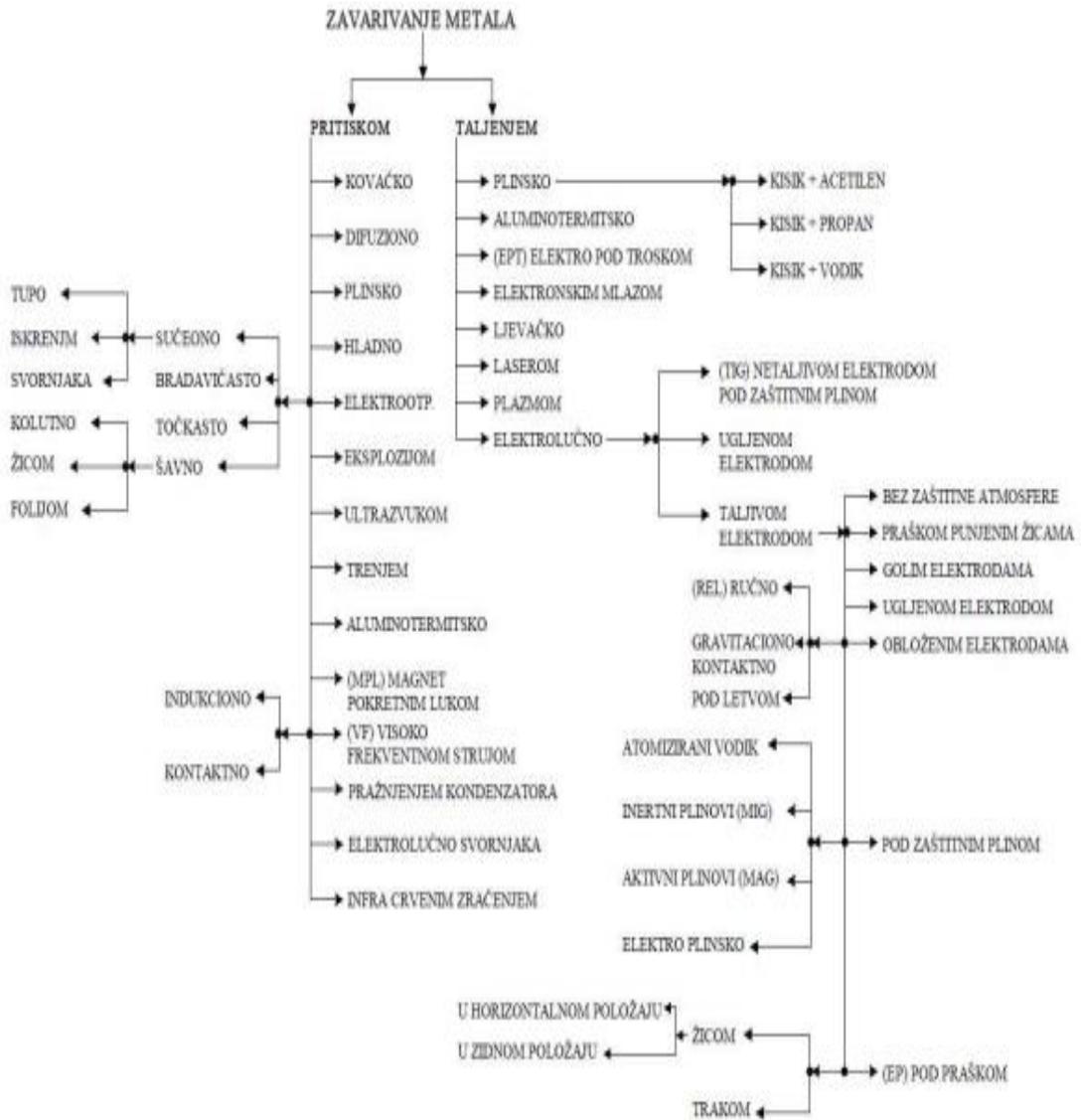
Sama definicija zavarenog spoja glasi da je to cjelina ostvarena zavarivanjem koja obuhvaća dodirne dijelove zavarenih komada, a karakterizirana je međusobnim položajem zavarenih dijelova i oblikom njihovih zavarenih krajeva. Pojam zavarljivost podrazumijeva da je materijal sposoban ostvariti kontinuirani zavareni spoj, prikazan na slici 4, kod određenih povoljnih uvjeta zavarivanja, a koji će svojim svojstvima udovoljiti predviđenim uvjetima i vijeku eksploatacije.

Što se tiče razlike osnovnog i dodatnog materijala, osnovni se izravno zavaruje, lemi ili reže, dok se dodatni materijal dodaje u zoni taljenja pri zavarivanju, lemljenju ili nabrizgavanju [1].

Materijali mogu biti dobro zavarljivi, ali i loše. Dobro zavarljivi materijali su oni koji standardnom opremom i tehnologijom zavarivanja postižu spojene dijelove koji ispunjavaju zahtijevanu kvalitetu. S druge strane, materijal je slabo zavarljiv ukoliko se spojevi zahtijevane kvalitete postižu tek nakon što se koristi složena oprema i tehnologija zavarivanja. Ako je dobro izabrana odgovarajuća tehnologija zavarivanja, većina metala i umjetni konstrukcijski materijali su dobro zavarljivi. Čelik je najvažniji materijal koji se koristi u zavarivanju.

Osnovna svojstva koja utječu na zavarljivost materijala su:

- kemijska svojstva materijala,
- mehanička svojstva materijala i
- geometrija dijelova.



Slika 3. Shema postupaka zavarivanja



Slika 4. Kontinuirani zavareni spoj

3.1. Vrste i opis postupaka

Unutar sljedećih poglavlja bit će dan prikaz najčešće korištenih postupaka zavarivanja koji spadaju u proizvodne tehnologije kako bi se dobili homogeni zavareni spojevi.

3.1.1. Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti plina – MIG/ MAG

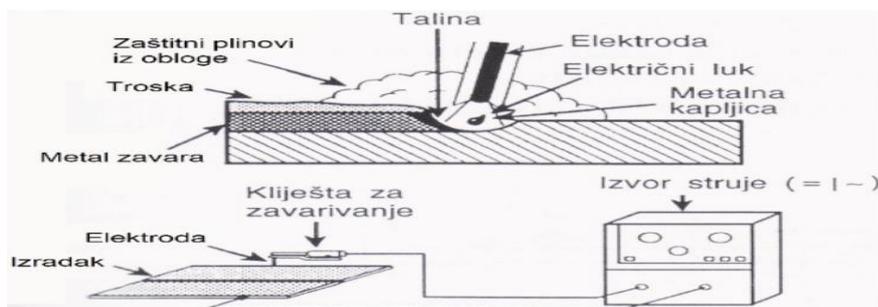
Kod MIG/MAG zavarivanja električni luk se uspostavlja kratkim spojem – kresanjem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (najčešće istosmjerne) u atmosferi inertnog/aktivnog plina. To se može vidjeti iz slike 5. Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja. MIG/MAG zavarivanje ima široku primjenu, kod zavarivanja limova i cijevi debljine od 1 mm do debljine 20 mm. MAG postupak je izvorno poluautomatski postupak, ali se vrlo često koristi kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja.



Slika 5. MIG/ MAG zavarivanje

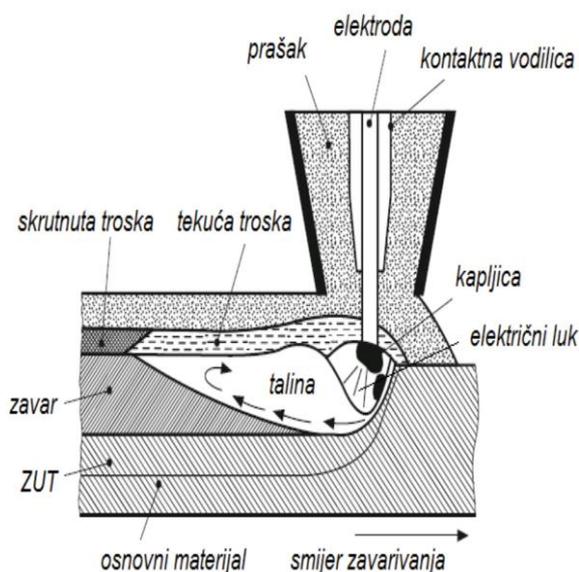
3.1.2. Ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom – REL

To je postupak zavarivanja taljenjem pomoću toplinske energije koja se dobiva u električnom luku. Slika 6 prikazuje REL postupak zavarivanja. U električnom luku električna struja pretvara se u toplinsku energiju i tali dodatni materijal (obloženu elektrodu) i osnovni materijal. Primjenjuje se za zavarivanje i navarivanje svih metala i legura koje se zavaruju taljenjem uz odgovarajući dodatni materijal te prikladan odabir parametara. Postupak je primjenu pronašao kod zavarivanja čeličnih konstrukcija, u brodogradnji, kod cjevovoda i sl. [1].



Slika 6. REL zavarivanje

3.1. 3. Elektrolučno zavarivanje pod praškom - EPP



Slika 7. Elektrolučno zavarivanje pod praškom

Na slici 7 je prikazan postupak zavarivanja EPP-om. Električni luk se održava između kontinuirane taljive elektrode žice spojene na + pol i radnog komada spojenog na – pol struje. Prašak prekriva mjesto zavarivanja (rastaljeni vrh žice, električni luk, talinu i trosku). Prašak ima različitu svrhu, od toga da oblikuje zavar, uvjetuje njegovo hlađenje, ima ulogu obloge elektrode. U njemu je preko kemijskih elemenata moguće legiranje, rafinacija i dezoksidacija.

Elektrolučno zavarivanje pod praškom se može provesti na više načina:

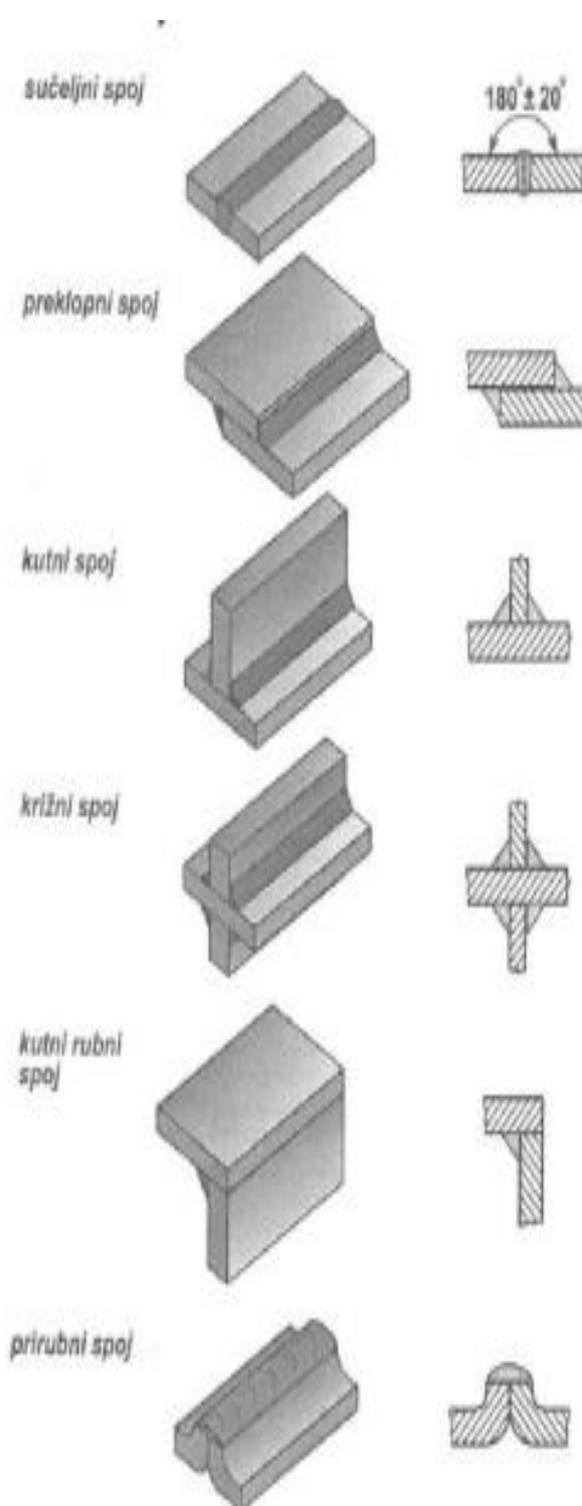
- zavarivanje žičanom ili trakastom elektrodom,
- zavarivanje s više žica (do 5 žica) i
- zavarivanje dvojnomo ili višestrukomo elektrodom (dvije ili više žica sa skupnim pogonom i skupnom kontaktnom glavom).

3.2. Vrste spojeva

Osnovni tipovi zavarenih spojeva prikazani su u nastavku, slika 8. Ukoliko se zavaruju dijelovi kod kojih se krajevi sučeljavaju i zatvaraju kut u rasponu od 160° i 200° , riječ je o sučeljnem spoju kod kojeg je dimenzija šava određena debljinom osnovnog materijala. Kutni spoj se može napraviti na način da bude izvedeno zavarivanje samo s jedne strane ili pak možemo imati spoj s obje strane.

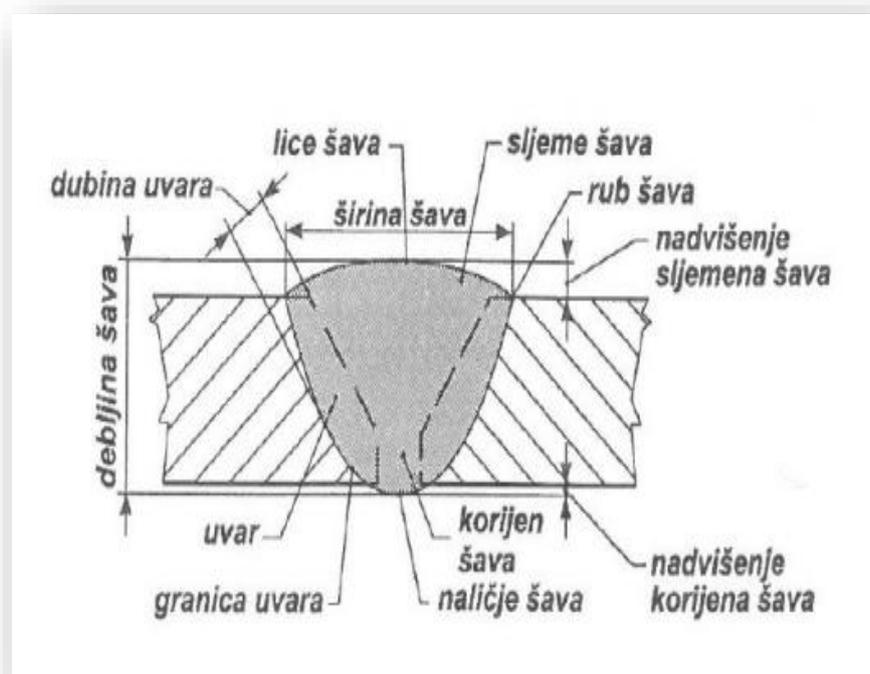
Križni spoj spada pod kutne spojeve, a obilježava ga jedan kontinuirani element, dok se drugi element prekida i nastavlja s druge strane spoja. Primjenjuje se kad su veće metalne konstrukcije. Kutni rubni spojevi se primjenjuju kod kućišta, kutijastih konstrukcija itd. Prirubni spojevi se primjenjuju kod tankih limova (do 4 mm) te kod spojeva koji nisu previše opterećeni [1].

Prema položaju spajanih elemenata postoje sučelni, paralelni, preklopni, kosi, kutni, T-spoj, križni i višestruki. Zavareni spojevi se razlikuju prema području primjene, dijele se na čelične konstrukcije, strojogradnja i kotlovi i posude pod tlakom.

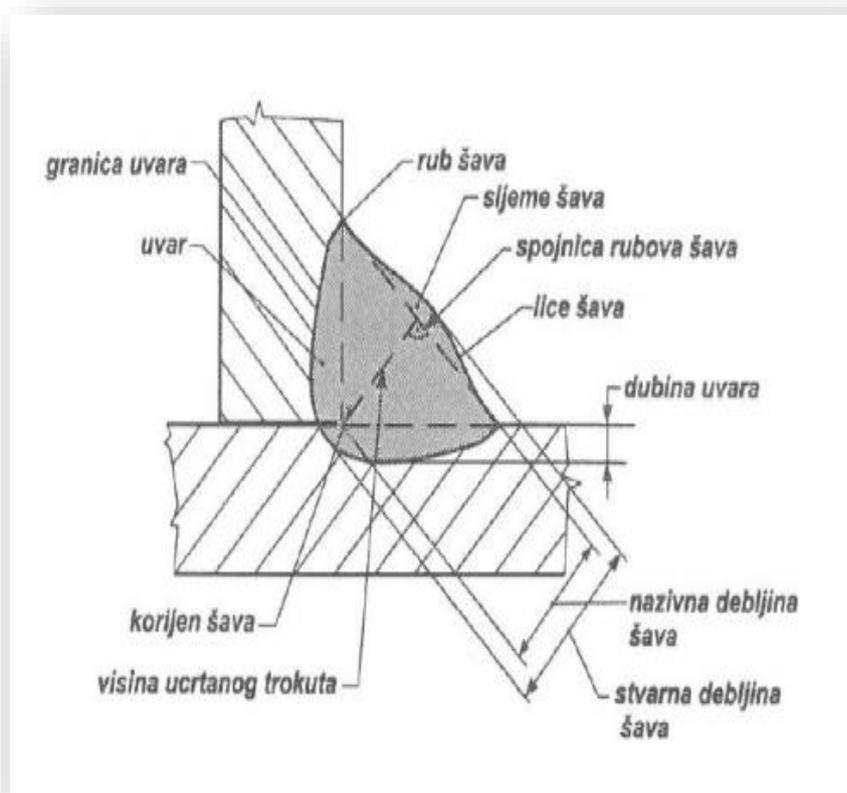


Slika 8. Tipovi zavarenih spojeva

Najčešće korišteni su kutni i sučeljeni spojevi. Na slikama 9 i 10 dani su prikazi šava sučeljenog i kutnog spoja.



Slika 9. Šav sučeljenog spoja



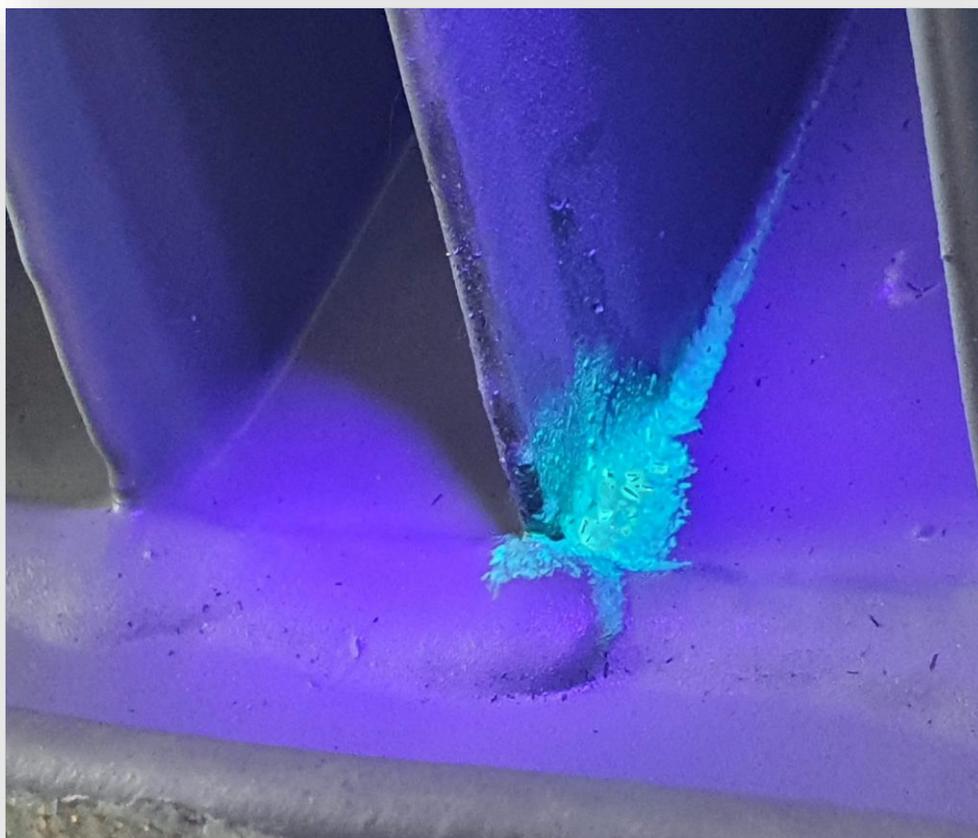
Slika 10. Šav kutnog spoja

4. POSTUPAK NANOSA PENETRANTA

Kod ispitivanja zavarenih spojeva koji se nalaze na konstrukcijama kada se želi ispitivati bez razaranja koristi se penetrantsko ispitivanje. Koristi se penetrant naziva HELLING-MET-L-CHEK-FP93TU (fluorescent-post-emulsifiable).

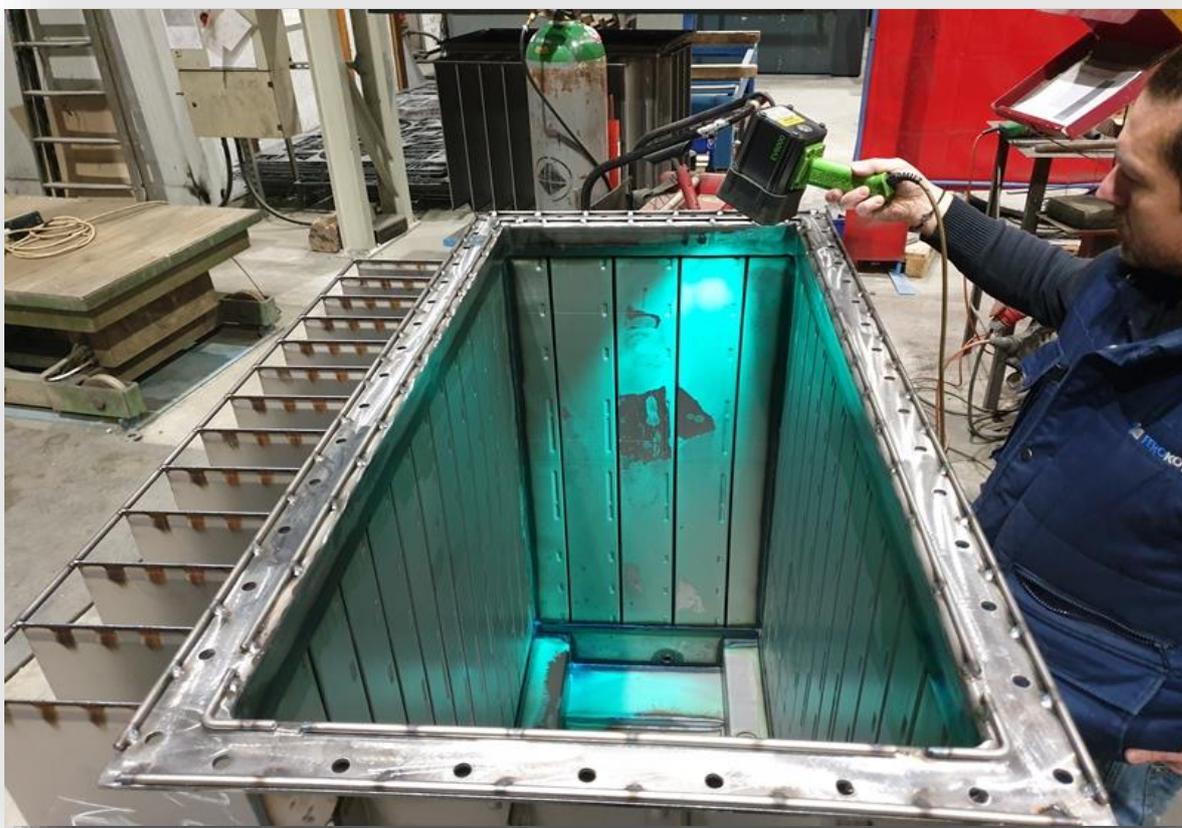
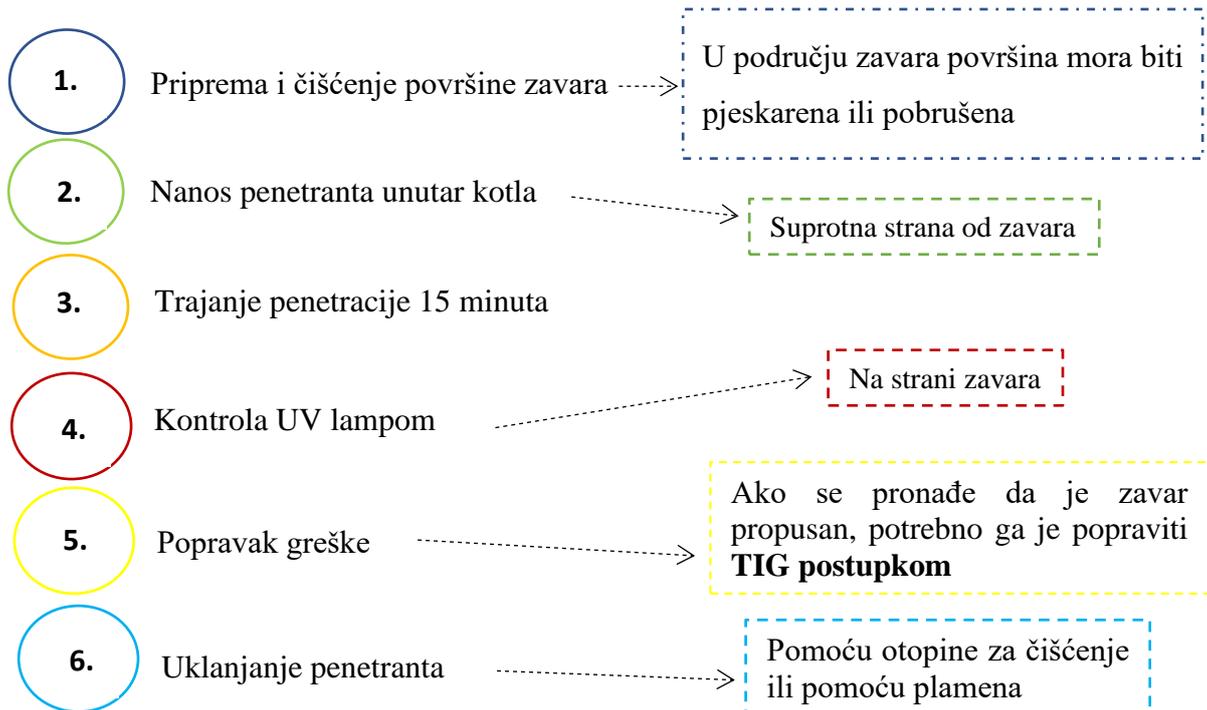
Penetrant se nanosi nakon zavarivanja kotla kad se sam kotao ohladi i zavar postigne sobnu temperaturu okoline. Nakon toga se nanosi penetrant kistom i isti bi trebao odstajati otprilike 8 sati. Obavezno se penetrant nanosi s unutrašnje strane kotla.

Nakon 15 minuta tretira se ultraljubičastim zračenjem koje je valne duljine 902 nm. Svrha iste je da se provjeri propusnost na mjestu apliciranja penetranta. Ukoliko dođe do propuštanja, penetrant se može prepoznati po specifičnoj zelenoj boji, prikazano na slici 11. Popravak zavara vrši se TIG postupkom zbog mogućnosti pretaljivanja postojećeg zavara.



Slika 11. Penetrant *HELLING-MET-L-CHEK-FP93TU*
(fluorescent-post-emulsifiable)

Redoslijed postupka nanošenja penetranta, slika 12, i ispitivanje UV lampom, slika 13.



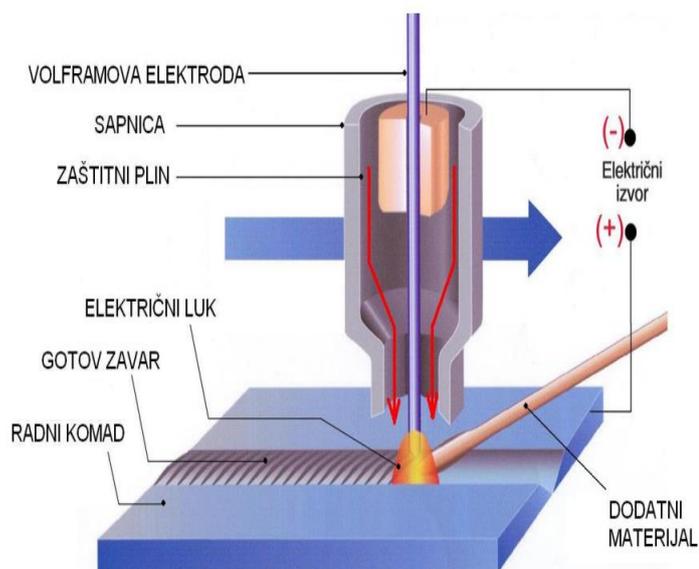
Slika 12. Postupak nanošenja penetranta



Slika 13. Ispitivanje UV lampom

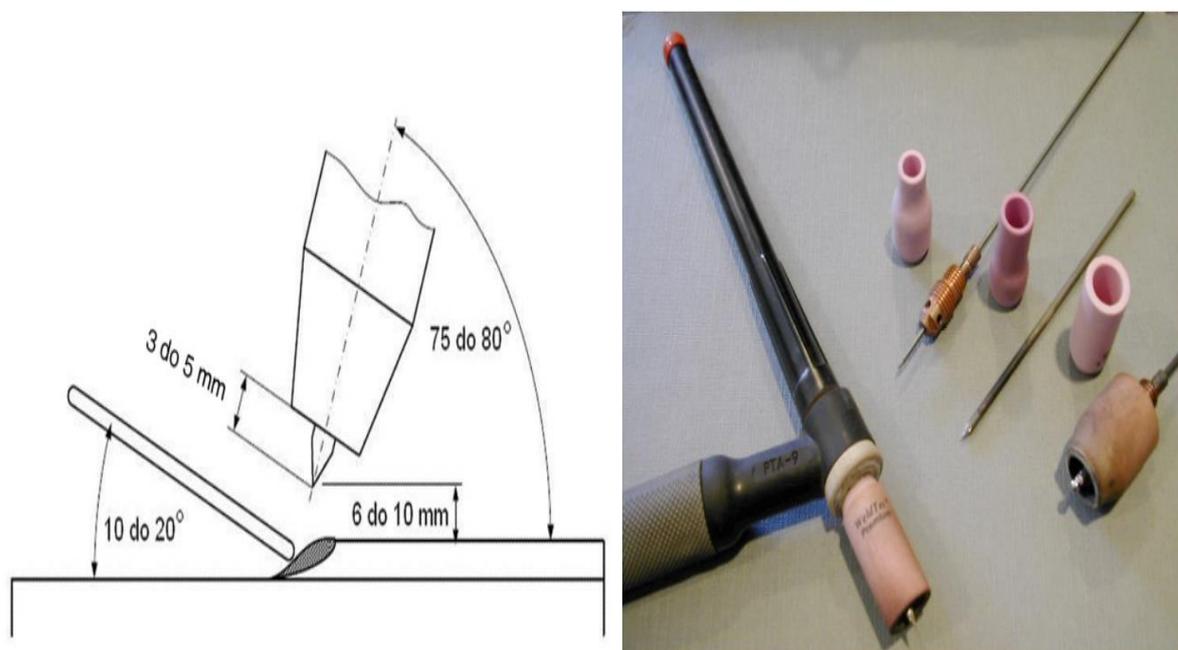
4.1. Tig postupak

To je jedan od postupaka zavarivanja kod kojeg se osnovni materijal, a ukoliko je potrebno i dodatni materijal tali toplinom koja se oslobađa u električnom luku. Električni luk je uspostavljen između elektroda koje su načinjene ili od čistog volframa ili od volframove legure i osnovnog materijala. Za dodatni materijal se koristi žica ili šipka koja se tali na rubu taline zavora pod električnim lukom slika 14 [1].



Slika 14. TIG zavarivanje

Ukoliko je potreba za TIG-om, zavarivač mora držati pištolj prilikom zavarivanja pod određenim kutom, od 75° do 80° , slika 15. Kako se radi o kotlu koji je izrađen od konstrukcijskog čelika, za zavarivanje se koristi istosmjerna struja. U ovom slučaju, plin koji se koristi je 100% Ar [2].



Slika 15. Pištolj za TIG zavarivanje

5. ISPITNA STANICA

U tablici 1 prikazani su osnovni podaci za ispitnu stanicu. Kada se rukuje ispitnom stanicom, radnik treba imati zaštitnu opremu, kao što su zaštitne cipele, zaštitne naočale, maska, rukavice i zaštitna uniforma.

Ispitna stanica koja se koristi ima sljedeće karakteristike:

Tablica 1. Osnovni podaci o ispitnoj stanici

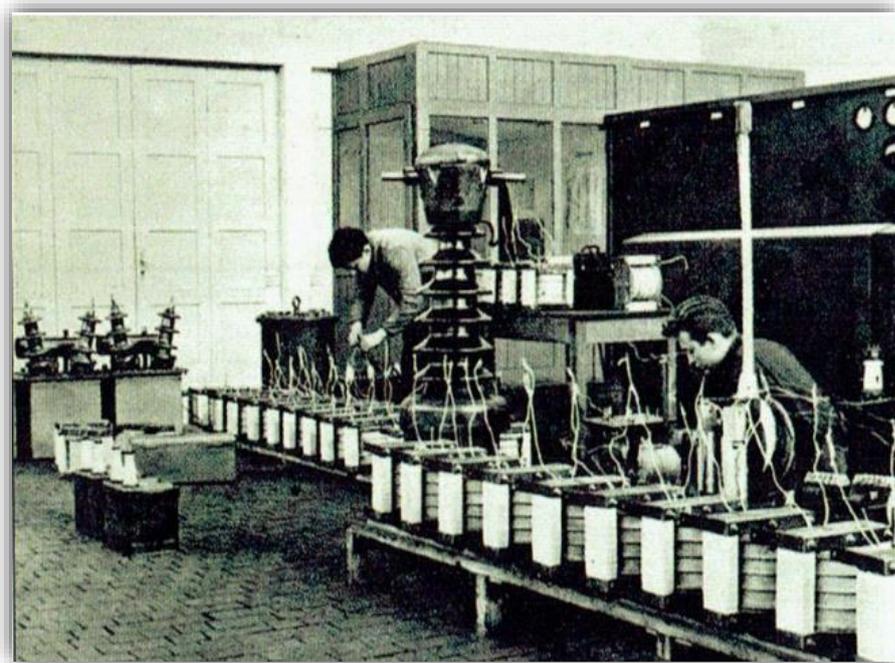
Visina	4,984 m
Širina x Dužina	1,870 x 5,530 m

Karakteristične stanice prema svojim mogućnostima su:

- ispitna stanica malih i srednjih transformatora,
- serijska ispitna stanica za male motore s dva dijela – jedan za ispitivanje gotovih statora, drugi za ispitivanje gotovih motora,
- prototipna ispitna stanica malih motora,
- ispitne stanice aparata (za niskonaponske aparate, hidromatske sklopke, pneumatske sklopke, prototipna ispitna stanica),
- ispitna stanica velikih i srednjih strojeva,
- horizontalna i vertikalna vitlaonica za sinkrone generatore.

Prva ispitna stanica, prikazana na slici 16, bila je izgrađena 1953. godine kao funkcija laboratorija za ispitivanje električnih strojeva s rotiranjem sa snagom do 60 kW i frekvencijom do 600 Hz. Osim što se koristila za ispitivanje električnih i elektrostrojarskih karakteristika strojeva, koristila se i za ispitivanje mehaničke zaštite [3].

Nakon prvog ispitivanja penetranta (eventualno popravka) kotao ide na ispitnu stanicu na kojoj se tlačno opterećuje. Nakon što se kotao stavi ispod ispitne stanice, isti se zabrtvi pločom koja je sastavni dio ispitne stanice prikazano na slici 17.



Slika 16. Prva ispitna stanica transformatora



Slika 17. Tlačno opterećivanje kotla

5.1. Postupak ispitivanja na nepropusnost zavarenog spoja

Zahtjev je da površina bude nebojana te da zavari budu očišćeni od prskotina i ostalih nečistoća.

Prikaz hodograma 1 - 9:

1. Potrebno je kotao postaviti na ispitnu stanicu

Ukoliko je slučaj da su dimenzije objekta prešle maksimalne dimenzije ispitne stanice, potrebno je objekt zatvoriti pritom koristeći brtve, vijke i slijepe prirubnice [4].

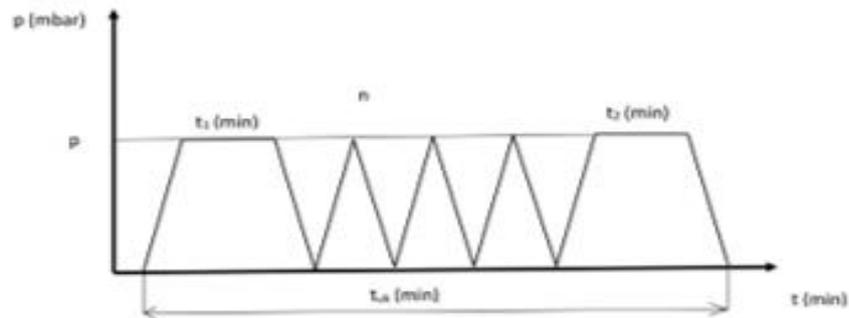
2. Objekt se na ispitni stanici ispituje prema dijagramu 1.

Maksimalni tlak ispitne stanice iznosi 0,2 bara.

U dijagramu je prikazano ukupno 5 ciklusa. Na početku se objekt rastereti, odnosno ispusti se zrak. Zrak se diže na 0,15 bara i konstantan je 60 sekundi. Nakon toga slijede 3 ciklusa dizanja i spuštanja tlaka i na kraju, zadnji ciklus je identičan prvom, odnosno tlak od 0,15 bara se zadržava 60 sekundi, dijagram 1.

Parametri koji se koriste su:

- $p = 0,15$ bar (za distributivne kotlove)
- $t_1 = 60$ s
- $t_2 = 60$ s
- $n = 5$



Dijagram 1. Tlačno ispitivanje u ciklusima

3. Potrebno je provjeriti brtve li mjesta spojeva dobro

4. UV lampom se pregledaju nepropusni zavari

5. Mjesta na kojima dolazi do propuštanja potrebno je markirati

6. Objekt se rastereti

7. Propuštanja je potrebno popraviti

8. Potrebno je provesti ponovno ispitivanje

Kod ponovnog ispitivanja gore navedeni koraci od 2 do 9 se ponavljaju.

9. Na kraju se načini izvještaj

Na slici 18 je prikazani zaslon ispitne stanice.



Slika 18. Zaslon ispitne stanice

Na slici 19 je prikazano popuštanje nakon ispitivanja na ispitnoj stanici.



Slika 19. Popuštanje zavora

Na slici 20 prikazan je popravljeni zavar TIG postupkom na ispitnoj stanici.



Slika 20. Popravljeni zavar

5.2. Ispitivanje specijalnih transformatora

Što se tiče ispitivanja, ona mogu biti rutinska i specijalna. Rutinsko ispitivanje je uvijek potrebno provesti, dok se specijalna ispitivanja provode ukoliko to zahtijeva kupac. Za jedno rutinsko ispitivanje koje se provodi na transformatoru neke od smjernica su:

- mjerenje otpora namota,
- mjerenje otpora izolacije,
- mjerenje prijenosnog omjera (i) i provjere grupe spoja,
- mjerenje struje i koliki su gubici praznog hoda,
- ispitivanje stranim naponom,
- mjerenje parcijalnih izbijanja,
- mjerenje udarnim naponom,
- ispitivanje zagrijavanja,
- mjerenje napona kratkog spoja i radnih gubitaka i
- mjerenje buke [5].

S druge strane, za jedno specijalno ispitivanje provedeno na transformatoru može biti mjerenje kapaciteta i kuta dielektričnih gubitaka ($\tan\delta$) [5].

Specijalni transformatori (slika 21) proizvode se u proizvodnoj hali u kojoj je točno organizirani slijed proizvodnje, od strojeva za namatanje, postrojenja za sušenje vrućim zrakom, strojeva za pročišćavanje ulja (za nekoliko vrsta: mineralno ulje, sintetski ester, prirodni ester ili silikonsko ulje) do ispitnih stanica.

Danas se isti koriste za različite primjene:

- transformatori za komunalna poduzeća,
- industrijski transformatori,
- transformatori za željezničke primjene,
- transformatori za solarna postrojenja,
- transformatori otporni na udarce i vibracije,
- transformatori dizajnirani za teške uvjete rada [6].

Za ispitivanje specijalnih transformatora, kao medij koristi se voda zbog lakšeg detektiranja propuštanja i glede većeg tlaka (0,6 bara).



Slika 21. Specijalni transformator

5.3. Princip ispitivanja specijalnih transformatora u tvrtki Ferokotao

Specijalni transformatori se ne ispituju pneumatskim zrakom već hidrostatski, vodom kao medijem ispitivanja.

5.3.1. Punjenje kotla vodom

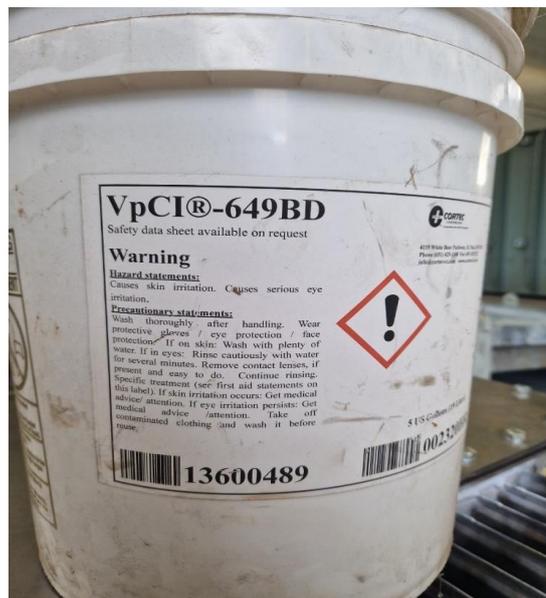
Nakon što se na kotlu zabrtve (zatvore) svi otvori odgovarajućim brtvama i poklopcima, kotao se napuni vodom do ruba okvira. Slika 22 prikazuje kotao napunjen vodom.



Slika 22. Kotao napunjen vodom

5.3.2. Dodavanje inhibitora

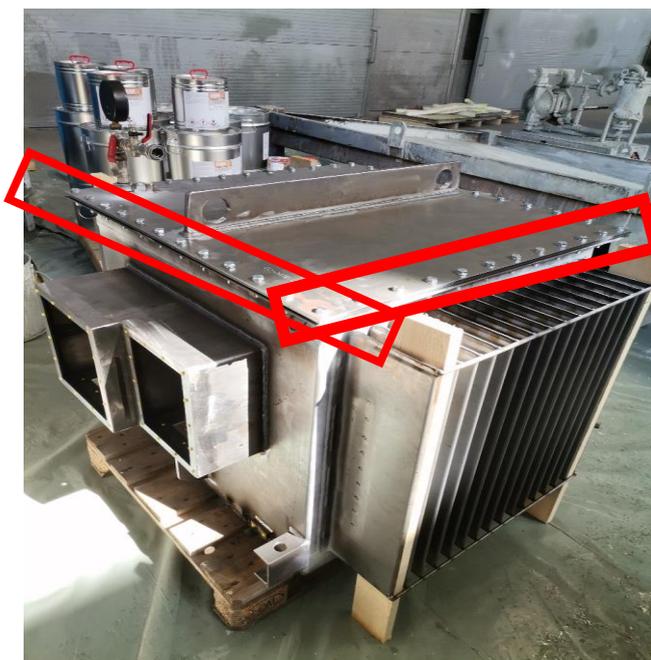
Inhibitor se koristi s ciljem da se spriječi korozija koja bi se mogla pojaviti unutar valovitih stranica distributivnog kotla. To je opasno sredstvo, treba biti pažljiv kod rukovanja istim, može izazvati iritaciju kože i oči i zato se zahtijeva, nakon prestanka korištenja, dobro oprati ruke, slika 23. S aspekta kemije, to je tvar koja u malim količinama usporava pa i zaustavlja kemijsku reakciju (adsorbira se na metalnu površinu i sprječava koroziju [7]).



Slika 23. Inhibitor

5.3.3. Zatvaranje kotla poklopcem pomoću matica, podloška i vijaka

Kad se kotao napuni vodom, na isti se montira poklopac i zajedno se vijčano spoje. Slika 24 prikazuje vijčani spoj kotla i poklopca.



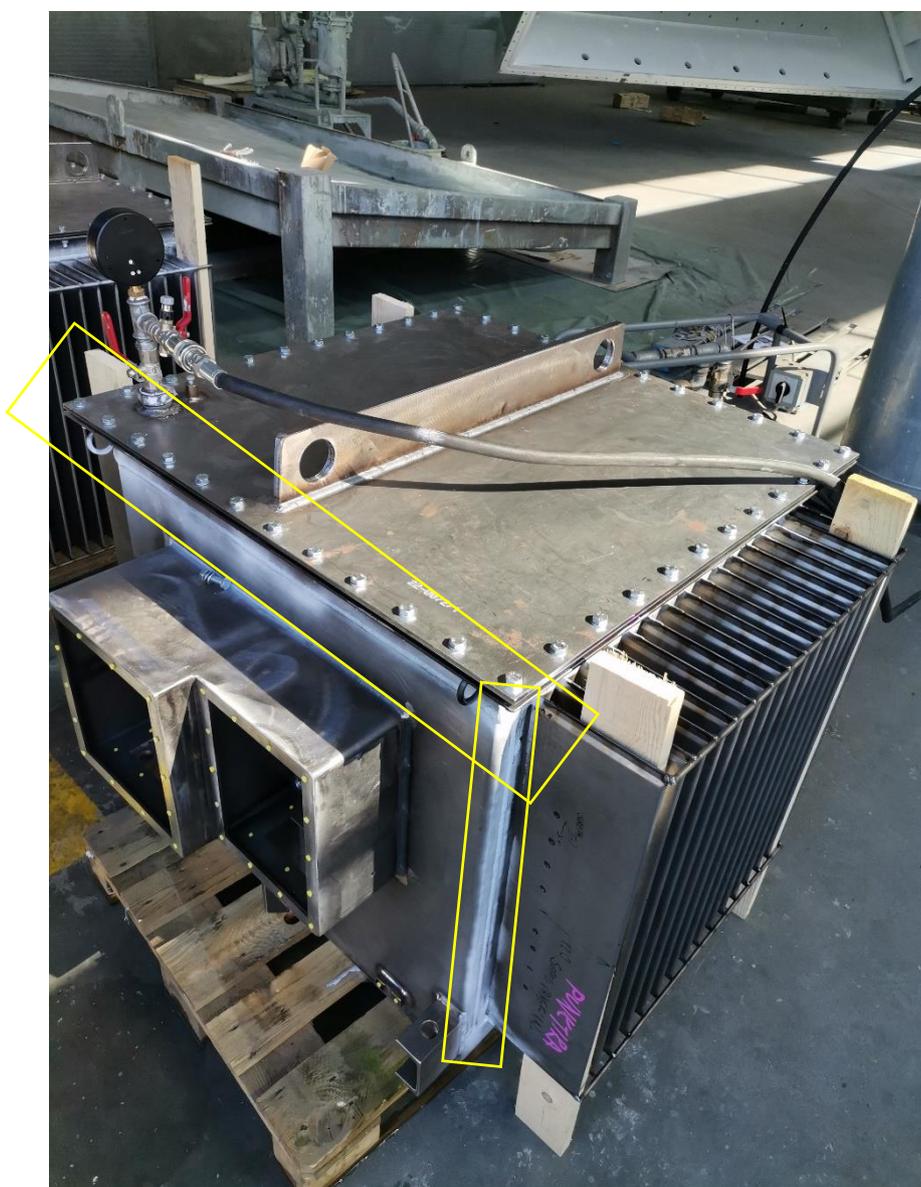
Slika 24. Spoj kotla s poklopcem

5.3.4. Završno punjenje vodom do razine završetka poklopca

Nakon što se kotao zabrtvi (zatvori) poklopcem, potrebno ga je nadopuniti vodom tako da nema praznog prostora između kotla i poklopca.

5.3.5. Nanos penetranta glede provjere propusnosti zavara

Prije nego što se krene s ispitivanjem, na sve zavare se nanosi penetrant, slika 25 glede lakše detekcije mogućeg propuštanja.



Slika 25. Nanos penetranta

5.3.6. Montiranje manometra i pumpom puštanje zraka

Kako bi se kotao mogao ispitati na određeni tlak potrebno je na njega montirati manometar kako je prikazano na slici 26.



Slika 26. Montiranje manometra

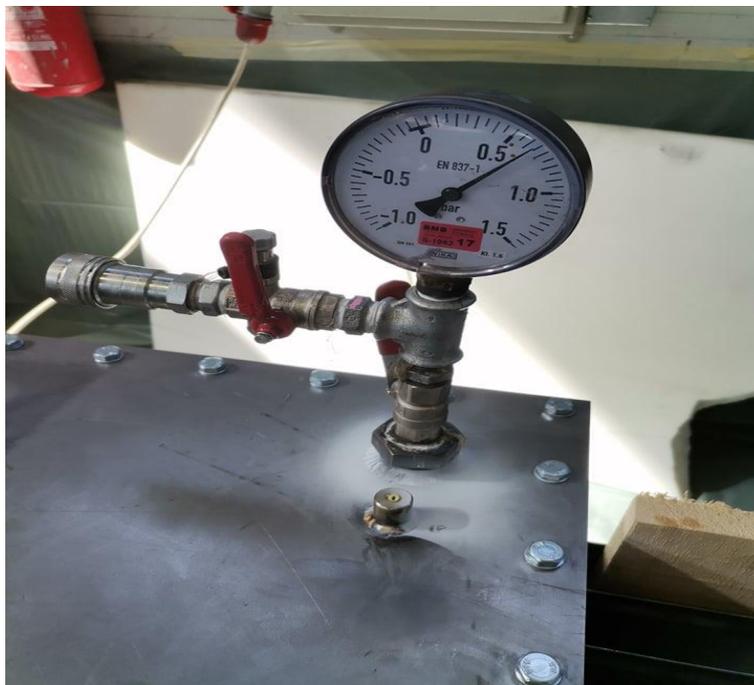
Nakon montiranja manometra, na isti se priključuje pumpa i tlačno transformira kotao na određeni tlak, slika 27.



Slika 27. Tlačna pumpa

5.3.7. Iščitanje vrijednosti tlaka

Na slici 28 prikazana je vrijednost tlaka ispitnog kotla od 0,6 bara.



Slika 28. *Vrijednost tlaka*

5.3.8. Praćenje promjena – prije / poslije

Prije samog ispitivanja prate se promjene na transformatorskom kotlu, a posebno na valovitim stranicama, slika 29.



Slika 29. *Stanje valovitih stranica prije*

Nakon što se transformator kotla stavi pod tlak, prate se promjene koje su se dogodile na valovitim stranicama. Te promjene se zorno mogu vidjeti na slici 30.



Slika 30. Stanje valovitih stranica poslije

Isti postupak se ponovi i podtlakom (-0,3 bara). Na slici 31 prikazana je vrijednost manometra kad je prisutan podtlak unutar sustava. Na slici 32 je prikazana deformacija kotla koja je nastala uslijed prevelikog tlaka (0,9 bara).



Slika 31. Manometar s vrijednošću od
-0,3 bara



Slika 32. Deformacija kotla

6. UREĐAJ ZA CIKLIČKO ISPITIVANJE KOTLOVA DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA PREMA NORMI EN 50464 - 4

Uvođenjem kotlova od valovitog lima omogućila se izvedba transformatora bez konzervatora i zračnog jastuka u svrhu automatizirane i jeftinije proizvodnje. U izvedbi bez konzervatora transformator je hermetički zatvoren, ulje u potpunosti odvojeno od okolne atmosfere, a ekspanzijsku posudu (konzervator) zamijenila su elastična rebra. Tijekom rada transformatora rebra, valovite stranice i kotao izloženi su naprezanjima koja se javljaju uslijed temperaturnog rastezanja ulja. Normom EN 50464-4 definirani su zahtjevi na mehaničku izdržljivost i procedura ispitivanja kojom se dokazuje mehanička izdržljivost valovitih kotlova pod pritiskom kada su oni potpuno napunjeni uljem i hermetički zatvoreni. U svrhu provedbe ispitivanja potrebno je konstruirati i izraditi uređaj koji će omogućiti ispitivanje prema navedenoj normi.

Tijekom rada transformatora dolazi do promjene temperature ulja koja nastaje uslijed promjene temperature okoline i opterećenja. Budući da je transformator hermetički zatvoren, uslijed toplinskog rastezanja ulja u transformatoru dolazi do pojave pretlaka i potlaka koji uzrokuju deformacije stranica kotla. Simulacija promjene temperature ulja definirana je normom na način da se srednja temperatura ulja mijenja između -25°C (minimalna temperatura okoline kad je transformatora izvan pogona) i $+88^{\circ}\text{C}$ (zbroj maksimalne temperature okoline $+40^{\circ}\text{C}$ i maksimalno dozvoljenog srednjeg zagrijavanja ulja $0,8 \cdot 60 = 48 \text{ K}$).

Prilikom punjenja temperatura ulja T_{sr} mora biti između 15°C i 35°C koju je potrebno zabilježiti (t_0), a pretvornik tlaka, odnosno manometar je potrebno podesiti na vrijednost tlaka 0 bara u vremenu kad je spojen na kotao pri temperaturi punjenja i zatvaranju kotla.

Promjene volumena ulja od temperature pri zatvaranju kotla do graničnih vrijednosti se računaju pomoću prostornog koeficijenta širenja ulja, a koji za mineralno ulje iznosi $0,00075 \text{ K}^{-1}$.

- Volumen ulja koji je potrebno utisnuti u transformator iznosi:

$$V^+ = V_0 \cdot (88 - t_0) \cdot 0,00075$$

- Volumen ulja koji je potrebno istisnuti iz transformatora iznosi:

$$V_- = V_0 \cdot (-25 - t_0) \cdot 0,00075$$



Volumen ulja u transformatoru prilikom zatvaranja transformatora nakon punjenja

Kako bi se simulirala ekspanzija volumena, kotao je potrebno podvrgnuti s 2.000 ciklusa s pretlakom i podtlakom. U svakom ciklusu je jedan predtlak i jedan podtlak. Da se postigne podtlak i pretlak potrebno je utisnuti ili pak istisnuti volumen ulja koji je izračunat i koji se dobiva prema gore navedenoj formuli. Općenito, drugo ispitivanje se provodi tako da se prvo u transformator utisne V_+ i zatim je potrebno pribilježiti pretlak p_+ . Nakon toga se umjesto utiskivanja istisne V_- i opet zabilježi tlak, ali sada podtlak (p_-). Za jedan takav ciklus predviđeno je da traje 120 s i to je minimalno vrijeme zbog toga da se izbjegne mehanički ili hidraulički udar. Kad se ispituje, potrebno je da temperatura ulja bude u granici ± 3 °C od temperature ulja na kojoj je transformator zatvoren hermetički.

Na kraju ispitivanja, dok volumen ulja u transformatoru dođe na V_0 očita se tlak u transformatoru i ukoliko postoji koja razlika krajnjeg talaka u odnosu na početni, ista se zabilježi. Kako bi se početni i završni tlak izjednačili, u kotao se doda ulje i nakraju se zapiše taj volumen ulja (ΔV). Ukoliko ΔV postoji, to je znak da je u kotlu došlo do trajne (plastične) deformacije. Zatim se ispitivanje nastavlja ispitivanjem nepropusnosti kotla u trajanju od 24 sata na statički tlak u iznosu $1,2 \cdot p_+$.

Kotao je zadovoljio ispitivanje ako su zadovoljeni sljedeći kriteriji prihvatljivosti:

- Nema curenja ulja iz kotla,
- Na kotlu se nisu pojavile pukotine,
- Prilikom ispitivanja nisu zabilježena veća odstupanja u očitanjima tlakova p_+ i p_- ,
- Dogovorom između kupca i proizvođača, može se definirati maksimalni iznos ΔV kako bi se ograničila dopuštena trajna deformacija kotla.

Ako pretpostavimo da je kotao transformatora 400 kVA, koji ima 380 litara ulja napunjen i zatvoren pri srednjoj temperaturi ulja 20 °C, promjene volumena ulja od referentnih 20 °C do graničnih temperatura iznose:

$$V_{+} = 380 \cdot (88 - 20) \cdot 0,00075 = 19,38 \text{ litara}$$

$$V_{-} = 380 \cdot (-25 - 20) \cdot 0,00075 = -12,83 \text{ litara}$$

U kotao koji je hermetički zatvoren s postavljenim tlakom p_0 doda se 19,38 litara ulja i registrira nadtlak p_+ . Zatim se od referentne količine ulja (pri zatvaranju kotla) oduzme iz kotla 12,82 litara ulja i zabilježi podtlak p_- . Izdržljivost kotla se ispituje s 2.000 ciklusa promjene tlaka u kotlu od p_+ do p_- , minimalnog trajanja jednog ciklusa 120 s. Nakon ispitivanja, kod referentne količine ulja u transformatoru, registrira se tlak p_1 te nadolije u kotao, ako je potrebno, ona količina ulja da se postigne početni tlak p_0 . Zatim se ispitivanje nastavlja ispitivanjem nepropusnosti kotla u trajanju 24 sata na statički tlak u iznosu $1,2 \cdot p_+$ [4].

Uređaj će se sastojati od kućišta, spremnika za ulje, upravljačkog ormara, crpke za ulje, filtera za ulje, elektromagnetskih ventila, mjernih uređaja za mjerenje volumena ulja, tlaka i temperature. Upravljački ormar će se sastojati od upravljačke jedinice u kojoj se nalazi programski kod (ispitivanje će biti u potpunosti automatizirano) i zaslona koji služi za unošenje podataka i ispis parametara pri ispitivanju. Svi podaci o tlaku, volumenu i temperaturi pri ispitivanju se zapisuju, te ih je nakon ispitivanja moguće prenijeti na računalo radi obrade i kontrole. Crpka za ulje ima mogućnost regulacije protoka, kako bi se mogao podesiti protok ulja da se zadovolji zahtjev da jedan ciklus traje 120 s. Ukupna količina ulja koja stane u spremnik uređaja iznosi 450 l.

Elektro napojni/upravljački ormar i mjerno regulacijska oprema trebaju osigurati kompletno ispitivanje prema navedenoj normi. Električna oprema mora osigurati ispravno i sigurno funkcioniranje pumpe i elektromagnetskih ventila.

Mjerno regulacijska oprema zajedno s PLC-om mora osigurati automatsko vođenje i regulaciju procesa, odnosno da se točno toliko ulja upumpa i ispumpa iz kotla transformatora

koliko se podesi preko operacijskog panela na vratima ormara. Pored toga, PLC mora omogućiti da se preko operacijskog panela na početku testa upišu sljedeći podaci:

- količina prepumpavanog ulja,
- vrijednost temperature u trenutku punjenja uljem,
- broj i dužina ciklusa i
- granične vrijednosti temperature i pritiska.

Operacijski panel mora sadržavati sljedeće ekrane:

- ekran za unos početnih vrijednosti relevantnih za test,
- aktivni ekran s tehnološkom shemom uređaja s prikazivanjem rada,
- ekran za prikazivanje trenutnih vrijednosti mjerenih veličina i brojača i
- ekran za prikazivanje konačnih rezultata testa.

Punjenje i pražnjenje transformatorskog kotla postiže se naizmjeničnim otvaranjem elektromagnetskih ventila. Pumpa uvijek pritiska ulje u istom smjeru, dok se frekventnim pretvaračem postiže precizno doziranje. Pored toga, frekventni pretvarač omogućuje lagani start i stop pumpe kako bi se izbjegli hidraulični udari i oscilacije pritiska fluida. Uređaj također mora imati zvučnu i optičku signalizaciju sa sigurnosnim stopiranjem procesa [8].

7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisani su distribucijski transformatori iz kojih su kasnije razvijeni specijalni transformatori. Općenito, specijalni transformatori se rade po zahtjevu kupca. Za izradu jednog takvog transformatora postupak se sastoji od izrade jezgre, namatanja namota i na kraju montiranja pripadnih ostalih dijelova. Kako bi se izradila jezgra, potrebni su uzdužni i poprečni transformatorski limovi koji se režu. Zatim se jezgre slažu iz paketnih limova prema planovima slaganja te nakraju slijedi lijepljenje jezgri. Ovisno o vrsti namota i vrsti izolacije razlikuje se postupak namatanja, gdje se isto vrši na namatalicama.

Prema vrsti transformatora odabire se plan montaže, sušenje, utop aktivnih dijelova, vakuumiranje i punjenje uljem.

Ispitna stanica slijedi nakon što se sve te operacije obave, odnosno nakon završne montaže. Ispitna stanica na temelju tehničke dokumentacije transformatora provodi ispitivanje transformatora. Mjerne veličine upisuje u ispitnu listu transformatora. Ista izračunava veličine koje su potrebne te se izrađuje ispitna lista transformatora. S tehničkom dokumentacijom se zajedno isporučuje kupcu. Ispitna stanica dobivene podatke prosljeđuje završnoj kontroli koja je potrebna za natpis na pločicama. Završna kontrola je ujedno i posljednja faza prije isporuke transformatora u ruke kupca.

Kako bi transformatorski kotao prošao sva ispitivanja prema normi EN 50464-4, mora biti dobro zavaren kako ne bi došlo do propuštanja prilikom cikličkog ispitivanja.

U ovom radu opisana je ispitna stanica kojoj je funkcija da se prilikom ispitivanja umire sva naprezanja zaostala od zavarivanja kako bi se kotao ispitivao na nepropusnost. Opisano je kako se nanosi penetrant, u ovom slučaju HELLING-MET-L-CHEK-FP93TU te kako se ispituje je li zavar nepropustan što je zapravo i cilj svakog zavarivača – dobiti nepropusni zavar. No ukoliko se i dogodi da postoji propustan zavar, on se TIG postupkom popravi.

U završnom dijelu je opisan primjer uređaja za cikličko ispitivanje kotlova distributivnih transformatora prema normi EN 50464-4.

8. POPIS LITERATURE

- [1] Filozofski fakultet u Rijeci. Zavareni i zalemljeni spojevi [Online]. 2022. Dostupno na: <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20I/05-ZavareniIZalemljeniSpojevi.pdf> (06.09.2022.)
- [2] EkoPanGas. TIG Zavarivanje [Online]. 2022. Dostupno na: <https://www.ekopan-gas.com/tig-varenje> (06.09.2022.).
- [3] Sveopoduzetništvu. Velikani hrvatske znanosti (2), Vojislav Bego – Otac ispitnih stanica [Online]. 2022. Dostupno na: <http://www.sveopoduzetnistvu.com/index.php?main=clanak&id=82> (06.09.2022.)
- [4] Tehničke upute za ispitivanje transformatorskih kotlova, Tehnička dokumentacija tvrtke Ferokotao, 2014. god. RU.KO.003. i RU.KO.004.
- [5] Kelemen T. (1997.) „Transformator“. U: Tehnička enciklopedija (ur. Duško Štefanović). Zagreb, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", str. 147-168. Dostupno na: <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/transformator.pdf> (06.09.2022.)
- [6] Crushtymks. Pet posebnih transformatora za industrijsku primjenu za koje trebate znati [Online]. 2022. Dostupno na: <https://crushtymks.com/hr/high-voltage/988-five-special-transformers-for-industrial%5b1%5dapplications-you-should-know-about.html> (06.09.2022.)
- [7] VpCI Additives for formulators. VpCI-649 BD [Online]. 2022. Dostupno na: https://www.cortecvci.com/Publications/PDS/649_BD.pdf (06.09.2022.)
- [8] Ilijašević M., Baršun S., Sitar I. (2010.) „Ispitivanje i proračun mehaničke izdržljivosti transformatorskih kotlova iz valovitog lima (valovitih kotlova)“ U: *Drugo savjetovanje hrvatskog ogranka međunarodne elektrodistribucijske konferencije* (ur. Kažimir Vrankić). Umag, Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije, str. 1-8. Dostupno na: <http://www.ho-cired.hr/referati-umag2010/SO1-10.pdf> (06.09.2022.)

POPIS SLIKA

Slika 1. <i>Prikaz distributivnog kotla</i>	2
Slika 2. <i>Zavarivanje kotla</i>	3
Slika 3. <i>Shema postupaka zavarivanja</i>	5
Slika 4. <i>Kontinuirani zavareni spoj</i>	5
Slika 5. <i>MIG/ MAG zavarivanje</i>	6
Slika 6. <i>REL zavarivanje</i>	7
Slika 7. <i>Elektrolučno zavarivanje pod praškom</i>	7
Slika 8. <i>Tipovi zavarenih spojeva</i>	8
Slika 9. <i>Šav sučeljenog spoja</i>	9
Slika 10. <i>Šav kutnog spoja</i>	9
Slika 11. <i>Penetrant HELLING-MET-L-CHEK-FP93TU</i>	10
Slika 12. <i>Postupak nanošenja penetranta</i>	11
Slika 13. <i>Ispitivanje UV lampom</i>	12
Slika 14. <i>TIG zavarivanje</i>	13
Slika 15. <i>Pištalj za TIG zavarivanje</i>	13
Slika 16. <i>Prva ispitna stanica transformatora</i>	15
Slika 17. <i>Tlačno opterećivanje kotla</i>	15
Slika 18. <i>Zaslona ispitne stanice</i>	18
Slika 19. <i>Popuštanje zavara</i>	18
Slika 20. <i>Popravljeni zavar</i>	19
Slika 21. <i>Specijalni transformator</i>	20
Slika 22. <i>Kotao napunjen vodom</i>	21
Slika 23. <i>Inhibitor</i>	22
Slika 24. <i>Spoj kotla sa poklopcem</i>	22
Slika 25. <i>Nanos penetranta</i>	23
Slika 26. <i>Montiranje manometra</i>	24
Slika 27. <i>Tlačna pumpa</i>	24
Slika 28. <i>Vrijednost tlaka</i>	25
Slika 29. <i>Stanje valovitih stranica prije</i>	25
Slika 30. <i>Stanje valovitih stranica poslije</i>	26
Slika 31. <i>Manometar s vrijednošću od -0,3 bara</i>	26

Slika 32. *Deformacija kotla* 26

POPIS TABLICA

Tablica 1. *Osnovni podaci o ispitnoj stanici* 14

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. <i>Tlačno ispitivanje u ciklusima</i>	17
--	----

PRILOG

Tehnološka dokumentacija ispitne stanice

