



Mineraalieristysöljyn eristyskyvyn tutkiminen

1. Laboratoriotyö

Laboratoriotyössä tutkitaan erään katkaisijaöljyn eristyskykyä. Kokeet suoritetaan VDE:n normien mukaisia menetelmiä käyttäen. Tuloksena saadaan öljyn läpilyöntijännite ja sähkölujuus. Mittaustulosten perusteella voidaan määrittellä, täyttääkö öljy sille asetetut vaatimukset läpilyöntijännitteen suhteen. Lisäksi tutkitaan miten kosteus vaikuttaa öljyn läpilyöntijännitteeseen ja sähkölujuuteen.

2. Eristysöljylle asetettavat vaatimukset

Luonnollisia eli mineraaliöljyjä käytetään muuntajien, katkaisijoiden, mittamuuntajien, suurjännitteisten läpivientieristimien, öljytäytteisten kaapeleiden ja kondensaattoreiden eristeinä. Sähköteknillisten kojeiden tulee täyttää sähkölujuuden suhteen normeissa määrätyt vaatimukset. Suomessa noudatetaan yleisesti VDE:n määräyksiä öljyn koestusta suoritettaessa (VDE - 0370). Näissä määräyksissä on annettu ohjeita ja raja-arvoja eri käyttötarkoituksiin tulevien öljyjen ominaisuuksista kuten:

- vesipitoisuus
- puhtaus (uudet öljyt)
- tiheys
- viskositeetti (sitkoisuus)
- syttymispiste
- kemialliset ominaisuudet
- vanheneminen
- eristyskyky

Puhtausvaatimus koskee vain uusia öljyjä. Tällöin vaaditaan, että öljy on 10cm paksuna kerroksena 20°C lämpötilassa kirkasta ja läpinäkyvää eikä sisällä vieraita kiinteitä aineita tai saostumia.

2.1 Käytetyn eristysöljyn eristyskyvyn vaatimukset

Käytöstä olevasta kojeesta otetun öljyn läpilyöntijännite 2.5mm elektrodietäisyydellä ei saa alittaa seuraavia arvoja:

a) Muuntaja- ja mittamuuntajaöljyt

30kV	sarjajännite $U_s \leq 70\text{kV}$
40kV	sarjajännite $U_s > 70\text{kV}$; $U_s \leq 170\text{kV}$
50kV	sarjajännite $U_s > 170\text{kV}$; $U_s \leq 220\text{kV}$

Jos muuntajan tai mittamuuntajan sarjajännite on yli 220kV on öljyn läpilyöntijännitteestä sovittava erikseen.

b) Kytkinlaitteiden öljyt

20kV	sarjajännite $U_s < 170\text{kV}$
30kV	sarjajännite $U_s \geq 170\text{kV}$

Jos mittausten perusteella todetaan läpilyöntijännitteen olevan edellä mainittuja arvoja pienempi, laitteesta on otettava uusi näyte, mikä on öljyn arvostelussa määräävä. Mikäli tämänkin näytteen läpilyöntijännite alittaa edellä mainitut normiarvot, on öljy puhdistettava, kuivattava tai kokonaan uusittava.

2.2 Uuden eristysöljyn eristyskyvyn vaatimukset

Toimitustilassa olevat öljyt ovat yleensä niin kosteita, ettei niille voida asettaa määrättyä läpilyöntijännitettä. Kuivattujen tai käyttövalmiiden öljyjen läpilyöntijännite ei saa alittaa seuraavia arvoja elektrodietäisyyden ollessa 2.5mm:

a) Muuntaja- ja mittamuuntajaöljyillä

60kV	(VDE-normit)
50kV	(IEC-normit)

b) Kytkinlaiteöljyillä

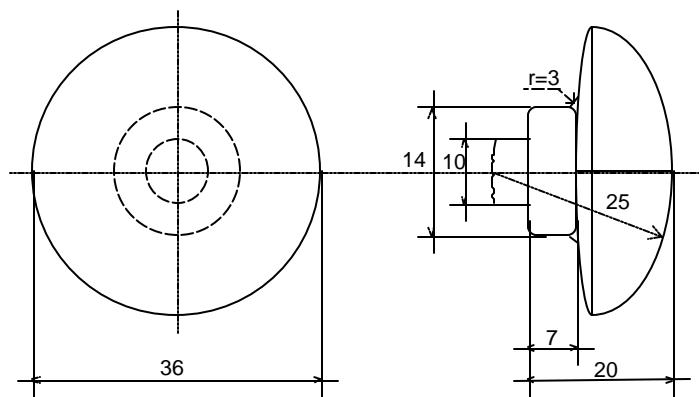
40kV

3. Kokeen suoritus VDE:n normien mukaan

VDE-normit asettavat tietyjä vaatimuksia kokeessa käytettävistä laitteistoista ja kokeen suoritustavasta.

3.1 Mittauselektrodi ja -astia

Öljyn koestuksessa läpilyöntijännitteen ja sähkölujuuden määrittämiseksi käytetään kuparielektrodeja, jotka ovat kuvassa 1 olevan piirustuksen mukaisia. Mitat ovat millimetreinä ja niistä sallitut toleranssit ovat ± 0.1 mm.



Kuva 1 Mittauselektrodi

Koeastia voi olla lasia, posliinia tai sopivaa keinoainetta. Öljymäärän tulee olla vähintään 250cm^3 . Elektrodien pienin sallittu etäisyys astian seinästä on 15 mm ja öljyn yläpinnasta 8 mm. Elektrodien välisen etäisyyden on mittauksissa oltava $2.5\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$. Tällä elektrodien etäisyydellä ei saa tapahtua ulkopuolista ylilyöntiä alle 60 kV:n jännitteellä. Mikäli on kokeiltavana öljy, jolta vaaditaan melko pieni eristyskyky, tämä rajajännite saa olla 30 kV.

3.2 Jännitelähde ja jännitteen mittaus

Koestusjännitteen tulee olla mahdollisimman sinimuotoista ($+\hat{u} = -\hat{u}$). Koestusmuuntajan toisiojännite tulee olla aseteltavissa vähintään arvoon 60 kV. Muuntajan tehon tulee olla vähintään 250 VA. Tyhjäkäynti- ja nimellismuuntosuhde saavat poiketa toisistaan enintään $\pm 0.5\%$. Öljyn turmelemisen estämiseksi läpilyöntivirta yläjännitepuolella rajoitetaan etuvastuksen avulla noin 0.1 A:n. Samasta syystä muuntajan ensiöpuolella tulisi olla automaattinen katkaisija, joka toimii heti läpilyönnin tapahduttua elektrodien välillä (valokaarirele).

3.3 Öljynäytteen otto

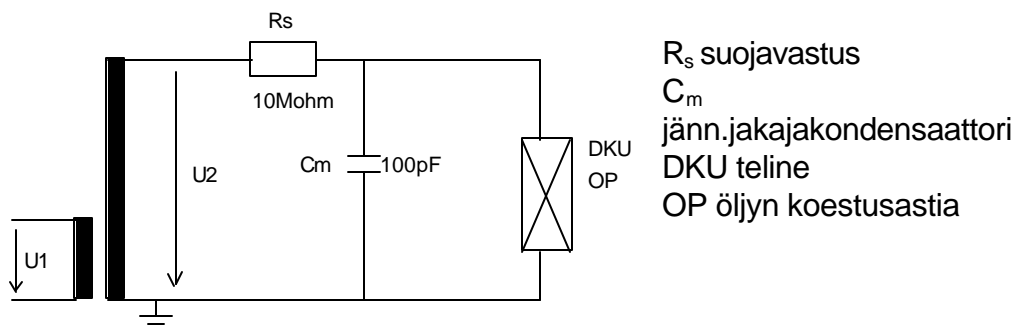
Muuntajasta, mittamuuntajasta tai kytkinlaitteesta otetaan öljy - mikäli mahdollista - astian pohjasta. Öljynäytettä otettaessa juoksetetaan öljyä pohjaventtiiliin kautta 2...10 litraa ennen varsinaista näytteen ottoa.

Uudesta öljystä on näyte otettava heti sen jälkeen, kun öljy on saatettu käyttökuntoon. Toisinsanoen öljy on puhdistettu ja kuivattu. Öljynäyte kuljetetaan ja säilytetään 1 litran vetoisessa lasipullossa. Jos pullo on puhdas ja kuiva ja sitä on säilytetty suljettuna, se huuhdellaan vain öljyllä ennen käyttöön ottoa. Muuten se on ennen huuhtomista kuivattava noin 90°C lämpötilassa.

Öljyn koestusastia ja elektrodit on puhdistettava ja kuivattava puhtaassa ilmavirrassa ennen kokeen suorittamista. Astia huuhdotaan ensin öljyllä ja sitten täytetään varovasti siten, ettei kaadettaessa muodostuisi ilmakuplia. Koestettavan näytteen annetaan seistä koestusastiassa n. 10min ennen kokeen aloittamista.

3.4 Kokeen suoritus

Mittauksissa käytettävä kytkentä on esitettyä kuvassa 2.



Kuva 2 Mittauskytkentä

Mittaukset tapahtuvat nostamalla jännitettä tasaisesti n. 1...2kV/s nopeudella läpilyöntiin asti ja merkitään muistiin tämä läpilyöntijännite.

5. Öljyn läpilyöntijännitteen riippuvuus läpilyöntien lukumäärästä

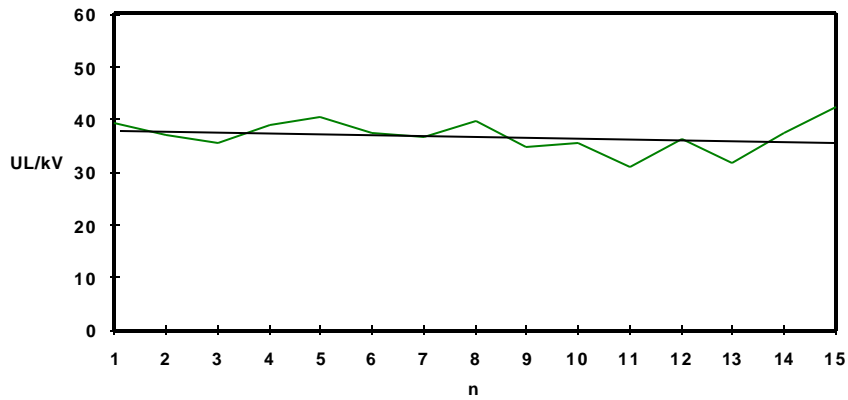
Suoritetaan 15 mittausta ja kirjataan läpilyöntijännitteet ylös. Erona edellisiin mittauksiin on se, ettei elektrodeja puhdisteta eikä öljyä sekoiteta mittausten välillä. Läpilyöntien välillä pidetään 1 min tauko.

Suoritimme edellä mainitut 15 mittausta. Tulokset taulukossa 2. Lisäksi taulukossa laskettu toisiojännitteen tehollisarvo $U_L = \hat{u}_2 / \sqrt{2}$.

Taulukko 2 Läpilyöntien lkm:n vaikutus mittaustuloksiin

Mittaus nro.	U_1 / V	\hat{u}_2 / kV	U_L / kV
1	92,0	55,5	39,2
2	88,0	52,5	37,1
3	84,0	50,0	35,4
4	92,0	55,0	38,9
5	96,0	57,0	40,3
6	91,0	53,0	37,5
7	91,0	52,0	36,8
8	97,0	56,0	39,6
9	85,0	49,0	34,6
10	84,0	50,0	35,4
11	74,0	44,0	31,1
12	85,0	51,0	36,1
13	80,0	45,0	31,8
14	88,0	53,0	37,5
15	101,0	60,0	42,2
Keskiarvo	88,5	52,2	36,9

Mittaustulosten perusteella piirretään kaavioon murtoviiva $U_L = f(n)$, sekä sen keskiarvoa vastaava viiva. Tulokset esitettynä kaaviossa 1.



Kaavio 1 Läpilyöntien lkm:n vaikutus mittaustuloksiin

Koska kaaviossa 1 esitetty keskiarvoviiva on laskeva voidaan päätellä tutkittavan öljyn olleen kuivaa. Nouseva suora olisi merkinnyt öljyn olleen kosteaa.

Taulukon 2 U_L :n keskiarvon mukaan saadaan öljylle läpilyöntijännitteeksi:

$$U_{LK} = 36.9\text{kV}$$

Tieteislaskimen avulla läpilyöntijännitteen normaalihajonnaksi saatiin:

$$\sigma = 2,9\text{kV}$$

6. Kosteuden vaikutus öljyn läpilyöntijännitteeseen ja sähkölujuuteen

Öljyyn sekoitetaan muutama pisara vettä. Määrätään öljyn läpilyöntijännite ja sähkölujuus samalla tavoin kuin kohdassa 4 on selostettu. Suoritetaan yksi hakuarvon mittausta ja viisi varsinaista mittausta. Mittausten välillä elektrodit puhdistetaan ja öljyä sekoitetaan.

Suoritimme kyseisen kokeen. Tulokset taulukossa 3a. Lisäksi taulukossa ilmenee viiden varsinaisen mittauksen keskiarvolukemat.

Taulukko 3a Kosteuden vaikutus mittaustuloksiin

Mittaus nro	U_1 / V	\hat{u}_2 / kV
0	50,0	28,5
1	64,0	38,0
2	53,0	31,0
3	43,0	22,0
4	54,0	31,0
5	47,0	27,0
Keskiarvo (1-5)	52,2	29,8

Öljyn läpilyöntijännitteeksi saadaan \hat{u}_2 :n keskiarvon mukaan

$$U_L = 29.8kV / \sqrt{2} = 21,1 \text{ kV}$$

Öljyn sähkölujuudeksi saadaan, kun elektrodietäisyys on 0.25cm:

$$K = 21.1kV / 0.25cm = 84,3kV/cm$$

Seuraavaksi toistetaan edellinen mittaus sillä poikkeuksella ettei elektrodeja puhdisteta eikä öljyä sekoiteta välillä.

Suoritimme kokeen. Tulokset taulukossa 3b.

Taulukko 3b Kosteuden vaikutus mittaustuloksiin

Mittaus nro	U_1 / V	\hat{u}_2 / kV
0	50,4	30,5
1	55,0	28,0
2	58,0	34,0
3	56,0	32,5
4	70,0	40,5
5	70,0	41,0
Keskiarvo (1-5)	61,8	35,2

Öljyn läpilyöntijännitteeksi saadaan \hat{u}_2 :n keskiarvon mukaan

$$U_L = 35,2kV / \sqrt{2} = 24,9 kV$$

Öljyn sähkölujuudeksi saadaan, kun elektrodietäisyys on 0.25cm:

$$K = 24,9kV / 0.25cm = 99,6kV/cm$$

7. Kysymyksiä ja vastauksia

1. Miksi normien mukaisesti läpilyöntiä määrättäessä otetaan koeläpilyönnin jälkeen viiden perättäisen läpilyönnin keskiarvo, eikä tyydytä vain 2-3 mittausarvoon?

Kuten mittaustuloksistakin voidaan päätellä vaihtelevat läpilyöntijännitteen arvot suuresti eri mittauskerroilla. Näin ollen useampi mittaustulos antaa paremman todennäköisyyden tulosten oikeellisuudesta. Ja koska mittauksia tehdään vain viisi, ei öljystä mahdollisesti haihtuva kosteus vaikuta mainittavasti tulosten oikeellisuuteen.

2. Miten kosteus vaikuttaa öljyn sähkölujuuteen?

Koska vesi johtaa sähköä paljon paremmin kuin eristysöljy, voi jo minimaalisen pieni määrä vettä alentaa öljyn sähkölujuutta merkittävästi kuten kohdan 6 mittauksista käy ilmi.

3. Miten selitetään puhtaan öljyn läpilyöntimekanismi?

Ei ole olemassa ns. täydellisesti eristävää ainetta. Kun jännitettä kasvatetaan riittävästi tapahtuu väistämättä läpilyönti. Lisäksi öljyn sekaan jääneet ilmakuplat heikentävät öljyn sähkölujuutta.

4. Miten kiinteät epäpuhtaudet vaikuttavat öljyn läpilyöntijännitteeseen?

Koska kiinteät epäpuhtaudet voivat olla sähköä hyvinkin johtavaa ainetta tai sisältää näitä ainesosia, alentavat ne öljyn läpilyöntijännitettä.

LIITTEET: Mittauspöytäkirja