

mr.sc Ivica Radetić, dipl.ing.el.
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
ivica.radetic@hep.hr

Josip Žutolija, univ.mag.ing.el.
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
josip.zutolija@hep.hr

MOBILNA ISPITNA STANICA ZA ENERGETSKE TRANSFORMATORE U NADLEŽNOSTI HEP ODS-a

SAŽETAK

Razvoj distribucijskih sustava i sve veći zahtjevi za pouzdanošću napajanja električnom energijom postavljaju izazove u održavanju i dijagnostici energetskih transformatora. Tradicionalne metode ispitivanja često zahtijevaju transport transformatora do fiksnih ispitnih stanica, što uzrokuje dugotrajne zastoje u radu i povećava troškove održavanja. Kako bi se unaprijedio proces ispitivanja i omogućila brza i precizna dijagnostika na terenu, razvijena je mobilna ispitna stanica. Ovaj sustav omogućuje ispitivanje transformatora bez potrebe za njihovim transportom u laboratorijske uvjete. Primjenom napredne dijagnostičke opreme osigurava se detaljna analiza izolacijskih i električnih parametara, čime se omogućuje utvrđivanje stvarnog stanja transformatora. Mobilna ispitna stanica omogućuje ispitivanje u različitim okruženjima i uvjetima rada, a njezina fleksibilnost i širok raspon primjena čine je ključnim alatom za preventivno održavanje i poboljšanje sigurnosti distribucijskog sustava.

Ključne riječi: Distribucijski sustav, Dijagnostika energetskih transformatora, Mobilna ispitna stanica

MOBILE TESTING STATION FOR POWER TRANSFORMERS UNDER THE JURISDICTION OF HEP ODS

SUMMARY

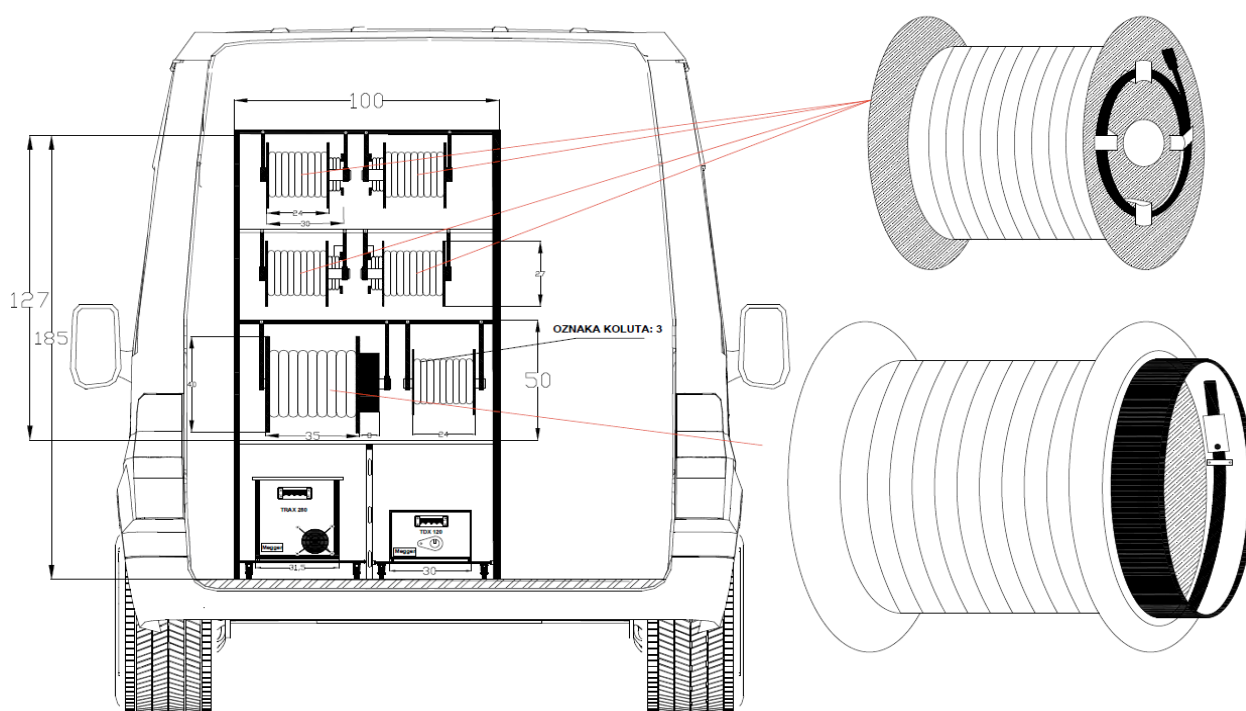
In the development of distribution systems and the increasing demands for reliable electricity supply pose challenges in the maintenance and diagnostics of power transformers. Traditional testing methods often require the transport of transformers to fixed testing stations, resulting in prolonged operational downtimes and increased maintenance costs. To improve the testing process and enable fast and accurate diagnostics in the field, a mobile testing station has been developed. This system allows transformer testing without the need for transport to laboratory conditions. By applying advanced diagnostic equipment, a detailed analysis of insulation and electrical parameters is ensured, enabling the determination of the actual condition of the transformer. The mobile testing station supports testing in various environments and operating conditions, and its flexibility and wide range of applications make it a key tool for preventive maintenance and the enhancement of distribution system safety.

Key words: Distribution system, Diagnostics of power transformers, Mobile testing station

1. UVOD

Mobilna ispitna stanica (slika 1.) za dijagnostiku stanja energetskih transformatora predstavlja napredan sustav koji omogućuje preciznu i učinkovitu analizu stvarnog stanja transformatora u terenskim uvjetima. Ova tehnologija značajno smanjuje potrebu za demontažom i transportom transformatora u fiksne ispitne stanice, čime se skraćuje (potrebno) vrijeme održavanja i povećava pouzdanost rada.

Mobilna ispitna stanica integrira suvremene metode dijagnostike, uključujući ispitivanje izolacijskih karakteristika, analizu frekvencijskog odziva, mjerenje otpora kontakata regulacijske sklopke, mjerenje otpora namota i rasipnih induktiviteta, kao i detekciju djelomičnih izboja unutar izolacijskog sustava. Korištenjem specijalizirane opreme poput Megger (Trax 280, TDX 120, TSX 303, FRAX 101) [1] ili uređaja sličnih karakteristika, omogućuje se brzo i precizno prepoznavanje potencijalnih kvarova ili utvrđivanje stvarnog kvara na transformatoru, kao i utvrđivanje stvarnog stanja transformatora. Uvođenje mobilne ispitne stanice donosi niz prednosti, uključujući povećanu fleksibilnost u održavanju, smanjenje troškova servisiranja i minimiziranje isključenja transformatora iz pogona. Ovaj članak detaljno opisuje tehničke mogućnosti mobilne ispitne stanice, metode ispitivanja, ključnu opremu te praktične prednosti u primjeni.



Slika 1. Pregledni nacrt ispitne mobilne stanice

2. ZAŠTO MOBILNA STANICA

Mobilna ispitna stanica uvedena je kao odgovor na sve veće zahtjeve za efikasnim održavanjem elektroenergetskih sustava. Umjesto klasičnih metoda ispitivanja, koje su dugotrajne i zahtijevaju ručne manipulacije spojnih točaka te često penjanje na transformator, mobilna stanica omogućuje cjelovito ispitivanje na licu mjesta, bez potrebe za složenim ručnim prilagodbama tijekom ispitivanja.

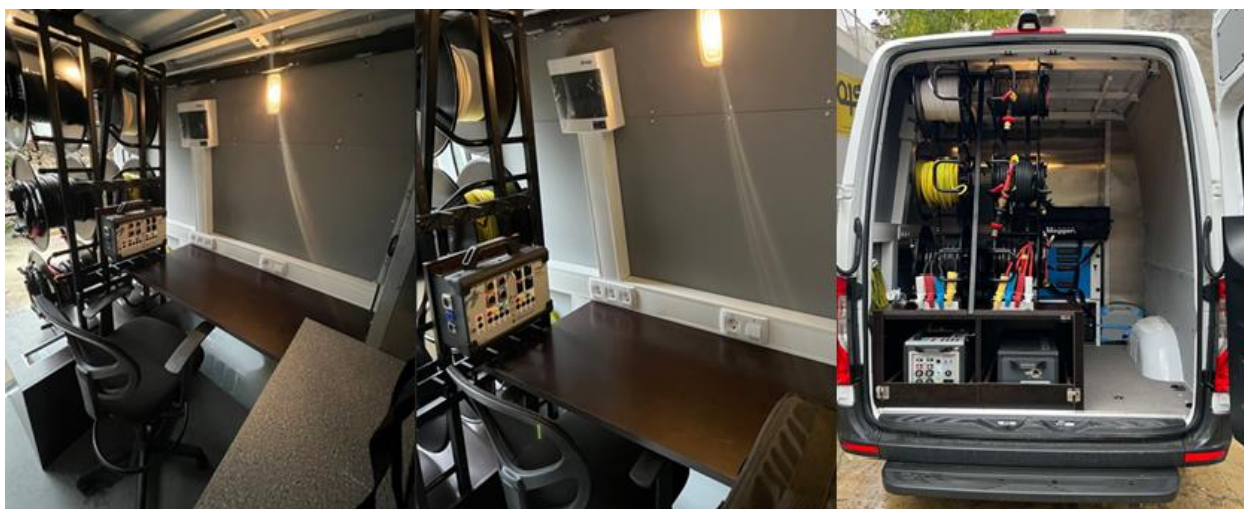
Opremljena automatiziranim sustavima, mobilna stanica omogućuje provedbu mjerenja bez potrebe za stalnim fizičkim prespajanjem mjernih spojeva. Ugrađeni moderni uređaji osiguravaju automatsku prilagodbu testnih konfiguracija, čime se ubrzava proces ispitivanja i smanjuje mogućnost pogreške. To ne samo da poboljšava sigurnost rada, nego i omogućuje bržu i kvalitetniju analizu stanja transformatora.

Korištenjem mobilne ispitne stanice, sva potrebna oprema dostupna je u vozilu, čime se pojednostavljuje organizacija rada i povećava učinkovitost.

3. GLAVNE ZNAČAJKE MOBILNE STANICE

Mobilna ispitna stanica (slika 2.) dizajnirana je s ciljem postizanja maksimalne fleksibilnosti i učinkovitosti u dijagnostici stanja transformatora, a glavne značajke uključuju:

- modularni dizajn – omogućuje prilagodbu opreme specifičnim zahtjevima ispitivanja,
- kompaktnu i robusnu opremu – omogućuje rad u različitim uvjetima, uključujući nepovoljne vremenske uvjete,
- automatizirane sustave ispitivanja – smanjuju mogućnost pogreške i omogućuju bržu analizu podataka,
- brzo postavljanje i mobilnost – omogućuje ispitivanja na više lokacija u kratkom vremenskom periodu,
- integrirani softver za analizu podataka – omogućuje obradu i arhiviranje rezultata ispitivanja u stvarnom vremenu.



Slika 2. Ispitna mobilna stanica

4. ŠTO SVE MOŽE ISPITNA MJERNA STANICA

Mobilna ispitna stanica omogućuje izvođenje širokog spektra ispitivanja, uključujući:

- ispitivanje izolacije namota istosmjernim i izmjeničnim naponom – omogućuje preciznu analizu izolacijskih materijala i otkrivanje degradacije izolacije,
- mjerenje otpora namota – pomaže u otkrivanju nejednolikosti i mogućih oštećenja unutar namota, kao i loših kontakata između spojeva provodnih izolatora i namota,
- analizu frekvencijskog odziva (FRA) – koristi se za otkrivanje deformacija i mehaničkih pomaka namota i jezgre,
- mjerenje rasipnih induktiviteta (L_x) – omogućuje identifikaciju strukturnih promjena unutar jezgre transformatora,
- dijagnostiku parcijalnih izbijanja (PD) – otkriva oštećenja unutar izolacijskog sustava koja mogu dovesti do prijevremenog kvara transformatora,
- mjerenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka ($\tan \delta$) – omogućuje procjenu stanja izolacije i identificira prisutnost vlage ili drugih nečistoća,

- dinamičko ispitivanje regulacijske sklopke (OLTC) – provjerava se rad preklopnog mehanizma pod opterećenjem kako bi se osigurala pouzdanost naponskog podešavanja transformatora,
- ispitivanje struja praznog hoda i gubitaka snage – omogućuje ocjenu efikasnosti rada transformatora u normalnim radnim uvjetima,
- ispitivanje kratkog spoja – analizira karakteristike transformatora,
- spektralnu analizu izolacije – koristi se za otkrivanje kemijskih promjena u izolacijskim materijalima, što može ukazivati na starenje ili kontaminaciju ulja (ova vrsta ispitivanja trenutno nije u primjeni - planira se).

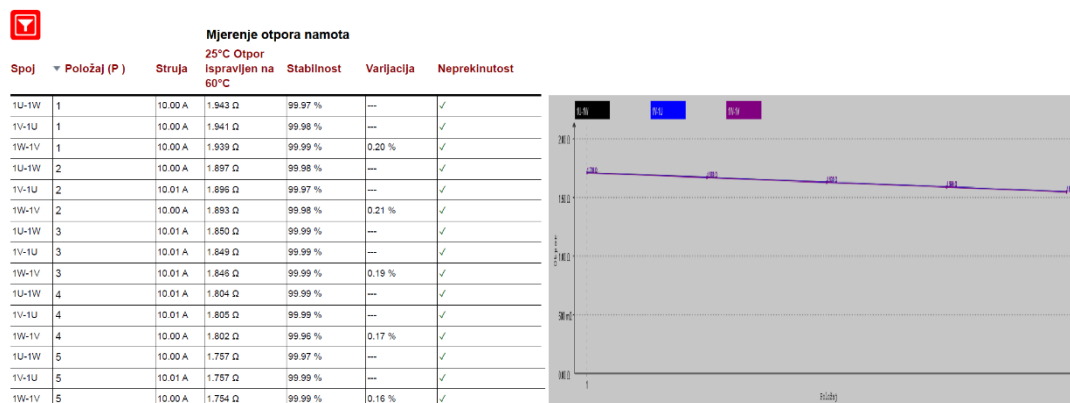
5. IMPLEMENTIRANA OPREMA

Multifunkcionalni uređaj TRAX 280 dizajniran je za sveobuhvatno ispitivanje i dijagnostiku energetskih transformatora (slika 3.). Opremljen je naprednim algoritmima za automatsku analizu podataka te omogućuje precizna ispitivanja otpora namota, prijenosnog omjera, struje magnetiziranja i gubitaka u željezu.



Slika 3. Multifunkcionalni uređaj

Nakon provedenih mjerenja pomoću multifunkcionalnog uređaja TRAX 280, generira se detaljno izvješće koje sadrži sve relevantne dijagnostičke podatke (slika 4.).



Slika 4. Primjer ispitnog izvješća

TDX 120 je visokotehnološki uređaj za mjerenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka ($\tan \delta$) pri naponima do 12 kV (slika 5.). Ovaj uređaj omogućuje brzo otkrivanje degradacije izolacijskog sustava i prepoznavanje vlage u izolacijskim materijalima.



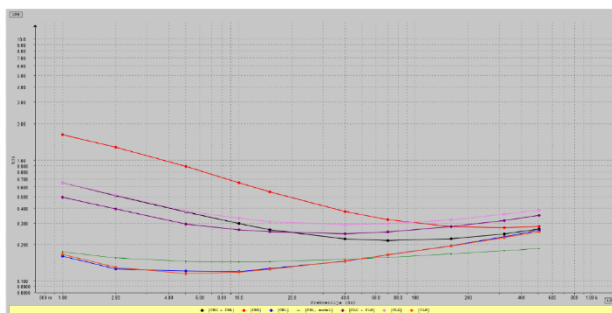
Slika 5. Uređaj za ispitivanje izolacije transformatora

Nakon provedenog ispitivanja pomoću uređaja TDX 120, generira se izvješće s preciznim rezultatima i analizom stanja izolacijskog sustava (slika 6.).



Tan delta - Energetski transformator

Oznaka	f (Hz)	U	I	C	%TD na 50 °C	ITC2 Faktor korekcije	Corr. %TD do 20°C	ITC2
CHG + CHL	50.00	10.00 kV	29.26 mA	9.312 nF	0.218	1.331	0.290	
CHG	50.00	9.999 kV	9.762 mA	3.104 nF	0.352	1.331	0.469	
CHL	50.00	10.00 kV	19.51 mA	6.208 nF	0.152	1.331	0.202	●
CLG + CLH	50.00	10.00 kV	60.94 mA	19.40 nF	0.249	1.331	0.331	
CLG	50.00	10.00 kV	41.45 mA	13.19 nF	0.293	1.331	0.390	
CLH	50.00	10.00 kV	19.52 mA	6.209 nF	0.152	1.331	0.202	
CHG + CLG (opcija)	---	--- V	--- A	--- F	---	---	---	
CHL'	---	--- V	19.51 mA	6.208 nF	---	---	---	
CLH'	---	--- V	19.49 mA	6.207 nF	---	---	---	
CHG-C1'	---	--- V	7.833 mA	2.494 nF	---	---	---	
CLG-C1'	---	--- V	---	--- F	---	---	---	
CHG + CLG	---	--- V	61.20 mA	16.29 nF	---	---	---	



Slika 6. Primjer ispitnog izvješća

TSX 303 je automatizirana prespojna kutija koja omogućuje spajanje različitih ispitnih uređaja s minimalnim brojem priključaka (slika 7.). Time se ubrzava postupak ispitivanja transformatora, smanjuje rizik od pogrešaka te osigurava sigurno i pouzdano izvođenje svih potrebnih testova.



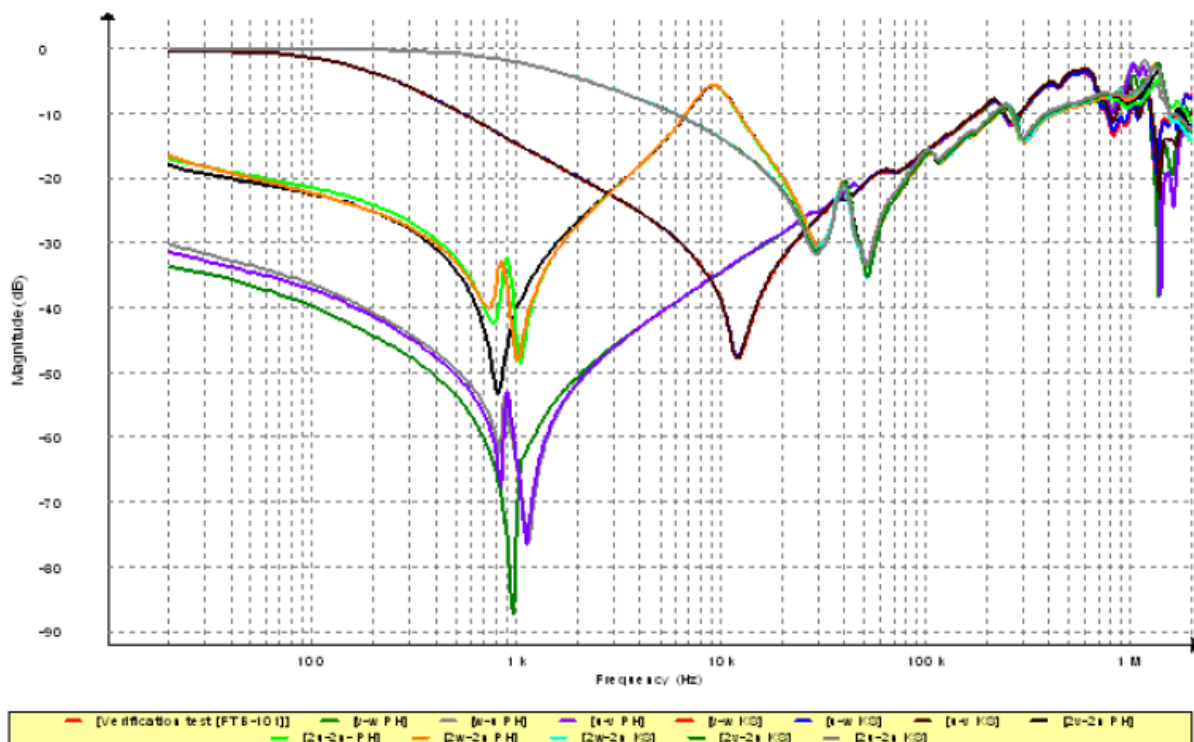
Slika 7. Automatizirana prespojna kutija

FRAX 101 je uređaj za frekvencijsku analizu odziva (FRA), koji omogućuje otkrivanje mehaničkih pomaka i deformacija unutar transformatora (slika 8.). Ova metoda pruža dubinsku dijagnostiku problema koji mogu nastati tijekom transporta, rukovanja ili kao posljedica unutarnjih kvarova, osiguravajući tako dugotrajn i siguran rad transformatora.



Slika 8. Uređaj za ispitivanje frekvencijskog odziva transformatora

Uređaj FRAX 101 generira izvješće koje omogućuje preciznu interpretaciju promjena u frekvencijskom odzivu namota i jezgre transformatora (slika 9.).



Slika 9. Primjer ispitnog izvješća

6. ZAKLJUČAK

Mobilna ispitna stanica za dijagnostiku energetskih transformatora predstavlja značajan iskorak u modernizaciji i optimizaciji procesa održavanja transformatora. Njena primjena omogućuje brzo, precizno i učinkovito ispitivanje transformatora na terenu, eliminirajući potrebu za njihovim transportom u laboratorijske uvjete, čime se smanjuju troškovi održavanja, skraćuje vrijeme isključenja transformatora iz pogona i povećava sigurnost distribucijskog sustava.

Integracija suvremenih dijagnostičkih uređaja osigurava automatizirano izvođenje ispitivanja, čime se minimizira mogućnost ljudske pogreške te pojednostavljuje postupak i analizu rezultata provedenih ispitivanja. Korištenjem opisanih mjernih uređaja omogućeno je detaljno ispitivanje ključnih parametara transformatora, bez potrebe za stalnim ručnim preklapanjem mjernih spojeva ili fizičkim penjanjem na transformator, što povećava sigurnost i ergonomiju rada.

Zahvaljujući mogućnosti ispitivanja u različitim uvjetima i na različitim lokacijama, mobilna ispitna stanica predstavlja fleksibilno i učinkovito rješenje za utvrđivanje stanja transformatora u redovnim i izvanrednim okolnostima. Sustavno praćenje stanja transformatora omogućuje procjenu stvarnog stanja transformatora, odnosno ranu detekciju potencijalnih kvarova te produljenje životnog vijeka opreme i povećanje pouzdanosti transformatora u pogonu.

7. LITERATURA

- [1] Megger (UK), internetske stranice - tehničke brošure