



**ELEKTROIEKĀRTU IZOLĒJOŠO MINERĀLEĻĻU
TEHNISKĀS PRASĪBAS**

© AS "Latvenergo", teksts, 2025

© LEEA Standartizācijas centra "Latvijas Elektrotehnikas komiteja" noformējums,
makets, 2025

Šī energostandarta un tā daļu pavairošana un izplatīšana jebkurā formā vai jebkādiem
līdzekļiem bez Standartizācijas centra "Latvijas Elektrotehnikas komiteja" un
AS "Latvenergo" rakstiskas atļaujas ir aizliegta.

Latvijas Elektrotehnikas komiteja
Šmerļa iela 1, Rīgā, LV-1006
www.lekenergo.lv

Reģistrācijas Nr. 118
Datums 12.11.2025.
LEK 118
LATVIJAS ENERGOSTANDARTS

Anotācija

Starptautiskie standarti nosaka svarīgākās prasības elektroiekārtām un sniedz vispārīgas rekomendācijas elektroietaišu pārbaužu apjoma un periodiskuma noteikšanai.

Šajā energostandartā noteiktas galvenās tehniskās prasības neizmantotai vai atjaunotai, lietotai vai attīrītai elektroiekārtu izolējošai minerāleļļai (turpmāk tekstā arī – eļļai). Dots eļļas parametru īss apraksts, definētas eļļas kvalitātes pārbaužu grupas un sniegti ieteikumi pārbaužu veikšanas periodiskumam. Standarta mērķis ir nodrošināt ekspluatācijā esošu ar izolējošo minerāleļļu pildīto iekārtu nepārtrauktu darbaspēju un drošu ekspluatāciju, īstenojot iekārtās pielietojamās un tajās jau iepildītās izolējošās eļļas kvalitātes rādītāju sistemātisku uzraudzību.

Piezīme: Šis energostandarts nosaka prasības minerāleļļai, bet neattiecas uz sintētiskajām eļļām, esteru eļļām un citiem speciālajiem izolējošiem šķidrumiem.

Eļļas kvalitātes rādītāji elektroiekārtas tehniskā stāvokļa izvērtēšanai ir norādīti atkarībā no iekārtas tipa, darba sprieguma un izgatavošanas īpatnībām, kā arī sniegtas rekomendācijas personāla rīcībai atkarībā no iegūto eļļas parametru analīžu rezultātiem. Izvērtējot eļļas parametru analīžu rezultātus, jāņem vērā arī eļļas un iekārtas ražotāja prasības.

Iekārtas defektu noteikšanai plaši tiek izmantota eļļā izšķīdušo gāzu hromatogrāfijas metode. Energostandartā apkopoti gāzu koncentrāciju kritēriji, kurus pārsniedzot, pastāv varbūtība, ka iekārtā attīstās defekts, kā arī nosacījumi gāzu koncentrācijas pieauguma relatīvā ātruma izvērtējumam, lai noteiktu defekta bīstamību, un metodes gāzu koncentrācijas attiecību izvērtēšana iespējamā defekta rakstura noteikšanai.

Energostandartā ietvertas arī galvenās prasības eļļu sajaukšanai un uzglabāšanai, eļļas paraugu ņemšanai, uzglabāšanai un transportēšanai. Energostandartā nav norādītas veselības un drošības prasības rīcībai ar eļļu, tāpēc attiecīgos gadījumos nepieciešams vadīties no eļļu drošības datu lapām, kuras ir jāpieprasa no pārdevēja kopā ar iepirkamo eļļas partiju.

Energostandarts apstiprināts Latvijas Elektrotehnikas komitejā.

Satura rādītājs

1. Vispārīgie nosacījumi	4
1.1. Normatīvās atsauces	4
1.2. Energostandartā lietotie saīsinājumi.....	6
1.3. Termins	7
2. Eļļu klasifikācija, lietošana un pārbaudes.....	9
2.1. Vispārīgi	9
2.2. Eļļu klasifikācija.....	9
2.3. Eļļu sajaukšana	10
2.4. Eļļas uzglabāšana.....	11
2.5. Ar eļļu pildītu iekārtu klasifikācija un eļļu pielietošana.....	11
2.6. Eļļu kvalitātes pārbaudes.....	12
3. Eļļas paraugu ņemšana, uzglabāšana, transportēšana	13
4. Eļļas un iekārtas kvalitātes pārbaudes periodiskums	14
5. Eļļas un elektroiekārtas kvalitātes rādītāji	18
5.1. Eļļas kvalitātes rādītāji	18
5.2. Eļļā izšķīdušo gāzu analīze elektroiekārtas tehniskā stāvokļa novērtēšanai.....	31
5.3. Eļļas parametru analīžu rezultātu kopsakarību izvērtēšana.....	38
6. Eļļas kvalitātes rādītāju un eļļā izšķīdušo gāzu analīzes īss apraksts	39
6.1. Eļļas kvalitātes rādītāji	39
6.2. Eļļā izšķīdušo gāzu analīze.....	47
1. pielikums. Pasākumi eļļas paraugu ņemšanai, uzglabāšanai, transportēšanai	49
2. pielikums. Nosēdumu un duļķu noteikšanas metode	55
3. pielikums. Metode reakcijas produktu veidošanās noteikšanai	56
4. pielikums. Mitruma noteikšana transformatoru papīra izolācijā ar Maeira (Myera) koeficienta palīdzību.....	57
5. pielikums. Eļļas kvalitātes vizuālā novērtēšana.....	58

1. Vispārīgie nosacījumi

1.1. Normatīvās atsauces

Energostandarts izstrādāts, ievērojot Latvijas Republikas normatīvos aktus, Latvijas standartus, starptautiskos standartus, *Latvenergo* koncerna, AS "Augstsprieguma tīkls" un citu energouzņēmumu ekspluatācijas pieredzi.

Valsts normatīvo aktu prasības izpildāmas neatkarīgi no tā, vai energostandartā ir dota atsauce uz normatīvo aktu, vai tā nav dota.

Nedatētām norādēm piemērojams norādes dokumenta pēdējais izdevums (ieskaitot visus labojumus).

Energostandarta izstrādē sniegtas atsauces un izmantoti šādi normatīvie dokumenti:

Latvijas standarti

LVS EN IEC 60156 "Izolējoši šķidrumi. Caursties sprieguma noteikšana pie tīkla frekvences. Testa metode";

LVS EN 60247 "Izolējoši šķidrumi - Relatīvās dielektriskās caurlaidības, dielektrisko zudumu koeficienta ($\tan \delta$) un īpatnējās omiskās pretestības mērīšana";

LVS EN IEC 60296 "Elektrotehniskie šķidrumi. Elektroiekārtu izolējošās minerāleļļas";

LVS EN IEC 60422 "Izolējošās elektroiekārtu minerāleļļas. Norādījumi uzraudzībai un uzturēšanai";

LVS EN IEC 60475 "Izolējošo šķidrumu paraugu ņemšanas metode";

LVS EN IEC 60567 "Ar eļļu pildītās elektroiekārtas. Brīvo gāzu paraugu ņemšana un brīvo un izšķīdušo gāzu analīze minerāleļļās un citos izolācijas šķidrumos. Norādījumi";

LVS EN IEC 60599 "Ar minerāleļļu pildīta elektroiekārta ekspluatācijā. Instrukcija izšķīdušo un brīvo gāzu analīžu rezultātu interpretēšanai";

LVS EN 60666 "Specifisku piedevu konstatēšana un noteikšana izolējošajās minerāleļļās";

LVS EN 60814 "Izolējošie šķidrumi - Ar eļļu piesūcināts papīrs un kartons - Ūdens noteikšana ar automatizētu kulonometrisko titrēšanu pēc Karla Fišera metodes";

LVS EN 60970 "Izolējošie šķidrumi. Daļiņu skaita un lieluma noteikšana";

LVS EN 61619 "Izolējoši šķidrumi - Piesārņojums ar polihlorbifenilu (PCB) - Kapilāra gāzes hromatogrāfijas noteikšanas metode";

LVS EN 61198 "Izolējošās minerāleļļas - 2-furfurola un saistītu maisījumu noteikšanas metodes";

LVS EN 62021-1 "Izolējoši šķidrumi - Skābuma noteikšana - 1.daļa: Automātiskā potenciometriskā titrēšana";

LVS EN 62021-2 "Šķidrie izolācijas materiāli. Skābuma noteikšana. 2. daļa: Kolorimetriskā titrēšana";

LVS EN 62535 "Izolējošie šķidrumi. Testēšanas metode potenciāli korozīvā sēra noteikšanai lietotā un nelietotā izolējošā eļļā";

LVS EN 62697-1 "Testēšanas metodes korozīvā sēra savienojumu kvantitatīvai noteikšanai nelietotos un lietotos izolējošos šķidrums. 1. daļa: Testēšanas metode dibenzildisulfīda (DBDS) kvantitatīvai noteikšanai";

LVS EN ISO 2719 "Uzliesmošanas temperatūras noteikšana - Penska-Martena slēgtā tīģeļa metode";

LVS EN ISO 3016 "Nafta un naftas produkti no dabīgiem vai sintētiskiem izejmateriāliem. Sastingšanas temperatūras noteikšana";

LVS EN ISO 3104 "Naftas produkti. Caurredzami un necaurredzami šķidrumi. Kinemātiskās viskozitātes noteikšana un dinamiskās viskozitātes aprēķini";

LVS EN ISO 3675 "Nafta un šķidrie naftas produkti - Laboratorijas metode blīvuma noteikšanai - Areometra metode";

LVS EN ISO 8754 "Naftas produkti. Sēra satura noteikšana. Enerģijas dispersīvā rentgenfluorescences spektrometrija";

LVS EN IEC 61125 "Izolējoši šķidrumi. Oksidācijas noturības testa metodes. Oksidācijas noturības novērtēšanas testa metode piegādātiem izolējošiem šķidrumiem";

LVS EN IEC 62961 "Izolējoši šķidrumi. Testa metodes izolējošo šķidrumu starpfāžu virsmas spraiguma noteikšanai. Noteikšana ar gredzena metodi";

LVS EN ISO 12185 "Jēlnafta, nafta un līdzīgi produkti. Blīvuma noteikšana. Laboratorijas blīvuma mērītājs ar oscilējošu U veida caurules sensoru";

LVS EN ISO 14596 "Naftas produkti. Sēra satura noteikšana. Viļņu garuma dispersīvā rentgenfluorescences spektroskopijas metode".

Starptautiskie standarti un citi normatīvi

ISO 2049 "Petroleum products - Determination of colour (ASTM scale)";

ISO 4406 "Hydraulic fluid power - Fluids - Method for coding the level of contamination by solid particles";

ISO 6618 "Petroleum products and lubricants - Determination of acid or base number - Colour-indicator titration method";

IP 346 "Determination of polycyclic aromatics in unused lubricating base oils and asphaltene free petroleum fractions - Dimethyl sulphoxide extraction refractive index method";

ASTM D3612 "Standard Test Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography";

ASTM D971 "Standard Test Method for Interfacial Tension of Insulating Liquids Against Water by the Ring Method";

ASTM D1500 "Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)";

IEEE C57.104 "IEEE Guide for the interpretation of gases generated in mineral oil-immersed transformers";

DIN 51353 "Testing of insulating oils - Detection of corrosive sulfur - Silver strip test";

VGB-S-169-11-2015-11-EN "Quality requirements for mineral oils in power transformers";

CIGRE tehniskā brošūra Nr. **445** "Guide for transformer maintenance";

CIGRE tehniskā brošūra Nr. **771** "Advances in DGA interpretation";

ГОСТ 5985 (GOST 5985) "Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа";

РД 153-34.0-46.302-00 (RD 153-34.0-46.302-00) "Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле";

СТО 34.01-23.1-001-2017 "Объем и нормы испытаний электрооборудования".

1.2. Energostandartā lietotie saīsinājumi

A_{mi} ; $A_{(m-1)i}$ – i-tās gāzes koncentrācijas mērījumi apskatāmajā laika periodā (ppm);

ARI – automātiskā rezerves ieslēgšana;

BTA – benotriazols;

CH₄ – metāns;

C₂H₂ – acetilēns;

C₂H₄ – etilēns;

C₂H₆ – etāns;

C₃H₆ – propilēns;

C₃H₈ – propāns;

CO – oglekļa oksīds;

CO₂ – oglekļa dioksīds;

Cu – varš;

Cu₂S – vara sulfīds;

DBP – 2,6 di-terc-butil-fenols;

DBPC – 2,6 di-terc-butil-parakrezols;

DI – daļējas izlādes;

DBDS – dibenzila disulfīds;

H₂ – ūdeņradis;

GHA – gāzes hromatogrāfiskā analīze;

IFT – eļļas virsmas spraigums (*interfacial tension*);

KOH – kālija hidroksīds;

LCSET – zemākā iekārtas ieslēgšanas temperatūra;

N₂ – slāpeklis;

PCA – policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži;

PCB – polihlorbifenili;

RZS – regulēšana zem slodzes (OLTC – *On-load tap changer*);

O₂ – skābeklis;

T_d – analīzes un izvērtēšanas periodiskums;

TAA – N, N – bis (2 -etilheksil) – 1H – 1,2,4 – triazols – 1 metanamīns;

TTA – 5 – metil – 1H – benzotriazols;

TTAA – N -bis –(2 - etilheksil) - aminometil tolutriazols;

2-FAL – 2 - furfurols;

v_i – i-tās gāzes koncentrācijas pieauguma relatīvais ātrums.

1.3. Termini

1.3.1.

izolējoša minerāleļļa

eļļa, kura iegūta rafinējot, pārveidojot un/vai sajaucot naftas produktus un citus ogļūdeņražus.

1.3.2.

neizmantota izolējoša minerāleļļa

piegādātāja piegādātā, jauna neizmantotā izolējoša minerāleļļa.

1.3.3.

atjaunota izolējoša minerāleļļa

izolējošā minerāleļļa, kas pēc noliešanas no elektroiekārtas ir pakļauta apstrādei ar mehāniskiem līdzekļiem un ķīmiskās absorbcijas metodēm, lai samazinātu šķīstošo un nešķīstošo piesārņotāju daudzumu, lai iespējami pilnīgi atjaunotu materiāla īpašības.

Piezīme: Rūpnieciski atjaunotas izolējošās minerāleļļas tiek piegādātas atbilstoši standartā dotajai LVS EN IEC 60296 specifikācijai neizmantotām eļļām.

1.3.4.

attīrīta izolējoša minerāleļļa

izolējoša minerāleļļa, kas ir tikusi pakļauta apstrādei, piemēram, veicot degazēšanas, žāvēšanas vai filtrēšanas procedūras, uz vietas objektā.

1.3.5.

transformatoru eļļa

izolējoša minerāleļļa transformatoriem un citām elektroiekārtām.

1.3.6.

zemas temperatūras slēgiekārtu eļļa

izolējoša minerāleļļa, kas paredzēta ārā uzstādāmām slēgiekārtām, kuras izmanto klimatiskajās zonās ar ļoti zemām gaisa temperatūrām.

1.3.7. piedevas

ķīmiskas vielas, kuras pievienotas izolējošai minerāleļļai, lai uzlabotu noteiktus minerāleļļas kvalitātes rādītājus.

1.3.8. antioksidanta piedevas

piedevas, kuras palielina izolējošu minerāleļļu stabilitāti pret oksidāciju.

1.3.9. inhibitori

antioksidanta piedevas fenola un amīna tipa, piemēram, DBPC un DBP, kuras aprakstītas LVS EN 60666.

1.3.10. pārējās antioksidantu piedevas

sēra un fosfora tipa piedevas.

1.3.11. neinhibēta eļļa

izolējoša minerāleļļa, kura nesatur inhibitorus.

1.3.12. daļēji inhibēta eļļa

izolējoša minerāleļļa, kura satur no 0,01 % līdz 0,08 % (neieskaitot) inhibitoru atbilstoši LVS EN 60666.

1.3.13. inhibēta eļļa

izolējoša minerāleļļa, kura satur minimāli 0,08 % un maksimāli 0,40 % inhibitorus atbilstoši LVS EN 60666.

1.3.14. pasivatori

metāliska pasivatora piedevas, kuras izmantotas, lai mazinātu elektrostatisko lādiņu un palielinātu metāla stabilitāti pret oksidāciju.

1.3.15. tipiskās gāzu koncentrācijas vērtības

tādas gāzu koncentrācijas minerāleļļā, kas raksturīgas ekspluatācijā esošās iekārtās bez bojājumu pazīmēm, un par kurām tikai nelielā daļā gadījumu (piemēram, 10 %) novērojamas augstākas vērtības.

Piezīme 1: Tipiskās gāzu koncentrācijas vērtības ir tādi pieņemami gāzu daudzumi, kurus pārsniedz tikai neliela daļa (piemēram, 10 %) mērījumu ar augstāku gāzu saturu. Šajā gadījumā tās sauc par 90 % tipiskajām vērtībām. Tas dod iespēju koncentrēt uzturēšanas darbus uz tiem 10 % iekārtu, piemēram, transformatoru, kuriem ir vislielākais bojājumu risks.

Piezīme 2: Tipiskās vērtības atšķirsies dažāda veida iekārtām un dažādos elektriskajos tīklos, atkarībā no ekspluatācijas apstākļiem (slodzes līmeņiem, klimata u.c.). Tās būtu jāuztver kā sākotnējās vadlīnijas lēmumu pieņemšanai, proti, - kā vērtības, virs kurām gāzu veidošanās ātrums var norādīt uz iespējamu iekārtas bojājumu.

1.3.16. elektrostacija

energoietaise, kas paredzēta elektroenerģijas ģenerēšanai. Tā ietver būves, galvenās iekārtas un palīgiekārtas, kas nepieciešamas elektroenerģijas ražošanai un pārveidošanai.

2. Eļļu klasifikācija, lietošana un pārbaudes

2.1. Vispārīgi

2.1.1. Piegādātām, uzglabātām vai iekārtu iepildīšanai vai papildināšanai sagatavotām eļļām ir jābūt dokumentiem, kuros tiek apliecinātas eļļas īpašības, kvalitāte un pielietošanas joma. Eļļas, kuru kvalitāte ir sliktāka par šajā energostandartā vai iekārtas ražotāja noteikto, pielietot bez apstrādes aizliegts.

2.1.2. Katrai piegādātai eļļas partijai ir jābūt kvalitātes sertifikātam, kurā doti piedāvātās eļļas testēšanas parametri, kuri nedrīkst būt sliktāki par 5.1A. tabulā vai 5.1B. tabulā norādītajiem.

2.1.3. Elektroiekārtās jālieto eļļas, kuras nosaka iekārtas ražotājs, vai arī eļļas ar līdzīgām īpašībām, šajā gadījumā atļauju eļļas lietošanai jādod elektroietaisies valdītāja noteiktā kārtībā.

2.2. Eļļu klasifikācija

2.2.1. Kopējā minerāleļļu klasifikācija atšifrēta 2.1. tabulā.

2.1. tabula

**Eļļu klasifikācijas apzīmējumu atšifrējums
atbilstoši LVS EN IEC 60296**

Pirmais burts: klase (pēc iekārtas)	T – transformatoru	S – slēgiekārtu
Otrais burts: deklarācija	V – neizmantota (svaiga)	R – atjaunota
Trešais burts: tips	A tipa	B tipa
Ceturtais burts: antioksidanti	I – inhibēta	U – neinhibēta
	T – daļēji inhibēta	

2.2.2. Izolējošās minerāleļļas iedala šādās klasēs:

- transformatoru eļļa;
- zemas temperatūras slēgiekārtu eļļa.

2.2.3. Transformatoru eļļas papildus iedala tipos:

- A tipa eļļa – inhibēta eļļa (I), kas nodrošina augstāku stabilitāti pret oksidēšanos nekā B tipa eļļa (skat. 5.1A. tabulu);
- B tipa eļļa – neinhibēta eļļa (U), daļēji inhibēta (T) vai inhibēta eļļa (I), kas labi nodrošina izturību pret eļļas degradēšanos un stabilitāti pret oksidēšanos (skat. 5.1B. tabulu).

2.2.4. Eļļu klasificē arī pēc zemākās iekārtas ieslēgšanas temperatūras (LCSET). Atkarībā no inhibitoru satura mainās eļļas zemākā iekārtas ieslēgšanas temperatūra, viskozitāte un sastingšanas temperatūra (skatīt 2.2. tabulu).

2.2. tabula

Eļļas maksimālā viskozitāte un sastingšanas temperatūra atkarībā no zemākās iekārtas ieslēgšanas temperatūras (LCSET)

Iekārta	LCSET °C	Maksimālā viskozitāte mm ² /s	Maksimālā sastingšanas temperatūra °C
Transformators	0	1800	-10
Transformators	-20	1800	-30
Transformators	-30	1800	-40
Transformators (zemai apkārtējās vides temperatūrai)	-40	2500 ^(a)	-50
Slēgiekārtā (zemai apkārtējās vides temperatūrai)	-40	400 ^(a)	-60

^(a) zemā apkārtējās vides temperatūrā strādājošām iekārtām. Citos gadījumos par vērtību vienojas ar ražotāju.

Piezīme: Ražotāji parasti izgatavo transformatoru eļļu ar -30 °C LCSET. Gadījumā, ja nepieciešama eļļa ar citu LCSET līmeni, tas ir jānorāda iepirkuma tehniskajā specifikācijā atbilstoši 2.2. tabulā norādītajam iedalījumam.

2.3. Eļļu sajaukšana

2.3.1. Eļļu papildināšanai vai nomainībai līdz 10 % no eļļas sākotnējā apjoma (pilna iekārtas tvertnes apjoma) bez saderības pārbaudes drīkst izmantot vienas klases, tipa un vienāda LCSET līmeņa šim energostandartam atbilstošas neizmantotas vai atjaunotas eļļas. Atsevišķos gadījumos bez saderības pārbaudes līdz 10 % atļauts sajaukt ar lietotu eļļu, kas pēc LVS EN IEC 60422 atbilst novērtējumam "labi".

Piezīme: Par eļļas papildināšanu tiek veikta uzskaitē.

2.3.2. Lēmumu par eļļu sajaukšanu lielākā apjomā nekā minēts 2.3.1. p. vai sajaucot ar esošu eļļu maisījumu, vai arī atšķirīgas eļļas klases, tipa un LCSET līmeņa gadījumā pieņem elektroietaisies valdītāja noteiktā kārtībā. Nepieciešamības gadījumos lēmuma pieņemšanai par eļļu atbilstību sajaukšanai, jāgriežas pie eļļas piegādātāja/ ražotāja.

2.3.3. Pirms eļļas iepildīšanas elektroiekārtā jāveic eļļu maisījuma saderības pārbaudes, nosakot savstarpējās reakcijas produktu veidošanos saskaņā ar VGB-S-169-11-2015-11-EN.

Eļļas saderības pārbaudē eļļas jāsalej tādā proporcijā, kādā tās tiks izmantotas ekspluatācijā, bet, ja tas nav zināms, tad - 50%/50%. Iekārtā esošās eļļas (vai eļļu maisījuma) sajaukšana notiek ar eļļu, kuras kvalitātes rādītāji ir labāki nekā esošajai eļļai (esošajam eļļu maisījumam).

2.3.4. Pēc eļļu sajaukšanas elektroiekārtā ieteicams veikt eļļas pilno pārbaudi atbilstoši 2.4. tabulai (ūdens satura, caursites sprieguma, dielektrisko zudumu tgδ, skābes skaitļa, tīrības klases, uzliesmošanas temperatūras analīzi). Kā papildus mērījums rekomendējama eļļas krāsas noteikšana.

Eļļas maisījuma kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par papildināmās eļļas kvalitāti.

2.4. Eļļas uzglabāšana

2.4.1. Ar izolējošo minerāleļļu pildītu iekārtu eļļas rezervi uztur elektroietaišu valdītāja noteiktā kārtībā. Rezerves eļļas kvalitātes pārbaūžu periodiskums norādīts 4.1.3. p. un tās kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par 5.2. tabulā norādīto.

2.4.2. Neizmantotu eļļu rezervuāros uzglabā atsevišķi no lietotās eļļas. Aizliegts uzglabāt vienā tvertnē dažādas klases, tipa un LCSET līmeņa transformatoru eļļas. Gadījumos pēc pozitīva saderības pārbaudes slēdziena saņemšanas elektroietaisies valdītāja noteiktā kārtībā vienā tvertnē atļauts uzglabāt neizmantotu vai lietotu eļļu maisījumu. Šajā gadījumā jāņem vērā arī antioksidanta piedevas saturs eļļās. Nepieciešamības gadījumos lēmuma pieņemšanai par eļļu uzglabāšanas nosacījumiem jāgriežas pie eļļas piegādātāja/ ražotāja.

2.5. Ar eļļu pildītu iekārtu klasifikācija un eļļu pielietošana

2.5.1. Iekārtu iedalījums atkarībā no darba sprieguma un izpildāmām funkcijām norādīts 2.3. tabulā.

2.3. tabula

Ar eļļu pildīto iekārtu klasifikācija

Iekārtu grupa	Iekārtas nosaukums	Elektrotīkla nominālais spriegums
A	Spēka transformatori, šunta reaktori, autotransformatori	330 kV
B	Spēka transformatori	110 kV
C	(Nehermētiska izpildījuma) spēka transformatori	≤ 36 kV
D	Mērmaiņi	330 kV
E	Mērmaiņi	≤ 110 kV
F	RZS iekārtas	
G	Eļļas jaudas slēdži	110 kV
H	Eļļas jaudas slēdži	≤ 36 kV
K	Hermētiskie ar eļļu pildītie caurvadi	330 kV
L	Hermētiskie ar eļļu pildītie caurvadi	≤ 110 kV

Piezīme 1: RZS iekārtas ar pilnībā no galvenās tvertnes izolētiem nodalījumiem ietilpst attiecīgā transformatora kategorijā.

Piezīme 2: Ar riska novērtējumu var pamatot augstākas grupas iekārtām paredzētu stāvokļa uzraudzības paņēmieni piemērošanu neatkarīgi no sprieguma līmeņa.

Piezīme 3: Praktisku un ekonomisku iemeslu dēļ uz mazjaudas transformatoriem līdz 1 MVA ar sprieguma līmeni ≤36 kV šī klasifikācija netiek attiecināta. Ja šādiem transformatoriem ir nepieciešama regulāra tehniskā uzraudzība, atbilstošas ir C grupai sniegtās vadlīnijas.

2.5.2. Jaunas ar eļļu pildītās elektroiekārtas jāpilda tikai ar neizmantotas vai atjaunotas, ekspluatācijai sagatavotas izolējošās eļļas kvalitātes parametriem atbilstošu eļļu, ja iekārtas valdītājs nav noteicis citādi. Prasība attiecināma arī uz iekārtām, kurām eļļa tiek uzpildīta jau rūpnīcā.

Pēc iekārtas remonta ar eļļas noliešanu vai papildinot eļļu, atļauts elektroiekārtās iepildīt arī attīrītu vai lietotu izolācijas eļļu, kuras kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par 5.2. tabulā norādīto.

2.6. Eļļu kvalitātes pārbaudes

2.6.1. Atkarībā no pārbaudes mērķiem un iegūtās informācijas no iepriekš veikto analīžu rezultātiem, eļļu kvalitātes parametri tiek iedalītas trīs pārbaudžu grupās (skatīt 2.4. tabulu).

2.4. tabula

Eļļu kvalitātes pārbaudes

Grupa	Nosaukums	References testēšanas metode ^(a)
1	Pilnā pārbaude	
	Caursites spriegums	LVS EN IEC 60156
	Ūdens saturs	LVS EN 60814
	Skābes skaitlis	ISO 6618, LVS EN 62021-1, LVS EN 62021-2 vai GOST 5985
	Eļļas tīrības klase, mehāniskie piemaisījumi	ISO 4406, LVS EN 60970
	Uzliesmošanas temperatūra	LVS EN ISO 2719
	Dielektrisko zudumu leņķa tangenss tg δ	LVS EN 60247
2	Eļļā izšķīdušās gāzes (GHA)	ASTM D3612
3	Speciālās pārbaudes^(b)	
	Krāsa ^(c)	ISO 2049 vai ASTM D1500
	Antioksidantu saturs ^(c)	LVS EN 60666
	Kinemātiskā viskozitāte	LVS EN ISO 3104
	Caurspīdība	vizuāli
	Vizuālā novērtēšana	skatīt 5. pielikumu
	Blīvums 20°C	LVS EN ISO 3675 vai LVS EN ISO 12185
	Īpatnējā pretestība	LVS EN 60247
	Nosēdumi un duļķes	skatīt 2. pielikumu
	Savstarpējās reakcijas produkti	VGB-S-169-11-2015-11-EN skatīt 3. pielikumu
	Stabilitāte pret oksidēšanos	LVS EN IEC 61125
	Furānu koncentrācija	LVS EN 61198
	Nejaušas gāzu veidošanās tendence	LVS EN IEC 60296:2020 A.4. p.
	Sastīgšanas temperatūra	LVS EN ISO 3016
	Virsmas spraigums	ASTM D971 vai LVS EN IEC 62961
	Metālu pasivatoru daudzums	LVS EN 60666
	Sēra kopējais daudzums	LVS EN ISO 14596 vai LVS EN ISO 8754
	Korozīvā sēra kopējais daudzums	DIN 51353
	Potenciāli korozīvā sēra daudzums	LVS EN 62535
	DBDS	LVS EN 62697-1
	Polihlorbifenilu (PCB) koncentrācija	LVS EN 61619
	Policiklisko aromātisko vielu (PCA) koncentrācija	IP 346
Piezīmes: ^(a) references testēšanas metode var mainīties atbilstoši normatīviem dokumentiem, pielietojamo metodi un metožu maiņu apstiprina elektroietaisies valdītāja noteiktā kārtībā; ^(b) speciālās pārbaudes – ļauj pilnīgāk izvērtēt eļļas tehnisko stāvokli, lēmumu par vienu vai vairāku eļļas parametru analīzes nepieciešamību pieņem elektroietaisies valdītāja noteiktā kārtībā; ^(c) elektroietaisies valdītājs izvērtē parametra iekļaušanu pilnās pārbaudes apjomā.		

3. Eļļas paraugu ņemšana, uzglabāšana, transportēšana

3.1. Eļļas paraugu ņemšanu, uzglabāšanu un transportēšanu jāveic, ievērojot eļļas un iekārtas ražotāja un testēšanas laboratorijas norādījumus un rekomendācijas, kā arī 1. pielikumā un standartā LVS EN IEC 60475 noteiktās prasības.

3.2. Iekārtu ekspluatācijas laikā minerāleļļas iedarbība uz apkārtējo vidi nav pieļaujama.

3.3. Pirms parauga ņemšanas jānodrošina:

3.3.1. konkrētai iekārtai paredzētie un analīzei nepieciešamie eļļas ņemšanas, uzglabāšanas un transportēšanas darba rīki, instrumenti, palīgierīces (piemēram, trepes un pacelāji), materiāli;

3.3.2. attiecīgu rezerves blīvju un detaļu esamība;

3.3.3. pirmās palīdzības aptieciņa, ūdens vai acu skalošanas līdzekļi, individuālie aizsardzības līdzekļi;

3.3.4. naftas produktu absorbents;

3.3.5. tilpne nederīgās nolietās eļļas savākšanai;

3.3.6. eļļas paraugu ņemšanai piemērotas tīras, sausas, vēlams tumša stikla pudeles (tilpums 1-2 litri) vai hromatogrāfijas analīzei stikla šļirces (tilpums 25-100 ml). Atsevišķos gadījumos pieļaujams ņemt paraugu cita materiāla traukā saskaņā ar LVS EN IEC 60475 prasībām;

3.3.7. eļļas rezerve papildināšanai;

3.3.8. atsevišķi atkritumu maisi izlietoto lupatu un absorbenta savākšanai.

3.4. Pēc parauga ņemšanas un gadījumos, kad to nosaka ekspluatācijas instrukcija vai eļļas līmenis samazinājies zem minimāli pieļaujamā līmeņa, jāizvērtē eļļas papildināšanas vai eļļas līmeņa noregulēšanas (ja tas tehniski iespējams) nepieciešamību. Kā arī jāpārlicinās par eļļas teces vai sūces neesamību. Eļļas teces vai sūces gadījumā jānodrošina tās novēršana.

3.5. Piemēroti apstākļi eļļas parauga ņemšanai ir sekojoši:

3.5.1. ieteicams eļļas paraugu ņemt, kad iekārta ir vissiltākā, attiecīgi eļļa – vismitrākā;

3.5.2. periodiskais vai atkārtotais eļļas paraugs jāņem pēc iespējas tūlīt pēc iekārtas atslēgšanas, kamēr eļļa ir dabīgajā cirkulācijā un nav noticis eļļas mitruma pārdalījums starp cieto izolāciju un eļļu, nav notikusi eļļā esošo mehānisko daļiņu un piemaisījumu nosēšanās, kā arī noteikti pirms eļļas papildināšanas vai maiņas;

3.5.3. laika apstākļi bez nokrišņiem;

3.5.4. parauga ņemšana lietus, miglas vai stipra vēja apstākļos pieļaujama izņēmuma gadījumos, ja ir veikti visi nepieciešamie pasākumi, lai novērstu eļļas samitrināšanos vai mehānisku piemaisījumu iekļūšanu tajā;

3.5.5. lai novērstu mitruma kondensēšanos eļļas paraugā, ņemamās eļļas temperatūrai jābūt augstākai par apkārtējā gaisa temperatūru, ja to nevar

nodrošināt – nepieciešams uzsildīt parauga noņemšanas trauku virs apkārtējās vides temperatūras.

4. Eļļas un iekārtas kvalitātes pārbaudes periodiskums

4.1. Eļļas kvalitātes kontroles pārbaudes veic šādos gadījumos un apjomos:

4.1.1. neizmantotas un atjaunotas eļļas – pirms iepirkšanas no piegādātāja;

4.1.2. neizmantotas un atjaunotas eļļas – pirms pieņemšanas no piegādātāja:

4.1.2.1. ja iepakojuma tilpums ir 1 m³ un lielāks, paraugs tiek ņemts no katra iepakojuma;

4.1.2.2. ja iepakojuma tilpums mazāks par 1 m³ - izlases kārtībā no katras piektā iepakojuma (mucas).

Piezīme: Turpmāk atkārtoti eļļas paraugus ņem vienas un tās pašas mucas.

Nepieciešamais minimālais eļļas kvalitātes pārbaudes apjoms, pieņemot to no piegādātāja, noteikts 5.1.1. p.

4.1.3. no uzglabāšanā esošā eļļas rezerves tilpuma:

4.1.3.1. vai veic kārtējās pilnās pārbaudes (neizmantotām, atjaunotām un attīrītām eļļām):

- ja iepakojuma tilpums ir 1 m³ un lielāks - vienu reizi 6 mēnešos;
- ja iepakojuma tilpums mazāks par 1 m³ - vienu reizi gadā

4.1.3.2. vai veic pilno pārbaudi pirms iepildīšanas iekārtā.

Piezīme: Ja eļļas kvalitātes kārtējās pārbaudes tika veiktas 4.1.3.1. p. noteiktajā periodiskumā un kvalitāte atbilst 5.1.2. p. noteiktajam, pārbaude pirms iepildīšanas iekārtā nav obligāta.

4.1.4. no ekspluatācijā esošas iekārtas:

4.1.4.1. atbilstoši elektroietaisies valdītāja noteiktā kārtībā norādītajam eļļas parametru pārbaūžu apjomam un periodiskumam atkarībā no izvēlētās ekspluatācijas metodoloģijas un atbilstoši iekārtas ražotāja rekomendācijām. Pārbaūžu rekomendētais periodiskums dots 4.1. tabulā;

4.1.4.2. no jauna ieslēgtajiem A un B grupas transformatoriem, transformatoriem pēc atjaunošanas remonta ar pilnu vai daļēju eļļas noliešanu no iekārtas ieslēgšanas brīža parauga noņemšanu eļļas pilnai pārbaudei jāveic:

- 3 diennakšu laikā;
- pēc mēneša;
- pēc 3 mēnešiem;
- turpmāk atbilstoši 4.1.4.1. p.

4.2. Elļā izšķīdušo gāzu hromatogrāfiskās analīzes veic šādos gadījumos un sekojošā periodiskumā:

4.2.1. ekspluatācijā esošām iekārtām GHA veikšanas rekomendētais periodiskums dots 4.1. tabulā.

4.2.2. transformatoriem, kas ir aprīkoti ar tiešsaistes GHA monitoringa sistēmu, GHA laboratorijā veic periodiskumā, kas norādīts elektroietaisies valdītāja noteiktā kārtībā.

4.2.3. no jauna ieslēgtajiem transformatoriem, transformatoriem pēc atjaunošanas remonta ar pilnu vai daļēju eļļas noliešanu un transformatoriem pēc pusgada atrašanās bez sprieguma, izņemot transformatorus, kas atrodas ARI, no iekārtas ieslēgšanas brīža parauga noņemšanu GHA veikšanai jāveic:

4.2.3.1. 3 diennakšu laikā;

4.2.3.2. pēc mēneša;

4.2.3.3. pēc 3 mēnešiem;

4.2.3.4. pēc 6 mēnešiem.

Piezīme: Transformatoriem, kuri atrodas konservācijā vai glabājas rezervē, GHA nav obligāta. Pēc ieslēgšanas pastāvīgā darbā GHA veic šajā punktā norādītajā periodiskumā.

4.2.4. transformatoriem, kuriem tikusi veikta eļļas apstrāde, GHA ieteicams veikt:

4.2.4.1. pēc eļļas apstrādes;

4.2.4.2. mēnesi pēc transformatora ieslēgšanas darbā;

4.2.4.3. pēc 3 mēnešiem;

4.2.4.4. pēc 6 mēnešiem.

4.2.5. hidroelektrostaciju transformatoriem GHA jāveic ne retāk kā trīs reizes gadā:

4.2.5.1. palu perioda sākumā;

4.2.5.2. palu perioda beigās;

4.2.5.3. pirms ziemas sākuma.

4.2.6. caurvadiem GHA jāveic pēc nepieciešamības, ja ir konstatēta izolācijas pasliktināšanās, vai pēc iekšējiem normatīviem dokumentiem.

4.3. Rekomendācijas speciālo pārbaūžu veikšanai:

4.3.1. furānu koncentrācijas noteikšana elļā ir ieteicama gadījumos, kad ir konstatētas transformatora cietās izolācijas novecošanās pazīmes:

- ar GHA noteiktā oglekļa oksīda vai oglekļa dioksīda koncentrācija sasniedz 5.5A. tabulā doto 3.līmeņa robežkoncentrācijas vērtību vai tipisko koncentrāciju intervāla maksimālo vērtību 5.5B. tabulā;

- ar GHA noteiktā oglekļa oksīda vai oglekļa dioksīda koncentrācija sasniedz 70 % no 5.6. tabulā dotās 3. līmeņa robežkoncentrācijas vai tipisko koncentrāciju intervāla maksimālās vērtības 5.7. tabulā un noteiktā oglekļa oksīda/oglekļa dioksīda koncentrācijas attiecība ir lielāka par 16 vai mazāka par 5;
- ar GHA noteiktā attiecība skābeklis/slāpeklis ir mazāka par 0,3;
- noteiktā ūdens koncentrācija eļļā pie temperatūras 20 °C pārsniedz 20 -30 ppm;
- kaut viena no ar GHA noteikto degošo gāzu (ūdeņraža, etilēna, etāna, metāna, acetilēna) koncentrācijām sasniedz 5.6. tabulā doto 3.līmeņa robežkoncentrācijas vērtību vai tipisko koncentrāciju intervāla maksimālo vērtību 5.7. tabulā;
- transformatora tvertnes temperatūra ilgstoši pārsniedz 100 °C;
- elektrostaciju A un B grupas transformatoriem ik pēc 10 gadu ekspluatācijas.

4.3.2. gadījumos, ja tika novērota skābes skaitļa un dielektrisko zudumu tgδ palielināšanās, sasniedzot daļēji neapmierinošu līmeni, vai ja GHA noteiktās skābekļa/slāpekļa attiecības rezultāts ir mazāks par 0,3, ir ieteicama antioksidantu koncentrācijas noteikšana;

4.3.3. virsmas spraigumu ir ieteicams noteikt gadījumos, ja palielinās skābes skaitļa, dielektrisko zudumu tgδ vai ūdens satura daudzums.

4.3.4. viskozitāti pie -30 °C ir ieteicams noteikt eļļai, kura iepildīta pēc IEC standartiem ražotos kontaktoros, kuri ir uzstādīti atsevišķā tvertnē ārpus transformatora tvertnes, kā arī eļļai visos vakuuma tipa kontaktoros.

4.1. tabula

Eļļas parametru pārbaūžu rekomendētais periodiskums

Pārbaudes (skat. 2.4. tabulu)	Iekārtu grupa (skat. 2.3. tabulu)									
	A Spēka transformatori, šunta reaktori, autotransformatori 330 kV elektrotīklā	B Spēka transformatori 110 kV elektrotīklā	C (Nehermētiska izpildījuma) spēka transformatori ≤ 36 kV elektrotīklā	D Mērmaiņi 330 kV elektrotīklā	E Mērmaiņi ≤ 110 kV elektrotīklā	F RZS iekārtas	G Eļļas jaudas slēdži 110 kV elektrotīklā	H Eļļas jaudas slēdži ≤ 36 kV elektrotīklā	K Hermētiskie ar eļļu pildītie caurvadi 330 kV elektrotīklā	L Hermētiskie ar eļļu pildītie caurvadi ≤ 110 kV elektrotīklā
Pilnās pārbaudes	1–2 gadi ^{(e) (f)}	1–4 gadi	1–4 gadi ^(b)	4–8 gadi ^(b)	4–8 gadi ^(b)	1–4 gadi ^(b)	4–8 gadi ^(b)	(a)	(a)	(a)
Eļļā izšķīdušās gāzes GHA	6 mēn. ^{(c), (d), (g), (j)}	6 mēn. ^{(c), (j)}	pēc nepieciešamības ^(h)	8 gadi	8 gadi ⁽ⁱ⁾	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Speciālās pārbaudes	Ļauj pilnīgāk izvērtēt eļļas tehnisko stāvokli, lēmumu par nepieciešamību pieņemt elektroietaises valdītāja noteiktā kārtībā.									
Piezīmes:										
^(a) H, K, L grupas iekārtām eļļas parametru pilnās pārbaudes netiek veiktas noteiktā periodiskumā; F un G grupas iekārtām arī GHA netiek veikta noteiktā periodiskumā.										
^(b) Pārbaūžu apjomu nosaka elektroietaises valdītāja noteiktā kārtībā.										
^(c) Hidroelektrostaciju transformatoriem GHA periodiskumu skat. 4.2.5. p.										
^(d) HES 330 kV kabeļu adapteru GHA periodiskums ir reizi 6 mēnešos.										
^(e) HES 330 kV kabeļu adapteru pārbaūžu apjoms un periodiskums tāds pats kā transformatoram.										
^(f) Selektoriem, kuri ir uzstādīti atsevišķā tvertnē ārpus transformatora tvertnes, pārbaūžu apjoms un periodiskums tāds pats kā transformatoriem.										
^(g) Selektoriem, kuri ir uzstādīti atsevišķā tvertnē ārpus transformatora tvertnes, GHA periodiskums ir reizi gadā.										
^(h) Pašpatēriņa transformatoriem ar jaudu > 10 MVA GHA veic reizi gadā; ar jaudu <10 MVA GHA veic periodiskumā, kas norādīts elektroietaises valdītāja noteiktā kārtībā.										
⁽ⁱ⁾ GHA periodiski neveic mērmaiņiem, kas ražoti saskaņā ar GOST standartiem.										
^(j) Transformatoriem, kas ir aprīkoti ar tiešsaistes GHA monitoringa sistēmu skat. 4.2.2.p.										

5. Eļļas un elektroiekārtas kvalitātes rādītāji

5.1. Eļļas kvalitātes rādītāji

5.1.1. Neizmantotai vai atjaunotai eļļai:

5.1.1.1. pirms eļļas pieņemšanas no piegādātāja jāveic tās kvalitātes parametru pārbaude, sertifikātā norādītajiem eļļas parametriem jāatbilst 5.1A. tabulā vai 5.1B. tabulā norādītajām prasībām attiecīgajam eļļas tipam;

5.1.1.2. pēc eļļas saņemšanas no transportēšanas tilpnes (iepakojuma) jāņem paraugs un laboratorijā jāveic vismaz eļļas pilnā pārbaude atbilstoši 2.4. tabulai. Speciālās pārbaudes laboratorijā nosaka elektroietaisies valdītāja noteiktajā kārtībā;

5.1.1.3. pārējiem sertifikātā norādītajiem parametriem laboratorijā testēšanu var neveikt un kvalitātes rādītāji jāsalīdzina ar 5.1A. vai 5.1B. tabulā norādītajām vērtībām.

5.1.2. Iepildīšanai vai papildināšanai sagatavotai eļļai kvalitāte ir ne sliktāka par 5.2. tabulā norādīto, ja iekārtas ražotājs nav noteicis citādi.

5.1.3. Iepildīšanai sagatavotas neizmantotas eļļas kvalitāte pēc iepildīšanas jaunās elektroiekārtās nedrīkst būt sliktāka par 5.3A. tabulā norādīto.

5.1.4. Neizmantotas vai atjaunotas un lietotas vai attīrītas eļļas kvalitāte pēc iepildīšanas ekspluatācijā esošā elektroiekārtā nedrīkst būt sliktāka par 5.3B. tabulā norādīto.

5.1.5. Ekspluatācijā esošas eļļas pārbaudē ir noteiktas trīs kvalitātes parametru robežas:

5.1.5.1. kvalitāte apmierinoša – papildus pārbaude nav nepieciešama;

5.1.5.2. kvalitāte daļēji apmierinoša – ir ieteicama atkārtota eļļas parametru kvalitātes pārbaude, rekomendējams monitorings, samazinot periodu starp pārbaudēm un izvērtējot arī izmaiņu dinamiku salīdzinājumā ar iepriekš veikto analīžu rezultātiem. Kā arī izvērtēt, vai papildus nepieciešams veikt kādu no 2.4. tabulā norādītajām speciālajām pārbaudēm.

5.1.5.3. kvalitāte neapmierinoša – pēc iespējas ātrāk jāveic atkārtota eļļas parametru kvalitātes pārbaude, izvērtējot arī izmaiņu dinamiku salīdzinājumā ar iepriekš veikto analīžu rezultātiem. Kā arī izvērtēt, vai papildus nepieciešams veikt kādu no 2.4. tabulā norādītajām speciālajām pārbaudēm. Lēmumu par elektroietaisies turpmāku ekspluatāciju pieņem elektroietaisies valdītāja noteiktajā kārtībā.

Piezīme: Ekspluatācijā esošas eļļas kvalitātes prasības atkarībā no iekārtas tipa, darba sprieguma un izgatavošanas īpatnībām dotas attiecīgi 5.4A., 5.4B., 5.4C., 5.4D. un 5.4E. tabulā.

5.1A. tabula
Neizmantotas vai atjaunotas A tipa eļļas kvalitātes prasības

Parametrs	Mērvienība	Transformatoru eļļa	Zemas temperatūras slēģiekārtu eļļa
Kinemātiskā viskozitāte pie 40 °C	mm ² /s	Max. 12	Max. 3,5
Kinemātiskā viskozitāte pie -30 °C	mm ² /s	Max. 1 800	-
Kinemātiskā viskozitāte pie -40 °C	mm ² /s	-	Max. 400
Sastingšanas temperatūra	°C	Max. -40	Max. -60
Ūdens saturs (rezultātu novērtēšanas 2. opcija, 6.1.2.p.)	ppm	Max. 30 ppm ^(a) / 40 ppm ^(b)	
Caursites spriegums	kV	Min. 30 /70 ^(c)	
Blīvums pie 20°C	kg/m ³	Max. 895	
Dielektriskie zudumi pie 90°C tgδ	%	Max. 0,5	
Krāsa (atbilst ISO 2049 skalai)	balles	< 0,5	
Caurspīdība	-	Caurspīdīga, bez nogulsnēm un suspendētām daļiņām	
Skābes skaitlis	mgKOH/g	Max. 0,01	
Virsmas spraigums	mN/m	Min. 43	
Sēra kopējais daudzums	%	Max. 0,05	
Korozīvais sērs		Neesamība	
Potenciāli korozīvais sērs		Neesamība	
DBDS	mg/kg	Nenoteiktība (<5 mg/kg)	
Antioksidantu saturs (pēc LVS EN 60666)	%	Inhibētai eļļai (I): 0,08- 0,40	
Metālu pasivatoru daudzums	mg/kg	Nenoteiktība (<5 mg/kg)	
Furānu savienojumu koncentrācija	mg/kg	Nenoteiktība (<0,05 mg/kg) katram savienojumam	
Gāzu veidošanās tendence		Tendences neesamība	
Stabilitāte pret oksidēšanos	stundas	(I) eļļa – 500	
Absolūtais skābums	mgKOH/g	Max. 0,3	
Duļķes	%	Max.0,05	
Dielektriskie zudumi pie 90°C tgδ	%	Max. 5	
Uzliesmošanas temperatūra	°C	Min. 135	Min. 100
PCA saturs (kancerogēni)	%	Max. 3	
PCB saturs (polihlorbifenili)	mg/kg	Neesamība (< 2 mg/kg)	
Tīrības klase		≤ 16/14/11 ^(d)	
Piezīmes:			
^(a) piegāde lielā apjomā;			
^(b) piegāde mucās;			
^(c) pēc žāvēšanas;			
^(d) ieteicamā vērtība, jo nav LVS EN IEC 60296 tvērumā – atsevišķi vienojas ar eļļas piegādātāju par nepieciešamo tīrības klasi, iekļaujot tehniskajā specifikācijā.			

5.1B. tabula
Neizmantotas vai atjaunotas B tipa eļļas kvalitātes prasības

Parametrs	Mērvienība	Transformatoru eļļa	Zemas temperatūras slēgiekārtu eļļa
Kinemātiskā viskozitāte pie 40 °C	mm ² /s	Max. 12	Max. 3,5
Kinemātiskā viskozitāte pie -30 °C	mm ² /s	Max. 1 800	-
Kinemātiskā viskozitāte pie -40 °C	mm ² /s	-	Max. 400
Sastingšanas temperatūra	°C	Max. -40	Max. -60
Ūdens saturs (rezultātu novērtēšanas 2. opcija, 6.1.2.p.)	ppm	Max. 30 ppm ^(a) / 40 ppm ^(b)	
Caursites spriegums	kV	Min. 30/70 ^(c)	
Blīvums pie 20°C	kg/m ³	Max. 895	
Dielektriskie zudumi pie 90°C tgδ	%	Max. 0,5	
Krāsa (atbilst ISO 2049 skalai)	balles	Max. 1,5	
Caurspīdība	-	Caurspīdīga, bez nogulsnēm un suspendētām daļiņām	
Skābes skaitlis	mgKOH/g	Max. 0,01	
Virsmas spraigums	mN/m	Min. 40	
Korozīvais sērs		Neesamība	
Potenciāli korozīvais sērs		Neesamība	
DBDS	mg/kg	Nenoteiktība (<5 mg/kg)	
Antioksidantu saturs (pēc LVS EN 60666)	%	Neinhibētai eļļai (U): nenoteiktība (<0,01) Daļēji inhibētai eļļai (T): ≥0,01 <0,08 Inhibētai eļļai (I): 0,08- 0,40	
Metālu pasivatoru daudzums	mg/kg	Nenoteiktība (<5 mg/kg)	
Furānu savienojumu koncentrācija	mg/kg	Nenoteiktība (<0,05 mg/kg) katram savienojumam	
Stabilitāte pret oksidēšanos	stundas	(U) eļļa – 164, (T) eļļa – 332, (I) eļļa - 500	
Absolūtais skābums	mgKOH/g	Max. 1,2	
Duļķes	%	Max. 0,8	
Dielektriskie zudumi pie 90°C tgδ	%	Max. 5	
Uzliesmošanas temperatūra	°C	Min. 135	Min. 100
PCA saturs (kancerogēni)	%	Max. 3	
PCB saturs (polihlorbifenili)	mg/kg	Neesamība (< 2 mg/kg)	
Tīrības klase		≤ 16/14/11 ^(d)	
Piezīmes:			
^(a) piegāde lielā apjomā;			
^(b) piegāde mucās;			
^(c) pēc žāvēšanas;			
^(d) ieteicamā vērtība, jo nav LVS EN IEC 60296 tvērumā – atsevišķi vienojas ar eļļas piegādātāju par nepieciešamo tīrības klasi, iekļaujot tehniskajā specifikācijā.			

5.2. tabula

Iepildīšanai un papildināšanai sagatavotas eļļas kvalitātes prasības pirms
iepildīšanas iekārtā

Parametrs	Mērvienība	Neizmantota vai atjaunota eļļa	Lietota vai attīrīta eļļa
Caursites spriegums	kV	>70 ^(b)	>65 ^(b)
Ūdens saturs (rezultātu novērtēšanas 2. opcija, 6.1.2.p.)	ppm	<5	<10
Skābes skaitlis	mgKOH/g	≤ 0,01	≤ 0,05
Tīrības klase	klase	≤ 16/14/11	≤ 16/14/11
Uzliesmošanas temperatūra	°C	≥ 135	≥ 135
Dielektriskie zudumi pie 90° C	%	≤ 0,5	≤ 1,0
Kinemātiskā viskozitāte pie -30° C ^(a)	mm ² /s	Max. 1 800	Max. 1 800
Krāsa ^(a) (atbilst ISO 2049 skalai)		≤ 0,5 (A tipa eļļai) Max. 1,5 (B tipa eļļai)	Max 2,0
Caurspīdība ^(a)	-	Caurspīdīga, bez nogulsnēm un suspendētām daļiņām	
Blīvums pie 20° C ^(a)	g/cm ³	≤ 0,895	≤ 0,900
Virsmas spraigums ^(a)	MN/m	≥ 40	≥ 35
Korozīvais sērs ^(a)		Neesamība	Neesamība
Antioksidantu saturs (pēc LVS EN 60666) ^(a)	%	Neinhibētai eļļai (U): nenoteiktība (<0,01) Daļēji inhibētai eļļai (T): ≥0,01 <0,08 Inhibētai eļļai (I): 0,08- 0,40	
Sastingšanas temperatūra ^(a)	°C	< -40°	< -40°
Stabilitāte pret oksidēšanos ^(a)		Atbilstoši 5.1A un 5.1B. tabulas prasībām	Nekontrolē
Reakcijas produktu veidošanās ^(c)	%	< 0,002 %	
PCB saturs ^(a)	mg/kg	Neesamība (< 2 mg/kg)	
Piezīmes:			
^(a) ieteicams, nav obligāts;			
^(b) elektroiekārtām ≤ 36 kV pieļaujams eļļas caursites spriegums >55 kV;			
^(c) visu veidu eļļu sajaukšanas gadījumā.			

5.3A. tabula

Neizmantotas eļļas kvalitātes prasības pēc iepildīšanas jaunā iekārtā

Parametrs		Mērvienība	≤ 36 kV	110 kV	330 kV
Caursites spriegums		kV	> 55	> 60	> 60
Ūdens saturs	rezultātu novērtēšanas 1. opcija (6.1.2. p.)	ppm	< 10	< 5	< 5
	rezultātu novērtēšanas 2. opcija (6.1.2. p.)	ppm	≤ 20	≤ 10	<10
Skābes skaītlis		mgKOH/g	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Tīrības klase		klase	Nekontrolē	≤ 16/14/11	≤ 16/14/11
Dielektriskie zudumi pie 90 °C		%	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,00
Krāsa ^(a) (atbilst ISO 2049 skalai)		Balles	Nekontrolē	Max 1,5	Max. 1,5
Caurspīdība ^(a)		-	Caurspīdīga, bez nogulsnēm un suspendētām daļiņām		
Piezīme ^(a) : ieteicams, nav obligāts.					

5.3B. tabula

Neizmantotas vai atjaunotas un lietotas vai attīrītas eļļas kvalitātes prasības pēc iepildīšanas ekspluatācijā esošā elektroiekārtā

Parametrs		Mērvienība	≤ 36 kV	110 kV	330 kV
Caursites spriegums		kV	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Ūdens saturs	rezultātu novērtēšanas 1. opcija (6.1.2. p.)	ppm	< 10	< 5	< 5
	rezultātu novērtēšanas 2. opcija (6.1.2. p.)	ppm	≤ 30	≤ 20	≤ 15
Skābes skaītis		mgKOH/g	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Tīrības klase		klase	Nekontrolē	≤ 16/14/11	≤ 16/14/11
Dielektriskie zudumi pie 90 °C		%	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Krāsa ^(a) (atbilst ISO 2049 skalai)		Balles	Nekontrolē	Max 2,0	Max. 2,0
Caurspīdība ^(a)		-	Caurspīdīga, bez nogulsnēm un suspendētām daļiņām		
Piezīme ^(a) : ieteicams, nav obligāts.					

Ekspluatācijā esošas eļļas kvalitātes prasības
A (330 kV elektrotīkla spēka transformatori, šunta reaktori, autotransformatori), B (110 kV elektrotīkla spēka transformatori) un
C (≤ 36 kV elektrotīkla nehermētiska izpildījuma spēka transformatori) grupas iekārtām

Parametrs		Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Rekomendācijas un piezīmes
			IEC			GOST	
			Apmierinošs līmenis ^(a)	Daļēji apmierinošs līmenis ^(b)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	
Causrites spriegums, kV		A	> 60	50 līdz 60	< 50	< 45	Daļēji apmierinošs – skatīt ūdens saturs, skābes skaitļa, dielektrisko zudumu tgδ, tīrības klases analīžu rezultātus; ieteicamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs – izvērtēt eļļas attīrīšanas vai nomaiņas nepieciešamību. Piezīme: Neapmierinošu līmeni var iegūt, ja eļļas parauga ņemšanas temperatūra ir augsta (>50 °C) un laboratorijā to novērtē apkārtējās vides temperatūrā. Šādos gadījumos ieteicama atkārtota parauga ņemšana zemākā temperatūrā.
		B	> 50	40 līdz 50	< 40	< 35	
		C	> 40	30 līdz 40	< 30	< 25	
Ūdens saturs, ppm	1.opcija. Vērtības ar korekciju uz 20 °C	A	< 5	≤ 10	>10	> 10	Daļēji apmierinošs – skatīt caursites sprieguma, skābes skaitļa, dielektrisko zudumu tgδ, tīrības klases analīžu rezultātus, ieteicamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs – nomainīt vai attīrīt eļļu. Piezīme: Laboratorijā noteiktajam ūdens saturam jāveic pārrēķins uz 20 °C atbilstoši 6.1.2. p.
		B	< 5	≤ 15	> 15	> 15	
		C	< 10	≤ 25	> 25	> 25	
	2.opcija. Vērtības bez temperatūras korekcijas (transformatora darba temperatūrā)	A	< 15	15 līdz 20	> 20	>20 * >25 **	Daļēji apmierinošs – skatīt caursites sprieguma, skābes skaitļa, tīrības klases, kā arī dielektrisko zudumu tgδ vai īpatnējas pretestības analīžu rezultātus; ieteicamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs – atkārtoti ņemt eļļas paraugu. Apsvērt ūdens saturs tiešsaistes monitoringu ar stacionāro vai pārvietojamo aprīkojumu. Ja turpmākajos mērījumos ir neapmierinoši rezultāti vai tiešsaistes monitorings uzrāda augstu ūdens piesātinājumu, ieteicama cietās izolācijas žāvēšana. Piezīme: Ūdens saturu ieteicams vērtēt kopā ar caursites sprieguma vērtībām. Atkārtoto eļļas paraugu ieteicams ņemt pie citas temperatūras.
		B	< 20	20 līdz 30	> 30	*iekārtām ar plēves aizsardzību	
		C	< 30	30 līdz 40	> 40	**iekārtām bez speciālas aizsardzības	

5.4A. tabulas turpinājums

Parametrs	Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Rekomendācijas un piezīmes
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis ^(a)	Daļēji apmierinošs līmenis ^(b)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	
Skābes skaitlis, mgKOH/g	A	< 0,10	0,10 līdz 0,15	> 0,15	> 0,15	Daļēji apmierinošs – nepieciešama duļķu un nosēdumu noteikšana (atbilstoši 2. pielikumam). Neapmierinošs – reģenerēt vai nomainīt eļļu. Piezīme: Liecina par eļļas novecošanos. Inhibētai eļļai daļēji apmierinoša līmeņa vērtības ir norāde, ka, iespējams, tā ir zaudējusi aizsardzību pret oksidēšanos.
	B	< 0,10	0,10 līdz 0,20	> 0,20	> 0,15	
	C	< 0,15	0,15 līdz 0,30	> 0,30	> 0,15	
Eļļas tīrības klase, mehāniskie piemaisījumi	A, B	≤ 16/14/11	≤ 18/16/13	> 18/16/13	> 18/16/13	Daļēji apmierinošs – izvērtējot caursites sprieguma vērtību/izmaiņu tendenci, noteikt, vai nepieciešamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs – izskatīt iespējas veikt eļļas attīrīšanu vai nomaiņu. Gadījumā, ja tas ir vienīgais parametrs, kurš pārsniedz ne vairāk par 2 klasēm kritērija vērtību neapmierinošs, atļauta turpmākā ekspluatācija, samazinot tīrības klases un caursites sprieguma parametru pārbaudes periodiskumu. Piezīme: Ja paraugu testē dažādas laboratorijas, rezultāts var atšķirties līdz pat 2 klasēm katrā grupā (standartā LVS EN 60970 minētā reproducējamības vērtība).
	C	Nenosaka				
Uzliesmošanas temperatūra, °C	A, B, C	Pazemināšanās ne vairāk par 10 %, salīdzinot ar iepriekšējo pārbaudi, bet ne mazāk par 125 °C				Neapmierinošs – izvērtēt izmaiņu dinamiku; ja < 125 °C, izskatīt iespēju veikt eļļas nomaiņu. Piezīme: Nepieciešams veikt, ja konstatēta neparasta smarža, iekšēja bojājuma rezultātā vai pēc eļļas papildināšanas.
Dielektrisko zudumu tgδ, pie 90 °C, %	A	< 8	8 līdz 10	>10	>10	Daļēji apmierinošs – skatīt ūdens saturs, skābes skaitļa, caursites spriegums, tīrības klases analīžu rezultātus, ieteicamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs – nepieciešams veikt eļļas attīrīšanu vai nomaiņu. Piezīme: Liecina par eļļas novecošanos.
	B	< 10	10 līdz 15	>15	>15	
	C	< 10	10 līdz 15	>15	Nenosaka	

5.4A. tabulas turpinājums

Parametrs	Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Rekomendācijas un piezīmes
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis ^(a)	Daļēji apmierinošs līmenis ^(b)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	
Krāsa	A, B, C	< 2	2 līdz 6	> 6	Nenosaka	Nav ieteicams izdarīt secinājumus, vadoties tikai pēc eļļas krāsas. Ja novēro krāsas maiņu, it īpaši pēkšņu, tas varētu liecināt par eļļas novecošanu, taču par to vajadzētu pārliecināties ar citiem testiem. Tumša krāsa ne vienmēr nozīmē sliktu eļļas kvalitāti - eļļa var būt tumša, bet pilnībā derīga lietošanai, tāpēc krāsa vien nav uzticams eļļas kvalitātes rādītājs.
Caurspīdība	A, B, C	Caurspīdīga, bez redzama piesārņojuma		Tumša un duļķaina	Tumša un duļķaina	Tumša eļļa nozīmē ķīmisku novecošanos. Duļķaina eļļa norāda uz augstu ūdens saturu, materiālu nesaderību vai nopietnu piesārņojumu ar nešķīstošiem materiāliem.
Īpatnējā pretestība pie 90 °C (GΩm)	A	> 10	3 līdz 10	< 3	Nenosaka	Daļēji apmierinošs – ieteicamas biežākas pārbaudes, citu parametru novērtēšana. Neapmierinošs – nepieciešams veikt eļļas attīrīšanu vai nomaiņu.
	B, C	> 3	0,2 līdz 3	< 0,2	Nenosaka	
Nosēdumi un duļķes, %	A, B, C	Neesamība. Rezultātu < 0,02 % no masas var neņemt vērā			> 0,005% no masas	Ja ir nosēdumi, nepieciešama eļļas fizikāla apstrāde vai nomaiņa. Ja ir duļķes, nepieciešama ķīmiska apstrāde vai nomaiņa. Nav periodiska pārbaude – jāveic, ja caursites spriegums, skābes skaitlis un tgd tuvojas robežai neapmierinošs.
Antioksidantu saturs (tikai inhibētām eļļām)	A, B, C	> 60% no sākotnējās vērtības	40% līdz 60% no sākotnējās vērtības	< 40% no sākotnējās vērtības	< 0,1% no masas	Ja skābes skaitlis ir ≤ 0,08 mgKOH/g un virsmas spraigums ≥ 28 mN/m, ieteicams palielināt eļļas pārbaudes biežumu. Ja skābes skaitlis ir > 0,08 mgKOH/g un virsmas spraigums < 28 mN/m, inhibitoru koncentrācijas atjaunošana nebūs efektīva. Nepieciešams veikt eļļas ķīmisko apstrādi vai nomaiņu.
Furānu (tostarp, furfurola) koncentrācija, ppm	A, B, C	< 1 ^(d)	1 līdz 2,5 ^(d)	> 2,5 ^(d)	> 4 (> 2,5 furfurols)	Ieteicams izvērtēt kontekstā ar iekārtas vecumu un pieejamo informāciju par tās ekspluatācijas vēsturi, paralēli izvērtējot gāzu hromatogrāfijas analīžu rezultātus. Ja transformatora eļļā konstatētā furānu savienojumu koncentrācija lielāka par 4 ppm, kā arī furfurola koncentrācija lielāka par 2,5 ppm, tas liecina par papīra izolācijas sadalīšanos. Furānu savienojumu koncentrācija > 10 ppm liecina, ka cietā izolācija ir nopietni un neatgriezeniski bojāta. Ja tā turpina pieaugt, cietās izolācijas integritāte kļūst apšaubāma.

5.4A. tabulas turpinājums

Parametrs	Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Rekomendācijas un piezīmes
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis ^(a)	Daļēji apmierinošs līmenis ^(b)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	Neapmierinošs līmenis ^(c)	
Virsmas spraigums, mN/m	A, B, C					Daļēji apmierinošs – sekot līdz parametra vērtībām. Neapmierinošs – skatīt skābes skaitļa, dielektrisko zudumu tgδ un citu parametru analīžu rezultātus, lai apstiprinātu iespējamo eļļas novecošanu. Piezīme: Var būt periodiska pārbaude inhibētām eļļām, bet to parasti neiekļauj neinhibētām eļļām regulāri veicamo pārbaudžu sarakstā. Īpaši noderīgs iekārtas ekspluatācijas sākumposmā, jo ļauj agrīni atklāt gan oksidācijas procesu sākumu, gan iespējamo piesārņojumu.
	Inhibēta eļļa	>28	22 līdz 28	< 22	Nenosaka	
	Neinhibēta eļļa	>25	20 līdz 25	< 22	Nenosaka	
Metālu pasivatoru daudzums (mg/kg)	A, B, C	> 70 mg/kg un stabils, (samazināšanās ātrums < 10 mg/kg/gadā)	50 līdz 70 mg/kg vai > 70 mg/kg, ar samazināšanās ātrumu > 10 mg/kg/gadā	< 50 mg/kg	Nenosaka	Daļēji apmierinošs – sekot līdz parametra vērtībām. Neapmierinošs – nepieciešams novērst korozijas cēloni vai nu nomainot eļļu, vai attīrot to no koroziju izraisošajiem savienojumiem ar piemērotu eļļas apstrādes metožu palīdzību. Kā īstermiņa risinājums - papildināšana ar jaunu pasivatoru līdz ≤ 100 mg/kg. Piezīme: Novecojusi eļļa, īpaši neinhibēta eļļa, ir pakļauta lielākam riskam, ka pasivators var strauji iztērēties.
Korozīvā sēra kopējais daudzums un potenciāli korozīvā sēra kopējais daudzums	A, B, C	Nav korozīvs un nav potenciāli korozīvs.		Korozīvs vai potenciāli korozīvs.	Nenosaka	Neapmierinošs – nepieciešams veikt riska novērtējumu lai izvēlētos: vai nu pievienot metāla pasivatoru (piemēram, triazola atvasinājumus), vai novērst korozijas cēloni (veicot eļļas nomaiņu vai eļļas attīrīšanu no koroziju izraisošajiem savienojumiem ar piemērotu eļļas apstrādes metožu palīdzību).
Piezīmes: ^(a) Rīcība saskaņā ar 5.1.5.1. p. noteikto. ^(b) Rīcība saskaņā ar 5.1.5.2. p. noteikto. ^(c) Rīcība saskaņā ar 5.1.5.3. p. noteikto. ^(d) <i>SDMyers</i> rekomendētās vērtības.						

Ekspluatācijā esošas eļļas kvalitātes prasības F (RZS iekārtas) grupas iekārtām

Parametrs ^(a)	Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar			Rekomendācijas un piezīmes	
		IEC				GOST
		Apmierinošs līmenis	Daļēji apmierinošs līmenis	Neapmierinošs līmenis		Neapmierinošs līmenis
Caursites spriegums, kV	F	Kontaktoriem, RZS iekārtām neitrālē A, B, C grupu transformatoriem < 30 Vienfāzes RZS iekārtu kontaktoriem, A un B grupu transformatoriem < 40			< 35 Neapmierinošs – Vakuuma RZS iekārtām – atkārtoti noņemt eļļas paraugu, noskaidrot iespējamo ūdens vai daļiņu piesārņojuma avotu. Izvērtēt eļļas attīrīšanas vai nomainas nepieciešamību. RZS iekārtām bez vakuuma – ieteicams veikt apkopi, ieskaitot eļļas nomaiņu. Ja nav zināma RZS konfigurācija, tad jāvadās pēc vienfāzes RZS normām. Piezīme: Dažādiem RZS tipiem pieļaujamās vērtības var būt atšķirīgas. Ja ir pieejamas ražotāja noteiktās robežvērtības, tad prioritāri jāvadās pēc tām.	
Ūdens saturs, ppm	F	Tāpat kā transformatorā			Neapmierinošs – izvērtēt nomainas nepieciešamību gan kontaktorā, gan konservatorā. Piezīme: Ja ir pieejamas ražotāja noteiktās robežvērtības, tad prioritāri jāvadās pēc tām. Ūdens saturu ieteicams vērtēt kopā ar caursites sprieguma vērtībām, turklāt caursites spriegumam ir noteicošā nozīme. Var būt nepieciešama vairākkārtīga eļļas nomaiņa (atkarībā no atlikušā mitruma cietajā izolācijā).	
Kinemātiskā viskozitāte pie -30 °C, mm²/sek.	F	< 1800			Kinemātiskajai viskozitātei palielinoties, izvērtēt eļļas nomaiņu, jo vairs nav droši veikt kontaktora pārslēgšanu. Ja ir pieejamas ražotāja noteiktās robežvērtības, tad prioritāri jāvadās pēc tām.	
Piezīme ^(a) : Norādījumus eļļas parametriem, kas nav iekļauti šajā tabulā, skat. 5.4A. tabulā.						

Ekspluatācijā esošas eļļas kvalitātes prasības
D (330 kV elektrotīkla mērmaiņi) un E (≤ 110 kV elektrotīkla mērmaiņi) grupas iekārtām

Parametrs ^(a)	Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Rekomendācijas un piezīmes
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis	Daļēji apmierinošs līmenis	Neapmierinošs līmenis	Neapmierinošs līmenis	
Ūdens saturs, ppm 2.opcija. Vērtības bez temperatūras korekcijas	D	< 20	20 līdz 30	> 30	>20 (hermētiskie) >25 (nehermētiskie)	Daļēji apmierinošs – skatīt caursītes sprieguma, skābes skaitļa, tīrības klases, kā arī dielektrisko zudumu tgδ analīžu rezultātus; ieteicamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs – ieteicams pārbaudīt blīvījumus. Ja atkārtoto mērījumu vērtības ir neapmierinošas, tad veic riska novērtējumu, lai noteiktu, vai var turpināt mērmaiņa ekspluatāciju. Piezīme: Ūdens saturu ieteicams vērtēt kopā ar caursītes sprieguma vērtībām.
	E	< 30	30 līdz 40	> 40		
Dielektrisko zudumu tgδ, pie 90 °C, %	D	< 1	1 līdz 10	> 10	> 10	Daļēji apmierinošs – ieteicams izvērtēt eļļas attīrīšanu vai nomaiņu. Neapmierinošs – ja atkārtoto mērījumu vērtības ir neapmierinošas, tad veic riska novērtējumu, lai noteiktu, vai var turpināt mērmaiņa ekspluatāciju. Piezīme: Liecina par eļļas novecojumu.
	E	< 10	10 līdz 15	> 15	> 15	
Piezīme ^(a): Norādījumus eļļas parametriem, kas nav iekļauti šajā tabulā, skat. 5.4A. tabulā.						

Ekspluatācijā esošas eļļas kvalitātes prasības
G (110 kV elektrotīkla eļļas jaudas slēdži) un H (≤ 36 kV elektrotīkla eļļas jaudas slēdži) grupas iekārtām

Parametrs ^(a)	Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Rekomendācijas un piezīmes
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis	Daļēji apmierinošs līmenis	Neapmierinošs līmenis	Neapmierinošs līmenis	
Causrites spriegums, kV	G	> 50	30 līdz 50	< 30	< 35	Daļēji apmierinošs – skatīt ūdens satura, tīrības klases analīžu rezultātus; izvērtēt biežāku pārbaudi nepieciešamību. Neapmierinošs – noskaidrot ūdens ieplūdes avotu komutācijas iekārtā. Ja atkārtoto mērījumu vērtības ir neapmierinošas, izvērtēt eļļas nomaiņu un nepieciešamos remontdarbus.
	H	> 40	30 līdz 40	< 30	< 25	
Ūdens saturs, ppm 2.opcija. Vērtības bez temperatūras korekcijas	G	< 20	20 līdz 40	> 40	>20 (hermētiskie) > 25 (nehermētiskie)	Daļēji apmierinošs – skatīt caursites sprieguma, skābes skaitļa, uzliesmošanas temperatūras analīžu rezultātus; ieteicamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs – noskaidrot ūdens ieplūdes avotu komutācijas iekārtā. Izvērtēt eļļas nomaiņu un nepieciešamos remontdarbus. Piezīme: Ūdens saturu ieteicams vērtēt kopā ar caursites sprieguma vērtībām, turklāt caursites spriegumam ir noteicošā nozīme.
	H	< 30	30 līdz 45	> 45		
Skābes skaitlis, mgKOH/g	G, H	<0,10	0,10 līdz 0,2	> 0,2	> 0,15	Daļēji apmierinošs – nepieciešama duļķu un nosēdumu pārbaude (atbilstoši 2. pielikumam). Inhibētai eļļai šī līmeņa sasniegšana var liecināt, ka tā vairs nav aizsargāta pret oksidāciju. Neapmierinošs – ja citi testi liecina par eļļas novecošanos, apsvērt eļļas nomaiņu.
Piezīme ^(a): Norādījumus eļļas parametriem, kas nav iekļauti šajā tabulā, skat. 5.4A. tabulā.						

Ekspluatācijā esošas eļļas kvalitātes prasības K (330 kV elektrotīkla hermētiskie ar eļļu pildītie caurvadi) un L (≤ 110 kV elektrotīkla hermētiskie ar eļļu pildītie caurvadi) grupas iekārtām

Parametrs ^(a)	Iekārtu grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Rekomendācijas un piezīmes
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis	Daļēji apmierinošs līmenis	Neapmierinošs līmenis	Neapmierinošs līmenis	
Causrites spriegums, kV	K	>60	40 līdz 60	< 40	< 45	Daļēji apmierinošs – skatīt ūdens satura, tīrības klases analīžu rezultātus. Atkārtotu eļļas paraugu tikai, izvērtējot tā nepieciešamību ^(b) .
	L	>50	30 līdz 50	< 30	< 35	Neapmierinošs – noskaidrot ūdens vai piesārņojuma avotu. Balstoties uz visu analīžu rezultātiem, veikt riska izvērtējumu, lai noteiktu, vai var turpināt caurvada ekspluatāciju.
Ūdens saturs, ppm 2.opcija. Vērtības bez korekcijas	K	< 10	10 līdz 20	> 20	>20 (hermētiskie)	Daļēji apmierinošs – skatīt caursites sprieguma, tīrības klases analīžu rezultātus. Atkārtotu eļļas paraugu tikai, izvērtējot tā nepieciešamību ^(b) .
	L	< 10	10 līdz 30	> 30	>25 (nehermētiskie)	Neapmierinošs – noskaidrot ūdens vai piesārņojuma avotu. Balstoties uz visu analīžu rezultātiem, veikt riska izvērtējumu, lai noteiktu, vai var turpināt caurvada ekspluatāciju.
Dielektrisko zudumu tgδ, pie 90 °C, %	K	< 1,0	1 līdz 10	> 10	> 10	Daļēji apmierinošs – skatīt citu analīžu rezultātus. Atkārtotu eļļas paraugu tikai, izvērtējot tā nepieciešamību ^(b) .
	L	< 10	10 līdz 15	>15	> 15	Neapmierinošs – Ja citu analīžu rezultāti liecina par ievērojamu novecošanu, konsultēties ar ražotāju.
Piezīmes: ^(a) Norādījumus eļļas parametriem, kas nav iekļauti šajā tabulā, skat. 5.4A. tabulā. ^(b) Lai novērtētu caurvadu stāvokli, ieteicams apsvērt elektrisko pārbaužu veikšanu. Nav ieteicama bieža eļļas parauga ņemšana. Nav ieteicams ņemt eļļas paraugus no caurvadiem, kuriem nav uzstādīts eļļas līmeņa rādītājs. Nepieciešamības gadījumā sazināties ar ražotāju.						

5.2. Eļļā izšķīdušo gāzu analīze elektroiekārtas tehniskā stāvokļa novērtēšanai

5.2.1. Eļļā izšķīdušo gāzu koncentrāciju kritēriji, kurus pārsniedzot pastāv varbūtība, ka iekārtā sāk veidoties defekti, norādīti sekojošās tabulās:

- spēka transformatoriem - 5.5A. un 5.5B. tabulā;
- caurvadiem - 5.8. tabulā;
- mērmaiņiem – 5.10. un 5.11. tabulā;
- vai atbilstoši iekārtas ražotāja rekomendācijām.

5.2.2. Transformatoriem ar plēves aizsardzību kopējo gāzu saturu eļļā izvērtē atbilstoši ražotāja rekomendācijām, kā aizsardzības efektivitāti raksturojošu kritēriju.

5.2.3. Raksturīgo iekārtu defekti, kas atkarīgi no eļļā izšķīdušo gāzu koncentrācijas un to attiecībām, aprakstīti 5.6., 5.7. un 5.9. tabulās.

Piezīme: Gāzu attiecību kombinācijas, kas atrodas ārpus 5.6., 5.7. un 5.9. tabulas diapazona norādītajām robežām un neatbilst šajās tabulās norādītajam raksturlielumam, var būt vairāku defektu rezultāts vai cita veida defekts.

5.2.4. Pēc gāzu koncentrācijas pieauguma relatīvā ātruma nosaka defekta bīstamības pakāpi. Ja gāzu koncentrācijas pieauguma relatīvais ātrums pārsniedz:

- 10 % mēnesī – A un B grupas transformatoriem ar jaudu līdz 63 MVA (ieskaitot),
- 5- 8 % mēnesī – A un B grupas transformatoriem ar jaudu virs 63 MVA,

tad tas norāda par transformatora defekta esamību un paātrinātu tā attīstību.

Piezīme 1: Gāzu koncentrācijas pieauguma relatīvā ātruma kritērija izvērtēšanā ņem vērā transformatora ekspluatācijas apstākļus.

Piezīme 2: Ja gāzu koncentrācijas pieauguma relatīvā ātruma kritēriju piemēro arī C grupas transformatoriem ar jaudu virs 1 MVA, tad 10 % mēnesī var norādīt par iespējamu transformatora defekta esamību un paātrinātu tā attīstību.

i-tās gāzes koncentrācijas pieauguma absolūto ātrumu aprēķina pēc formulas:

$$v_i^{AB} = \frac{A_{mi} - A_{(m-1)i}}{T_d} \frac{\text{ppm}}{\text{mēnesī}},$$

kur:

A_{mi} ; $A_{(m-1)i}$ i-tās gāzes koncentrācijas mērījumi apskatāmajā laika periodā (ppm);

T_d analīzes un izvērtēšanas periodiskums – laika starpība starp divu eļļas paraugu ņemšanu apskatāmajā laika periodā, veicot gāzu koncentrācijas mērījumus (mēnesī).

i-tās gāzes koncentrācijas pieauguma relatīvo ātrumu aprēķina pēc formulas:

$$v_i^{RE} = \frac{v_i^{AB}}{A_{(m-1)i}} \times 100 (\% \text{ mēnesī}).$$

5.2.5. Pēc neatbilstības konstatēšanas GHA rezultātos lēmumu par iekārtas turpmāku ekspluatāciju vai atkārtotu GHA veikšanu pieņem elektroietaisies valdītāja noteiktajā kārtībā.

5.2.6. Gadījumos, kad konstatēts būtisks gāzes koncentrācijas pieaugums, kāda no degošās gāzes vai oglekļa oksīdu koncentrācijām pārsniedz tipisko vai robežkoncentrāciju, ieteicams veikt atkārtotu GHA.

5.2.7. Norādījumi par parauga ņemšanu no gāzes releja ir doti standartā LVS EN IEC 60567, bet rezultātu izvērtēšanas principi sniegti LVS EN IEC 60599:2022 7. p.

5.5A. tabula

Robežkoncentrāciju vērtības 110-330 kV elektrotīkla transformatoriem, kas ražoti saskaņā ar GOST standartu prasībām

Gāzu koncentrācijas līmenis ^(a)	Gāzu koncentrācija, ppm						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
1	<60	<45	<1	<15	<30	<400 (350) ^(b)	<1500
2	60-100	45-100	1-10	15-100	30-50	400-600 (350-500) ^(b)	1500-8000 (1500-4000) ^(c)
3	>100	>100	>10	>100	>50	> 600 (500) ^(b)	>8000 (4000) ^(c)

Piezīmes:

^(a) 1. līmenis – defektu neesamība;

2. līmenis – ieteicama papildus kontrole, lēmumu par iekārtas turpmāku ekspluatāciju vai atkārtotu GHA veikšanu pieņem elektroietaisies valdītāja noteiktajā kārtībā;

3. līmenis – ar paaugstinātu bīstamību, lēmumu par iekārtas turpmāku ekspluatāciju vai atkārtotu GHA veikšanu pieņem elektroietaisies valdītāja noteiktajā kārtībā.

^(b) Iekavās norādītas CO vērtības transformatoriem ar slāpekļa vai plēves aizsardzību.

^(c) Iekavās norādītas CO₂ vērtības transformatoriem ar slāpekļa vai plēves aizsardzību.

5.5B. tabula

90% tipisko gāzu koncentrāciju vērtību intervāli 110-330 kV elektrotīkla transformatoriem, kas ražoti saskaņā ar IEC standartu prasībām (atbilstoši LVS EN IEC 60599)

	Gāzu koncentrācija, ppm ^(a)						
	C ₂ H ₂	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
Visi transformatori		50 - 150	30 - 130	60 - 280	20 - 90	400 - 600	3800 - 14000
Bez RZS vai nav saistīts ar RZS ^(b)	2 - 20						
Saistīts ar RZS ^(c)	60 - 280						

Piezīmes:

^(a) Gāzes koncentrācija ir atkarīga no transformatora tipa, ekspluatācijas apstākļiem, noslodzes un vecuma.

^(b) Transformatori, kam nav sprieguma regulēšanas slodzes režīmā vai, ja RZS ir, tad tā ir atdalīta no galvenās tvertnes.

^(c) Transformatori sprieguma regulēšanu slodzes režīmā, kur transformatora sprieguma slogregulatora nodalījums nav pilnīgi izolēts no galvenās tvertnes vai attiecīgiem konservatoriem un ir iespējama eļļas un/vai gāzes šadāļuma pārvietošanās. Šīs gāzes var piesārņot eļļu galvenajā tvertnē un ietekmēt šo tipu aparātu tipisko gāzu koncentrāciju vērtību.

5.6. tabula

Spēka transformatoru ražotu atbilstoši GOST prasībām defekta raksturs atkarībā no eļļā izšķīdušo gāzu koncentrāciju attiecībām ^(a)

Bojājuma raksturs	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
Dabīgais novecojums	< 0,1	0,1-1	≤ 1
Zemas enerģijas daļējas izlādes	< 0,1	< 0,1	≤ 1
Augstas enerģijas daļējas izlādes	0,1-3	< 0,1	≤ 1
Izlādes ar zemu enerģiju	> 0,1	0,1-1	1-3
Izlādes ar augstu enerģiju	0,1-3	0,1-1	≥ 3
Termiskais defekts ar temperatūru <150 °C	< 0,1	0,1-1	1-3
Termiskais defekts ar temperatūru 150-300 °C	< 0,1	≥ 1	≤ 1
Termiskais defekts ar temperatūru 300-700 °C	< 0,1	≥ 1	1-3
Termiskais defekts ar temperatūru >700 °C	< 0,1 ^(b)	≥ 1	≥ 3

Piezīmes:

^(a) Šīs attiecības ir nozīmīgas tikai tad, ja vismaz viena gāze sasniedz 3.līmeņa robežkoncentrāciju, kas norādīta 5.5A. tabulā, kā arī ja novērojams straujš gāzu koncentrācijas pieaugums vai netipiskas gāzu vērtības.

^(b) Pieaugošs C_2H_2 daudzums var norādīt uz karstā punkta temperatūras paaugstināšanos virs 1000 °C.

Attiecība $CO_2/CO < 5$ vai $CO_2/CO > 13$ norāda uz iespējamu transformatora cietās izolācijas defektu.

Jaunā iekārtā attiecība O_2/N_2 tuvojas 0,5, ekspluatācijā eļļas un/vai papīra izolācijas novecojuma rezultātā tā samazinās. Gadījumā, ja O_2/N_2 tuvojas 0,3, nepieciešams meklēt cēloņus.

5.7. tabula

Spēka transformatoru ražotu atbilstoši IEC standartu prasībām defekta raksturs atkarībā no eļļā izšķīdušo gāzu koncentrāciju attiecībām ^(a)

Bojājuma raksturs	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
PD Daļējas izlādes	NS	< 0,1	< 0,2
D1 Izlādes ar zemu enerģiju	> 1	0,1-0,5	> 1
D2 Izlādes ar augstu enerģiju	0,6-2,5	0,1-1	> 2
T1 Termiskais defekts ar temperatūru <300 °C	NS	> 1, bet NS	< 1
T2 Termiskais defekts ar temperatūru 300-700 °C	< 0,1	> 1	1-4
T3 Termiskais defekts ar temperatūru >700 °C	< 0,2 ^(b)	> 1	> 4

Piezīmes:

^(a) Šīs attiecības ir nozīmīgas tikai tad, ja vismaz viena gāze sasniedz 90% tipisko koncentrāciju intervāla maksimālo vērtību, kas norādīta 5.5B. tabulā, kā arī ja novērojams straujš gāzu koncentrācijas pieaugums vai netipiskas gāzu vērtības.

^(b) Pieaugošs C_2H_2 daudzums var norādīt uz karstā punkta temperatūras paaugstināšanos virs 1000 °C.

NS – nav svarīgi, lai kāda būtu vērtība.

Attiecība $CO_2/CO < 3$ norāda uz iespējamu defektu transformatora cietajā izolācijā.

Jaunā iekārtā attiecība O_2/N_2 tuvojas 0,5, ekspluatācijā eļļas un/vai papīra izolācijas novecojuma rezultātā tā samazinās. Gadījumā, ja O_2/N_2 tuvojas 0,3, nepieciešams meklēt cēloņus.

Attiecības C_2H_2/H_2 vērtība, kas lielāka par 2-3, norāda uz eļļas piesārņojumu galvenajā tvertnē no transformatora sprieguma slogregulatora nodalījuma (transformatoriem ar RZS).

Piezīme: Detalizēta informācija par eļļā izšķīdušo gāzu hromatogrāfijas analīžu rezultātu izvērtēšanu ar piemēriem sniegta CIGRE tehniskajā brošūrā Nr. 771 "Advances in DGA interpretation".

5.2.8. Temperatūras pieaugums izraisa pastiprinātu CO₂ un CO izdalīšanos eļļā no cietās izolācijas. Augsta CO vērtība (ap 1000 ppm) un zema attiecības CO₂/CO vērtība (CO₂/CO < 3) apvienojumā ar citu bojājuma gāzu klātbūtni, parasti tiek uzskatītas par pazīmi, ka sākas transformatoros cietās izolācijas destrukcija.

Piezīme: Transformatoriem, kas ražoti atbilstoši GOST prasībām, uz iespējamu cietās izolācijas bojājumu transformatorā norāda attiecības vērtība CO₂/CO < 5 vai CO₂/CO > 13.

Dažos jaunajos hermētiska izpildījuma transformatoros vai transformatoros ar paplašinātāju, kuri darbojas ar nemainīgu slodzi, CO var pakāpeniski uzkrāties transformatora eļļā, kas ir cēlonis attiecības vērtībai CO₂/CO < 3. Šādos gadījumos tas neliecina par defektiem, ja vien netiek konstatēta arī H₂ vai oglekļa dioksīda veidošanās.

Augstas CO₂ vērtības (>10000 ppm) un CO₂/CO > 10 var liecināt arī par cietās izolācijas vieglu pārkaršanu (<160 °C) vai eļļas oksidāciju. Tomēr jāņem vērā, ka atšķirīgas šķīdības eļļā dēļ CO₂ var uzkrāties ātrāk nekā CO, īpaši transformatoros ar mainīgu slodzi, tādēļ vecākās iekārtās CO₂/CO attiecības vērtība mēdz būt augstāka.

Lokāli transformatora cietās izolācijas defekti ne vienmēr rada nozīmīgu CO un CO₂ daudzumu, lai tos varētu konstatēt tikai ar datiem par šīm gāzēm. Lai apstiprinātu sākotnējo slēdzienu, nepieciešams izmantot kompleksu pieeju, izvērtējot gan datus par citu gāzu veidošanos, gan citu eļļas parametru analīžu rezultātus.

5.2.9. C3 oglekļa dioksīda izceļas ar augstu šķīdību eļļā, tāpēc to koncentrācijas praktiski neietekmē difūzija apkārtējā gaisā. Tomēr mērījumu rezultāti var būtiski atšķirties atkarībā no izmantotās ekstrakcijas metodes. Vairumā gadījumu apmierinošu GHA rezultātu izvērtēšanu var veikt arī bez C3 oglekļa dioksīda datiem, tāpēc vienkāršošanas nolūkos tie nav iekļauti standarta interpretācijas metodēs.

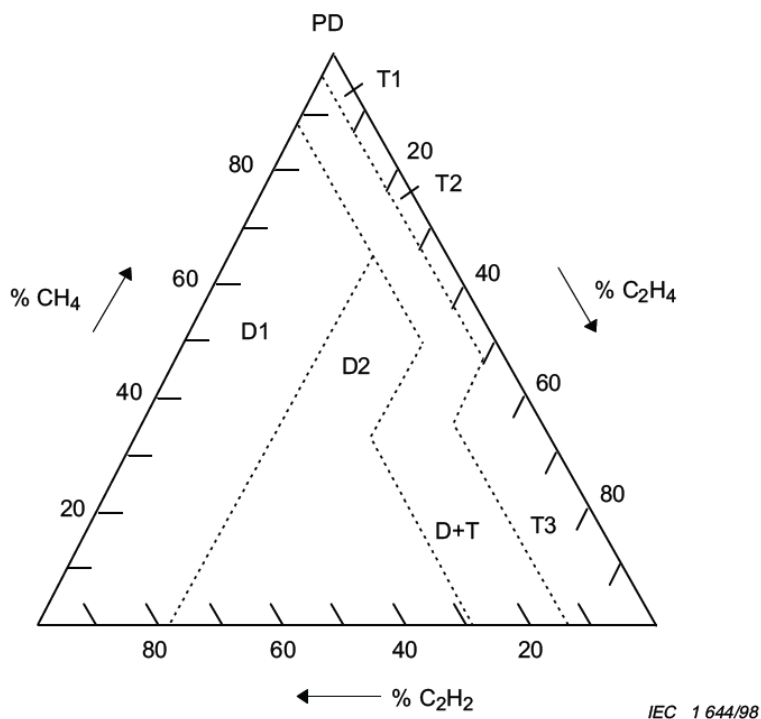
C3 oglekļa dioksīda vērtības var izmantot kā papildu informāciju, īpaši ja pastāv aizdomas par termiska rakstura defektiem. C₃H₆ (propilēna) koncentrācija virs 30 ppm un C₃H₈ (propāna) koncentrācija virs 120 ppm varētu liecināt par pārkaršanas procesiem transformatora tvertnē.

Piezīme: Informācija par C3 oglekļa dioksīda piemērošanu iespējamā termiskā defekta temperatūras diapazona precizēšanai sniegta CIGRE tehniskajā brošūrā Nr. 771 "Advances in DGA interpretation".

5.2.10. Gāzu attiecību grafiskais attēlojums ir ērts veids, kā vizuāli sekot līdzi bojājumu attīstībai. Taču šis attēlojums ir nozīmīgs tikai tad, ja vismaz viena gāze sasniedz 3.līmeņa robežkoncentrāciju, kas norādīta 5.5A. tabulā, vai 90% tipisko koncentrāciju intervāla maksimālo vērtību, kas norādīta 5.5B. tabulā, kā arī ja novērojams straujš gāzu koncentrācijas pieaugums vai netipiskas gāzu vērtības.

Duvāla trijstūris (skat. 5.1. attēlu) ir plaši lietota gāzu attiecību grafiskā attēlojuma metode.

Piezīme: Duvāla grafiskajai metodei ir vairākas modifikācijas, pielāgojot tās lietojumu citām ar eļļu pildītām iekārtām vai izmantojot piecas gāzu attiecības. Sagataves standartā IEEE C57.104 iekļautajām metodēm pieejamas <https://standards.ieee.org/downloads/>.



5.1. attēls. Duvāla trijstūris gāzu līmeņiem (atbilstoši LVS EN IEC 60599)

kur:

$$\begin{aligned} \%C_2H_2 &= \frac{100x}{x+y+z} & x &= [C_2H_2] \text{ mililitri vienā litrā} \\ \%C_2H_4 &= \frac{100y}{x+y+z} & y &= [C_2H_4] \text{ mililitri vienā litrā} \\ \%CH_4 &= \frac{100z}{x+y+z} & z &= [CH_4] \text{ mililitri vienā litrā} \end{aligned}$$

PD daļējās izlādes;

D1 zemas enerģijas izlādes;

D2 augstas enerģijas izlādes;

T1 termisks bojājums, $t < 300\text{ °C}$;

T2 termisks bojājums, $300\text{ °C} < t < 700\text{ °C}$;

T3 termisks bojājums, $t > 700\text{ °C}$.

Zonu robežas				
PD	98% CH ₄			
D1	23% C ₂ H ₄	13% C ₂ H ₂		
D2	23% C ₂ H ₄	13% C ₂ H ₂	38% C ₂ H ₄	29% C ₂ H ₂
T1	4% C ₂ H ₂	10% C ₂ H ₄		
T2	4% C ₂ H ₂	10% C ₂ H ₄	50% C ₂ H ₄	
T3	15% C ₂ H ₂	50% C ₂ H ₄		

5.8. tabula

90% tipisko gāzu koncentrāciju vērtību intervāli caurvadiem, kas ražoti saskaņā ar IEC standartu prasībām

Gāzu koncentrācija, ppm ^(a)						
H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
69 - 392	37 - 216	<S ^(b) līdz 5	17 - 121	2 - 70	229 - 927	484 - 11578

Piezīmes:

^(a) Gāzes koncentrācija ir atkarīga no caurvada tipa, ekspluatācijas apstākļiem, noslodzes un vecuma.

^(b) S ir gāzes noteikšanas robeža (skat. LVS EN IEC 60567).

5.9. tabula

Caurvadu defekta raksturs atkarībā no noteiktajām eļļā izšķīdušo gāzu koncentrācijām un to attiecībām ^{(a), (b), (c)}

Gāzu koncentrāciju attiecība	Gāzu koncentrāciju attiecības lielums	Defekts
H ₂ /CH ₄	< 0,07	Daļējas izlādes, cietās izolācijas defekts vai liels mitrums.
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	>1	Termiskais defekts, vadītāja pārkaršana.
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	>1	Izlādes, ilgstoša dzirksteļošana starp sliktiem kontaktiem vai periodiskas izlādes eļļā.
CO ₂ /CO	>20 vai <1	Termiskais defekts papīra izolācijā, izolācijas pārkaršana strāvas vadošo daļu slihta kontakta tuvumā vai lieli dielektriskie zudumi.
C ₂ H ₂ /H ₂	>1	Izlādes, ilgstoša dzirksteļošana starp sliktiem kontaktiem.

Piezīmes:

^(a) Šīs attiecības ir nozīmīgas tikai tad, ja vismaz viena gāze sasniedz 90 % tipisko koncentrāciju intervāla maksimālo vērtību, kas norādīta 5.8. tabulā, kā arī ja novērojams straujš gāzu koncentrācijas pieaugums vai netipiskas gāzu vērtības.

^(b) Gadījumā, kad konstatēts H₂ / ΣC_xH_y (metāns CH₄, etāns C₂H₆, etilēns C₂H₄ un acetilēns C₂H₂) >30, var būt katalītiska H₂ ģenerācija un elektriska defekta var nebūt.

^(c) Ja šī vienkāršotā tabula nesniedz viennozīmīgu atbildi, papildu izpētei var izmantot 5.7. tabulu.

5.10. tabula
90% tipisko gāzu koncentrāciju vērtību intervāli nehermētiskiem mērmaiņiem,
kas ražoti saskaņā ar IEC ^(a) standartu prasībām

Iekārta	Gāzu koncentrācija, ppm ^(b)						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
Strāvmainis	6-300	11-120	1-5	3-40	7-130	250-1100	800-4000
Spriegummainis	70-1000		4-16	20-30			

Piezīmes:

^(a) Atļauts pielietot arī mērmaiņiem ražotiem atbilstoši GOST prasībām.

^(b) Gāzes koncentrācija ir atkarīga no mērmaiņa tipa, ekspluatācijas apstākļiem, noslodzes un vecuma.

Visu veidu mērmaiņiem defekta rakstura noteikšanai piemērojama 5.7. tabula, izmantojot atšķirīgu attiecības vērtību $CH_4/H_2 < 0,2$ daļējo izlāžu noteikšanai. Gāzu koncentrāciju attiecības ir nozīmīgas tikai tad, ja vismaz viena gāze sasniedz 90% tipisko koncentrāciju intervāla maksimālo vērtību, kā arī ja novērojams straujš gāzu koncentrācijas pieaugums vai netipiskas gāzu vērtības.

5.11. tabula
Maksimāli pieļaujamās vērtības hermētiskiem mērmaiņiem, kas ražoti saskaņā ar
IEC standartu prasībām

Gāzu koncentrācija, ppm						
H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
300	30	2	10	50	300	900

Pieņemot lēmumu par korektīvajām darbībām un personāla rīcību, kas balstīta uz eļļas parametru analīžu rezultātiem, ieteicams piemērot kompleksu pieeju - rūpīgi izvērtējot visu veikto analīžu rezultātus, to savstarpējās kopsakarības un izmaiņu tendences laika gaitā.

Kā piemērs kopsakarību izvērtēšanai, 5.12. tabulā dota sakarība starp atsevišķiem transformatora potenciālajiem bojājumiem un to ietekme uz galvenajiem eļļas parametriem.

5.12. tabula

	Potenciālie bojājumi								
	Pārkarsēšana			Daļējās izlādes			Bojājumi hermētiskajā tvertnē		
Elļas parametrs	Serdē	Savienojumos	Tīnumos un dzesēšanas problēmas	Elļa	Papīrs	Elļas/papīra virsma	Elļas aizsargmembrānu bojājums	Elļas noplūde	Ūdens iekļūšana
Skābes skaitlis/ IFT	H 1,2	H 1,2	H 1,2	L	L	L	L 2	L	H 2
Krāsa	H 1,2	H 1,2	H 1,2	L	L	L	L 2	L	L
Ūdens saturs	L	L	H 5,6	L	H 5,6	H 5,6	L-M 6	M	H 8
Causrites spriegums	L	M 3,12	H 4,6,12	H 11	M	H 5,6,12	M 6	M 7	H 8
Dielektriskie zudumi	H 1,2	H 1,2	H 1,2	L	L	L	L 2	L	H 9
Gāzes saturs	H 1,10	H 1,10	H 1,10	H 1,10	H 1,4,10	H 1,4,10	H 7	M 10	L 7
Paskaidrojums									
Potenciālo bojājumu ietekme uz elļas parametriem	Transformatora potenciālie bojājumi								
H = liela ietekme M = vidēja ietekme L = zema ietekme	1. Elļas sadalīšanās 2. Elļas novecošanās 3. Elļas karbonizācija 4. Papīra izolācijas sadalīšanās				5. Papīra izolācijas novecošana 6. Ūdens veidošanās 7. Elļā izšķīdušais gaiss 8. Brīvais ūdens		9. Ūdens, nogulsnes, emulsija 10. Gāzes izdalīšanās 11. Burbuļi 12. Daļiņas		
Informācijas avots: CIGRE tehniskā brošūra Nr. 445 , 2011.g.									

6. Eļļas kvalitātes rādītāju un eļļā izšķīdušo gāzu analīzes īss apraksts

6.1. Eļļas kvalitātes rādītāji

6.1.1. Caursites spriegums

Caursites spriegums ir kompleksais eļļas kvalitātes rādītājs, kas atkarīgs no citiem rādītājiem, piemēram, piesārņojuma līmeņa, ūdens daudzuma, dielektriskiem zudumiem un eļļas oksidēšanās stadijas. Zems caursites spriegums liecina par vienu vai vairāku šo rādītāju pasliktināšanos. Caursites sprieguma līmenis atkarīgs no temperatūras paraugu ņemšanas laikā (skatīt 6.1.2. p.).

6.1.2. Ūdens saturs

Jaunam transformatoram ūdens saturs celulozes izolācijā nepārsniedz 0,5–1,0 %. Ūdens transformatora eļļā ir atkarīgs no iekārtas temperatūras režīma, jo tas atrodas gan eļļā, gan tinuma cietajā izolācijā. Palielinoties tinuma temperatūrai, ūdens migrē no izolācijas eļļā un temperatūrai pazeminoties – no eļļas tinumā. Lielākais daudzums ūdens atrodas papīrā, tādejādi nelielas temperatūras izmaiņas ievērojami maina eļļā izšķīdušā ūdens apjomu, ūdens saturs papīrā mainās tikai nedaudz.

Ūdens iekļūst iekārtā gan no atmosfēras, gan rodas celulozes un eļļas novecošanās rezultātā. Atkarībā no mitruma daudzuma gaisā, no izolējošās sistēmas temperatūras un no eļļas stāvokļa, ūdens saturs eļļā iespaido:

- eļļas caursites spriegumu;
- cieto izolāciju;
- šķidrās un cietās izolācijas novecošanās tendences.

Nosakot ūdens saturu ekspluatācijā esošā iekārtā, ūdens satura eļļā rezultātu novērtēšanai var piemērot 2 dažādas opcijas:

- 1.opcija: ūdens satura vērtības ir normētas pie eļļas temperatūras 20 °C. Vienmēr nepieciešams veikt eļļā noteiktā ūdens satura korekciju, izmantojot formulu (6.1) vai 6.1. tabulā vai 6.1. attēlā dotos korekcijas koeficientus, vai, gadījumā, ja eļļas parauga temperatūra ir zemāka par 20 °C, ar formulu (6.3) aprēķinot ūdens piesātinājumu.

Piezīme: Šī metode ir piemērota rezultātu salīdzināšanai un tendences veidošanai.

- 2.opcija: ūdens satura vērtības ir normētas neatkarīgi no iekārtas darba temperatūras (nav nepieciešams piefiksēt eļļas parauga temperatūru). Katra mērījuma rezultātu izvērtē atsevišķi un attiecīgi nav nepieciešams pārrēķins.

Piezīme: Šī metode nav piemērota rezultātu salīdzināšanai un tendences veidošanai.

Korekcijas koeficientu temperatūrām atšķirīgām no 6.1. tabulā vai 6.1. attēlā dotajām var aprēķināt pēc formulas:

$$K_{kor} = 2.24e^{-0.04 \cdot t_{e\parallel a}}, \quad (6.1)$$

kur:

K_{kor} – korekcijas koeficients;

$t_{e\parallel a}$ – eļļas parauga noņemšanas temperatūra, °C.

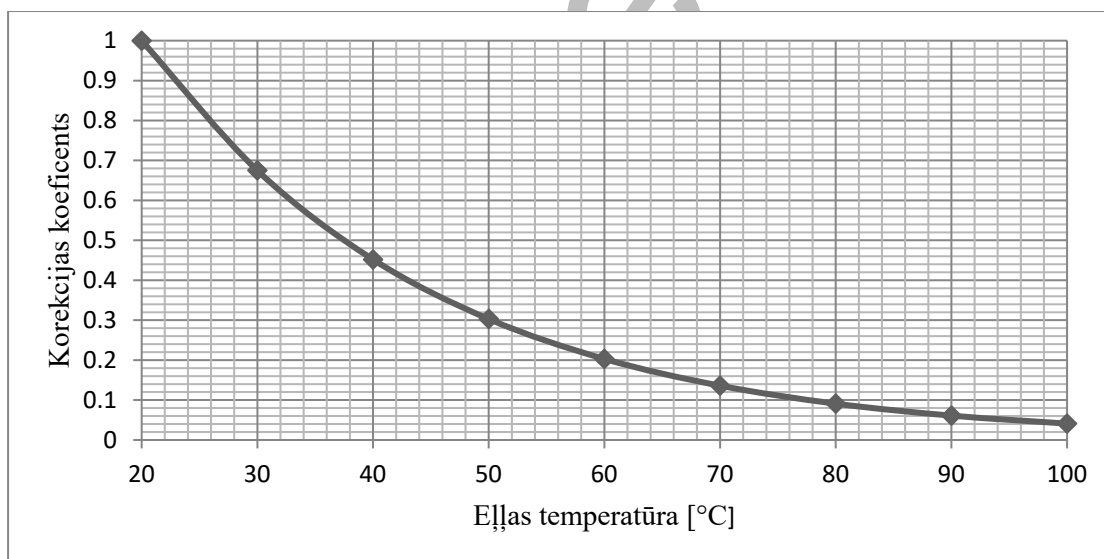
Piezīme 1: Koriģētās vērtības ir derīgas tikai atšķirīgās temperatūrās iegūtu eļļas paraugu rezultātu salīdzināšanai.

Piezīme 2: Šī formula nav izmantojama, ja eļļas parauga noņemšanas temperatūra ir zemāka par 20 °C. Izmantojot formulu eļļas parauga noņemšanas temperatūru diapazonam 20-35 °C, samazinās iegūto rezultātu ticamība.

6.1. tabula

Eļļā izšķīdušā ūdens saturs korekcijas koeficienti atkarībā no eļļas temperatūras

Eļļas temperatūra, °C	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Korekcijas koeficients	1,00	0,675	0,452	0,303	0,203	0,136	0,091	0,061	0,041



6.1. attēls. Eļļā izšķīdušā ūdens saturs korekcijas koeficienti atkarībā no eļļas temperatūras

Piemērs ūdens satura vērtības pārrēķinam pie 20 °C:

- 1) Eļļas temperatūra ir 40 °C.
- 2) Noteiktais ūdens saturs pie 40 °C ir 10 ppm.
- 3) Korekcijas faktors no tabulas ir 0,452.
- 4) Ūdens saturs eļļā pie 20 °C ir $10 \times 0,452 = 4,52$ ppm.

Pēc ūdens satura noteikšanas eļļā, stabilā darba režīmā esošam transformatoram, pielietojot *Maeira* koeficientu, iespējams izvērtēt mitruma saturu transformatora cietajā izolācijā (skatīt 4. pielikumu).

Mitruma satura transformatora cietajā izolācijā robežvērtības:

- 1) 0-2 % - sausa izolācija;
- 2) 2-4 % - mitra izolācija;
- 3) >4 % - ļoti mitra izolācija.

Ja eļļas parauga temperatūra ir zemāka par 20 °C, var pielietot atšķirīgu pieeju analīžu rezultātu interpretēšanai.

Ūdens šķīdība tipiskai, izolācijas minerāleļļai ir nosakāma pēc formulas:

$$\text{Log}W_s = 7.0895 - \left(\frac{1567}{T}\right), \quad (6.2)$$

kur

W_s – ir šķīdība ūdenī neizmantotā eļļā [ppm];

T – absolūtā eļļas temperatūra [K]

$$\text{Piesātinājums \%RS} = \left(\frac{\text{Ūdens saturs [ppm]}}{W_s}\right) \cdot 100. \quad (6.3)$$

Piemērs ūdens piesātinājuma noteikšanai:

- 1) Ūdens saturs = 10 ppm
- 2) Eļļas temperatūra = 19 °C
- 3) $\text{Log}W_s = 7.0895 - \left(\frac{1567}{292.15}\right) = 1.7258$
- 4) $W_s = 53,186$
- 5) $\text{Piesātinājums \%RS} = \left(\frac{10}{53.186}\right) \cdot 100 = 18.8 \%$.

6.2. tabula

Vadlīnijas iegūtā ūdens piesātinājuma %RS rezultātu interpretācijai

Ūdens piesātinājums %RS [%] eļļā	Celulozes izolācijas stāvoklis
$\%RS \leq 5$	Sausa izolācija
$> 5 \%RS \leq 20$	Mēreni mitra izolācija, mazāki skaitļi līdz vidus līmenim norāda, ka izolācija ir diezgan sausa. Vērtības tuvāk augšējam līmenim norāda, ka izolācija ir mēreni mitra
$> 20 \%RS \leq 30$	Mitra izolācija
$\%RS > 30$	Ļoti slapja izolācija
Informācijas avots: LVS EN 60422:2006.	

6.1.3. Skābes skaitlis

Eļļas skābumu rada oksidēšanas vai piesārņojošo produktu esamība eļļā, ko īpaši sekmē skābeklis un ūdens. Skābes un citi oksidēšanās produkti savienojumos ar ūdeni un cieto mehānisko daļiņu piesārņojumu, tai skaitā metāliem (Cu, Al, Fe), iespaido eļļas dielektriskās īpašības. Skābes iespaido arī tinuma izolācijas novecošanos un elektroiekārtas metālisko daļu koroziju.

Ekspluatācijā esošas eļļas skābuma līmeņa paaugstināšanās ir labs novecošanās ātruma rādītājs. Skābuma līmenis ir vispārīgs rādītājs, kas palīdz noteikt, kad ir nepieciešama eļļas maiņa vai attīrīšana. Kopumā inhibētas eļļas skābumam nav ievērojami jāpaaugstinās, salīdzinot ar tā sākotnējo vērtību, pieņemot, ka inhibitora daudzums ir pietiekams.

6.1.4. Tīrības klase, mehāniskie piemaisījumi

Mehānisko piemaisījumu daudzums eļļā tiek novērtēts kā eļļas tīrības klase. Mehāniskie piemaisījumi rodas transformatora un eļļas ražošanas procesā, kā arī iekārtas kalpošanas laikā. Cietās daļiņas veidojas cieto materiālu dilšanas un eļļas novecošanās rezultātā. Oglekļa daļiņu rašanos var izraisīt lokāla pārkaršana, pārsniedzot 500 °C temperatūru. Metāliskās daļiņas bieži rodas sūkņu gultņu nodiluma rezultātā. Suspendēto daļiņu ietekme uz izolācijas eļļas dielektrisko izturību ir atkarīga no daļiņu veida (metāliskas daļiņas, šķiedras, nosēdumi u. c.) un to ūdens satura. Dažas sēru saturošās molekulas var arī izraisīt vara sulfīda (Cu₂S) veidošanos un nogulsnešanos papīra izolācijā. Šī procesa rezultātā pasliktinās elektroizolācijas īpašības (skatīt 6.1.18. p.).

6.1.5. Uzliesmošanas temperatūra

Tā ir minimālā temperatūra, kurā eļļa noteiktos apstākļos izdala tādu tvaika daudzumu, kas sajaucoties ar gaisu, rada uzliesmot spējīgu maisījumu. Eļļas caursite, ko izraisa elektriskās izlādes vai ilgstoša pakļaušana ļoti augstai temperatūras ietekmei, var izraisīt oglekļa daļiņu ar zemu molekulāro masu rašanos tādos daudzumos, kas izraisa eļļas uzliesmošanas temperatūras pazemināšanos, radot ugunsgrēka draudus.

6.1.6. Dielektrisko zudumu leņķa tangenss (tgδ) un īpatnējā pretestība

Dielektrisko zudumu koeficienta noteikšana ir noteiktai temperatūrai, frekvencei un spriegumam vai elektriskā lauka intensitātei atbilstošu dielektrisko zudumu mērīšana. Dielektriskos zudumus raksturo ar zudumu leņķa tangensu. Šis parametrs ir ļoti jutīgs

pret eļļas novecošanos, samitrināšanos, kā arī piesārņojuma līmeņa izmaiņām. Dielektrisko zudumu mērījumu rezultāti ir atkarīgi no temperatūras. Dielektriskiem zudumiem eļļās pievēršama īpaša uzmanība mērmaiņos – dažu tipu eļļās īsā oksidēšanās laikā dielektriskie zudumi var ievērojami palielināties un izraisīt iekārtas atteici.

Otrs ļoti jutīgs parametrs pret eļļas novecošanos, šķīstošiem polāriem piesārņojumiem un koloīdiem ir eļļas īpatnējā pretestība ($G\Omega \times m$). Starp dielektriskiem zudumiem un īpatnējo pretestību pastāv apgriezti proporcionāla attiecība. Samazinoties īpatnējai pretestībai, dielektriskie zudumi palielinās. Šie abi parametri ir atkarīgi no temperatūras un samitrināšanas pakāpes.

6.1.7. Kinemātiskā viskozitāte

Viskozitāte ietekmē siltuma pārneši un līdz ar to iekārtas temperatūras paaugstināšanos. Augstāka viskozitāte var kavēt eļļas plūsmu un samazināt siltuma pārnešes veikspēju. Augsta eļļas viskozitāte ir kritisks faktors transformatoru iedarbināšanai, pastāvot zemai apkārtējās vides temperatūrai.

Slikta vai neesoša eļļas cirkulācija var izraisīt pārkaršanu karstajos punktos transformatora tinumos. Augstāka viskozitāte, pastāvot zemai apkārtējās vides temperatūrai, var arī samazināt kustīgo daļu ātrumu tādās iekārtās kā jaudas slēdži, sadales iekārtas, slodzes pārslēgšanas mehānismi, sūkņi un regulatori.

Kinemātiskā viskozitāte ir svarīgs kontroles faktors, pēc kā var spriest par eļļas sadalīšanos augstā temperatūrā. Kinemātiskajai viskozitātei ir tendence palielināties eļļas novecošanās un oksidēšanās procesa rezultātā. Šis rādītājs ir atkarīgs no temperatūras, izlādes intensitātes transformatora tvertnē un eļļas oksidēšanās ātruma.

6.1.8. Krāsa un caurspīdība (izskats)

Eļļas krāsas un izskata maiņa liecina par eļļas novecošanos vai piesārņošanu ar ūdeni, nešķīstošām nogulsniem, oglekli, šķiedrām, netīrumiem vai citu piesārņojumu. Krāsas parametra skaitliskās vērtības strauja palielināšanās vai augsta vērtība var liecināt par eļļas degradēšanos vai piesārņojumu.

6.1.9. Blīvums

Eļļas blīvums var būt nozīmīgs rādītājs, nosakot tās piemērotību lietošanai aukstos klimatiskajos apstākļos. Piemēram, augsta blīvuma eļļā var peldēt ledus kristāli, kas veidojas no atdalītā ūdens un var izraisīt pārklāšanu pa virsmu, pārkaršanu un sekojošu izkušanu.

Blīvums var būt noderīgs rādītājs, lai atšķirtu izolācijas minerāleļļu no citu veidu izolējošiem šķidrumiem, kā arī plānojot eļļas nomaiņu.

Blīvums jāņem vērā arī aizsardzības, plūsmas un vadības iekārtu darbībā, piemēram, ierīces, kas darbojas uz peldspējas principiem, piemēram, Buholca relejs.

6.1.10. Nosēdumi un duļķes

Nosēdumi ir eļļā nešķīstošs materiāls.

Nosēdumi ir:

- nešķīstoši cietu vai šķidru izolācijas materiālu oksidācijas vai degradācijas produkti;
- cieti produkti, kuri rodas aprīkojuma ekspluatācijas apstākļu ietekmes rezultātā, oglekļa un metāla daļiņas, metāliski oksīdi un sulfīdi;
- šķiedras un citi dažādas izcelsmes svešķermeņi.

Duļķes ir cieta un šķidra izolācijas materiāla polimerizēts degradācijas produkts. Duļķes līdz noteiktai robežai šķīst eļļā, kas ir atkarīgs no eļļas šķīdības pakāpes un temperatūras. Sasniedzot šķīdības robežu, duļķes nogulsņējas.

Nosēdumu un/vai duļķu esamība var mainīt eļļas elektriskās īpašības, turklāt nosēdumi var kavēt siltumapmaiņu, tādējādi veicinot izolācijas materiālu termisko degradēšanu.

6.1.11. Stabilitāte pret oksidēšanos

Tā ir eļļas noturība pret oksidēšanās procesu temperatūras, skābekļa un katalizatoru klātbūtnē. Nosakot eļļas stabilitāti, var novērtēt arī eļļas novecošanās pakāpi. Eļļas, kas satur metāla pasivatorus, oksidācijas stabilitāti pārbauda pirms pasivatoru piedevu pievienošanas eļļai.

Piezīme: Eļļām, kas satur antioksidantu piedevas, kas nav fenola tipa savienojumi, vai metālu pasivatorus, stabilitātes pret oksidēšanos testa ilgums ir noteikts LVS EN IEC 60296.

6.1.12. Piedevas – antioksidanti

Eļļas bez piedevām novecojas ātrāk, kā rezultātā pieaug skābes skaitlis, veidojas šķīstoši un nešķīstoši nosēdumi. Ekspluatācijā esošām eļļām, kā arī pēc eļļu apstrādes, svarīgi noteikt antioksidantu koncentrāciju, jo sevišķi, ja pieaug skābes skaitlis un parādās duļķes.

Eļļās tiek izmantotas galvenokārt fenola tipa vielas. Standarta vispārpieņemtie savienojumi ir 2,6 di-terc-butil-parakrezols (DBPC) un 2,6 di-terc-butil-fenols (DBP). Pievienoto inhibitoru efektivitāte ir atkarīga no eļļas ķīmiskā pamatsastāva.

Neinhibētu eļļu oksidēšanās parasti tiek uzraudzīta, pievēršot uzmanību skābu savienojumu un eļļā šķīstošu un nešķīstošu nosēdumu un duļķu veidošanās procesam. Arī dielektrisko zudumu leņķa tangensa pieaugums un IFT samazinājums liecina par izolējošo eļļu oksidēšanu.

Inhibētu eļļu oksidēšanās reakcija atšķiras no neinhibētu eļļu oksidēšanās. Ekspluatācijas laika sākumā sintētiskā inhibitora patērēšanas rezultātā rodas neliels oksidācijas produktu daudzums. Tas tiek dēvēts par indukcijas periodu. Pēc inhibitora patērēšanas, oksidēšanās ātrumu nosaka galvenokārt pamata eļļas oksidēšanās stabilitāte.

Inhibitoru patēriņu uzrauga, veicot inhibitoru koncentrācijas mērīšanu.

Inhibitoriem iesaistoties oksidēšanas reakcijā, izveidojas oksidēšanās produkti.

6.1.13. Furfurola (2-FAL) un līdzīgu savienojumu saturs

2-FAL un līdzīgi savienojumi neizmantotā eļļā var parādīties nepareiza destilācijas procesa rezultātā pēc šķīdinātāja atdalīšanas rafinēšanas procesā un piesārņošanas rezultātā ar jau izmantotu eļļu.

Furānu savienojumi ir papīra izolācijas sadalīšanās blakusprodukti, tādēļ ekspluatācijā esošas eļļas paraugos noteikto furānu koncentrāciju izmanto kā transformatoru tinumu izolācijas novecošanās rādītāju.

6.1.14. Sastingšanas temperatūra

Minerāleļļas sastingšanas temperatūra ir zemākā temperatūra, kurā eļļa vēl plūst. Ieteicams, lai sastingšanas temperatūra būtu vismaz par 10 °C zemāka par zemāko iekārtas ieslēgšanas temperatūru (LCSET). Ja tiek izmantota sastingšanas temperatūru pazeminoša piedeva, piegādātājam tā jādeklarē lietotājam.

Sastingšanas temperatūra raksturo eļļas plūšanas spēju pie zemas temperatūras, šī kritērija pasliktināšanās neietekmē citus kvalitātes kritērijus. Sastingšanas punkta izmaiņas parasti var izskaidrot, kā izmaiņas, kas radušās pēc papildināšanas ar citu eļļu.

6.1.15. Virsmas spraigums (IFT)

Spraigums starp eļļas un ūdens virsmām dod iespēju vērtēt eļļas novecošanās procesu. Strauja virsmas spraiguma samazināšanās var norādīt uz saderības problēmām starp eļļu un dažiem transformatora materiāliem. Pārslēgtiem transformatoriem notiek materiālu paātrināta novecošanās un virsmas spraiguma pazemināšanās, tas var liecināt par bojājuma rašanos iekārtā. Sākotnējos novecošanās posmos šis rādītājs strauji mainās, vidējā novecošanās līmenī (posmā) rādītāji izlīdzinās.

IFT vērtības samazināšanās ātrums ir atkarīgs no izmantotās eļļas veida, neinhibētu eļļu IFT vērtības samazināšanās ātrums ir ievērojami lielāks, salīdzinot ar inhibētām eļļām.

6.1.16. Pasivatori

Dažas piedevas veido plānu kārtu uz vara virsmas, novēršot katalītisko reakciju uz metāla virsmas un novēršot vara sulfīda uzkrāšanos papīra izolācijā, reaģējot ar korozīvajiem sēra savienojumiem, kas atrodas eļļā.

Daži no pasivatoriem aizsargā eļļu no metālu katalītiskas mijiedarbības un samazina eļļas oksidēšanos.

Pasivatori palēnina oksidācijas procesu – pasivējot vara vada virsmas katalizēšanos, tas noved pie labākiem rezultātiem oksidēšanās stabilitātes rādītājos. Daži no pasivatoriem tiek izmantoti, lai samazinātu eļļas elektrostātisko uzlādi.

Pamatā kā pasivatoru piedevas tiek izmantoti trīs benzotriazola atvasinājumi:

- N – bis – (2 – etilheksil) – aminometil tolutriazols (TTAA);
- benotriazols (BTA);
- 5 – metil – 1H – benzotriazols (TTA).

Atsevišķas citas piedevas arī var tikt izmantotas kā metālu pasivatoru piedevas:

- N, N – bis (2 -etilheksil) – 1H – 1,2,4 – triazols – 1 metanamīns (TAA);
- diamino – definil disulfīts;

- nikotīnskābe;
- hidroksihinolīns;
- un citi sēra savienojumi.

6.1.17. Sērs

Minerāleļļas satur dažāda veida sēra savienojumus, kuru daudzums un veids atkarīgs no jēlnaftas izcelsmes un rafinēšanas procesa pakāpes un veida. Rafinēšana samazina sēra un aromātisko oglekļaūdeņražu apjomu. Ņemot vērā, ka atsevišķi eļļā dabīgi klātesoši sēra savienojumi reaģē ar metāliem, tie var darboties kā dabīgie inhibitori vai veicināt koroziju.

6.1.18. Korozīvais sērs un potenciāli korozīvais sērs

Atsevišķi sēra savienojumi ir sevišķi korozīvi metālu virsmām, piemēram, tēraudam, varam, sudrabam (slēgiekārtu kontaktiem) un tie nedrīkst būt neizmantotas eļļas sastāvā.

Citas korozīvā sēra komponentes, piemēram, dibenzila disulfīds (DBDS), var veicināt vara sulfīda (Cu_2S) uzkrāšanos uz papīra izolācijas, samazinot tās izolācijas īpašības. Tas var izraisīt dažādas aprīkojuma atteices ekspluatācijas laikā.

6.1.19. Polihlorbifenili (PCB)

Šobrīd neizmantotās eļļās nedrīkst būt polihlorbifenili (PCB). Šai piedevai ir ideālas dielektriskās īpašības, ļoti augsta uzliesmošanas un pašai aizdegšanās temperatūra, zems ūdens saturs un izturība pret novecošanos, taču tā ir toksiska, tādēļ PCB ir aizliegts pielietot eļļās kā piedevu. Tā kā PCB tika pielietoti eļļās vairāk nekā 40 gadus, pastāv iespēja, ka šīs vielas vēl atrodas ekspluatācijā esošo eļļās, tādēļ, strādājot ar veco eļļām, ir jābūt informācijai par PCB esamību, kā arī jāievēro visi darba drošības pasākumi.

Piezīme: Eļļas utilizācijas veicējs pirms utilizācijas procesa sākšanas veic analīzes PCB esamības un koncentrācijas noteikšanai, un, balstoties uz analīžu rezultātiem, nodrošina, ka utilizācijas laikā tiek piemēroti nepieciešamie drošības pasākumi un ievērotas visas spēkā esošās vides aizsardzības un atkritumu apsaimniekošanas prasības.

6.1.20. Policikliskie aromātiskie oglekļaūdeņraži (PCA)

Daži policikliskie aromātiskie oglekļaūdeņraži tiek klasificēti kā kancerogēni – to koncentrācija izolācijas minerāleļļās nedrīkst pārsniegt standarta 5.1A. un 5.1B. tabulā norādīto pieļaujamo līmeni.

6.1.21. Nejaušas gāzu veidošanās tendence

Eļļās var rasties dažādas gāzes – ūdeņradis, oglekļaūdeņraži, oglekļa oksīdi – pie zemas temperatūras ($<120\text{ }^{\circ}\text{C}$), kas nerada termiskas vai elektriskas kļūdas (bojājumus) transformatorā, dažreiz notiekot pat bez darbības traucējumiem. Šīs parādības rezultātā var veidoties daudz gāzes, līdz ar to nepareizi tiek interpretēti eļļā izšķīdušo gāzu GHA rezultāti.

6.2. Eļļā izšķīdušo gāzu analīze

6.2.1. Eļļā izšķīdušās gāzes

Tiek noteikta sekojošu gāzu koncentrācija:

- ūdeņradis H_2 ;
- skābeklis O_2 ;
- slāpeklis N_2 ;
- metāns CH_4 ;
- oglekļa oksīds CO ;
- oglekļa dioksīds CO_2 ;
- etilēns C_2H_4 ;
- etāns C_2H_6 ;
- acetilēns C_2H_2 ;
- propilēns C_3H_6 ;
- propāns C_3H_8 ;
- kopējais gāzu saturs eļļā.

Piezīme 1: propilēnu un propānu nosaka atbilstoši pielietotās testēšanas metodes iespējām.

Piezīme 2: Izšķīdušo gāzu koncentrāciju eļļā izsaka ppm mērvienībās, t.i., izšķīdušo gāzu mikrolitru daudzums 1 litrā eļļas (1 ppm=1 μ l/l).

Piezīme 3: Kopējo gāzu saturu eļļā izsaka tilpuma procentos, tilp. %, t.i., izšķīdušo gāzu ml daudzums 100 ml eļļas.

6.2.2. Iekārtu defektu veidi

6.2.2.1. Iekārtu elektriskie defekti:

- daļējas izlādes (DI) – koronizlādes, kas izraisa perforāciju (caursites) veidošanos papīrā un nav viegli konstatējamas;
- zemas enerģijas izlāde eļļā un/vai papīrā (I_1) – lielākas nekā DI perforācijas caur papīru (caursites), papīra virsmas karbonizācija vai oglekļa daļiņas eļļā (piemēram, darbojoties transformatora pārspriegumaizsardzības sistēmai);
- augstas enerģijas izlāde eļļā un/vai papīrā (I_2) – sekojoša strāvas caursite, plaša papīra sagraušana un karbonizācija, metāla kausēšana izlādes maksimumos, acīmredzama - eļļas karbonizācija, iekārtas atslēgšanās.

6.2.2.2. Iekārtu termiskie defekti:

- defekts eļļā un/vai papīrā, ja temperatūrā, kas zemāka par 300 °C, papīrs izmaina krāsu – kļūst brūns (T_1);
- defekts eļļā un/vai papīrā, ja temperatūrā no 300 - 700 °C papīrs sāk karbonizēties, sadegt (T_2);

- defekts (T_3), kad temperatūrā virs 700 °C konstatēta eļļas karbonizācija, metāla krāsas izmaiņas (800 °C) un metāla kušana (> 1000 °C).

6.2.2.3. Eļļā izšķīdušo gāzu iespējamie veidošanās iemesli:

- eļļas sadalīšanās rezultātā – var rasties H_2 un C_nH_m grupas gāzes;
- cietās izolācijas sadalīšanās rezultātā – var rasties CO un CO_2 , kā arī furānu savienojumi, galvenokārt, furfurols;
- citu gāzu veidošanās avotu rezultātā, atsevišķos gadījumos gāzes var rasties nevis iekārtas defekta rezultātā, bet gan metāla korozijas vai citās ķīmiskās reakcijās.

6.2.2.4. Eļļā izšķīdušo gāzu sastāva komponenti, pēc kuru esamības ir iespējams prognozēt defekta veidu iekārtā:

- ūdeņradis (H_2) – elektriska rakstura defekti (piemēram, daļēja izlāde, lokizlāde un dzirksteļizlāde);
- acetilēns (C_2H_2) – dzirksteļošana, elektriskais loks, sasilšana vairāk kā 700 °C;
- etilēns (C_2H_4) – eļļas un papīra - eļļas izolācijas silšana pie temperatūras vairāk kā 600 °C;
- etāns (C_2H_6) – eļļas un papīra - eļļas izolācijas termiskā silšana temperatūras diapazonā no 300 °C līdz 400 °C;
- metāns (CH_4) – eļļas un papīra - eļļas izolācijas silšana pie temperatūras diapazonā no 400 °C līdz 600 °C;
- oglekļa oksīds (CO) – cietās izolācijas silšana pirolīzes procesos, transformatora celulozes izolācijas un eļļas oksidācijas rezultātā;
- oglekļa dioksīds (CO_2) – cietās izolācijas silšana pirolīzes procesos un eļļas oksidācijas rezultātā.

Piezīme 1: Metāla un ūdens savstarpējā reakcijā skābekļa klātbūtnē var rasties ūdeņradis. Lieli ūdeņraža daudzumi tiek konstatēti dažos transformatoros, kas ilgstoši atradušies konservācijā. Ūdeņradis var veidoties ūdens un speciālu metāla virsmu pārklājumu savstarpējās reakcijās vai arī dažu veidu nerūsējošā tērauda un eļļas katalītiskās reakcijās, jo paaugstinātās temperatūrās eļļa daļēji satur izšķīdušo skābekli.

Piezīme 2: Ūdeņradis var veidoties arī jaunā nerūsējošā tēraudā, absorbējoties tā izgatavošanas procesā vai metināšanas laikā, un lēnām iekļūt eļļā.

1. pielikums

Pasākumi eļļas paraugu noņemšanai, uzglabāšanai, transportēšanai

P1.1. Eļļas parauga noņemšana

P1.1.1. Fizikāli ķīmiskai analīzei

P1.1.1.1. Paraugs jānoņem, ievērojot šī standarta 3. nodaļas prasības.

P1.1.1.2. Pirms un pēc parauga noņemšanas rūpīgi notīrīt eļļas izplūdes krāna atveri, kā arī parauga noņemšanas caurulīti.

P1.1.1.3. Ieregulēt nelielu eļļas plūsmu, lai parauga noņemšanas laikā nebūtu jāmaina krāna stāvoklis.

P1.1.1.4. Nolaist savākšanas tilpnē eļļu, kas sastājusies krānā un pirms tā – transformatora tvertnē, kontaktorā, selektorā, caurvadā, mērmainī, jaudas slēdža balstā vai jaudas slēdža dzēškamerā. Tas nepieciešams, lai paraugā neiekļūtu pie krāna sastāvējusies eļļa, bet eļļa, kas ir bijusi termiskajā kustībā, tādejādi atspoguļojot faktisko tās darba stāvokli.

Nolaižamās eļļas daudzums ne mazāk kā:

0,5 litri – caurvadā,

2-3 litri – mērmainim,

5-6 litri – transformatoram elektrotīklā ar spriegumu 110 kV vai 330 kV,

2-3 litri – transformatoram elektrotīklā ar spriegumu ≤ 36 kV,

2-3 litri – kontaktoram,

2-3 litri – selektoram,

1-2 litri – jaudas slēdža balstam vai dzēškamerai.

Pēc eļļas nolaišanas krānu nedrīkst grozīt līdz parauga noņemšanas beigām, lai izvairītos no mehānisko piemaisījumu iekļūšanu paraugā.

P1.1.1.5. Izskalot eļļas parauga noņemšanas pudeli - ielaist tajā eļļu, ripinot horizontālā stāvoklī to izskalot, turpinot ripināt pudeli ap tās asi, izliet skalojamo eļļu no pudeles netīrās eļļas savākšanas tilpnē.

P1.1.1.6. Neaiztiekot eļļas iepildes krānu, iepildīt vēlreiz eļļu pudelē (pēc nepieciešamības izmantot piltuvi ar caurulīti), tecinot gar pudeles malu, raugoties, lai strūkļa būtu vienmērīga un neveidotos gaisa burbuļi.

P1.1.1.7. Pudeli piepildiet 2,5-3 cm no augšas, lai tajā būtu vieta tikai eļļas tilpuma pieaugumam, tai izplešoties. Ielejot karstu eļļu, pudeli piepildīt pilnāku.

P1.1.1.8. Pudeli rūpīgi aiztaisīt ar skrūvējamu korķi ar blīvējumu un pagriezt ar apakšu uz augšu, lai pārliecinātos par pietiekošu hermētiskumu un ūdens neesamību paraugā. Pārbaudi, vai eļļā nav ūdens, izdara sekojoši - pagriežot pudeli lēnam ar dibenu uz augšu, skatīties cauri pudelei, vai eļļā nav burbulīši, kuri virzās uz leju - tas ir ūdens (gaiss virzās uz augšu). Ja paraugā ir ūdens, atkārtot parauga noņemšanu tīrā pudelē un dokumentācijā atzīmēt par ūdens esamību sākotnējā paraugā. Ūdens eļļas nolaišanas krānā var iekļūt arī gar krāna roktura kātu un tālāk, ja krāns nav pilnīgi izskalots paraugā.

P1.1.1.9. Aizpildīt eļļas paraugu noņemšanas dokumentāciju.

P1.1.2. Hromatogrāfiskai analīzei

P1.1.2.1. Paraugs jānoņem, ievērojot šī standarta 3. nodaļas prasības.

P1.1.2.2. Parauga noņemšanas laikā nav pieļaujama izšķīdušo gāzu koncentrācijas samazināšanās un atmosfēras gaisa pieplūde.

Piezīme: Nav pieļaujama hromatogrāfiskā eļļas parauga noņemšana no atklātas eļļas strūklas, tas nozīmē, ka nav pieļaujams eļļas kontakts ar atmosfēras gaisu, jo tas var novest pie kļūdainiem analīžu rezultātiem.

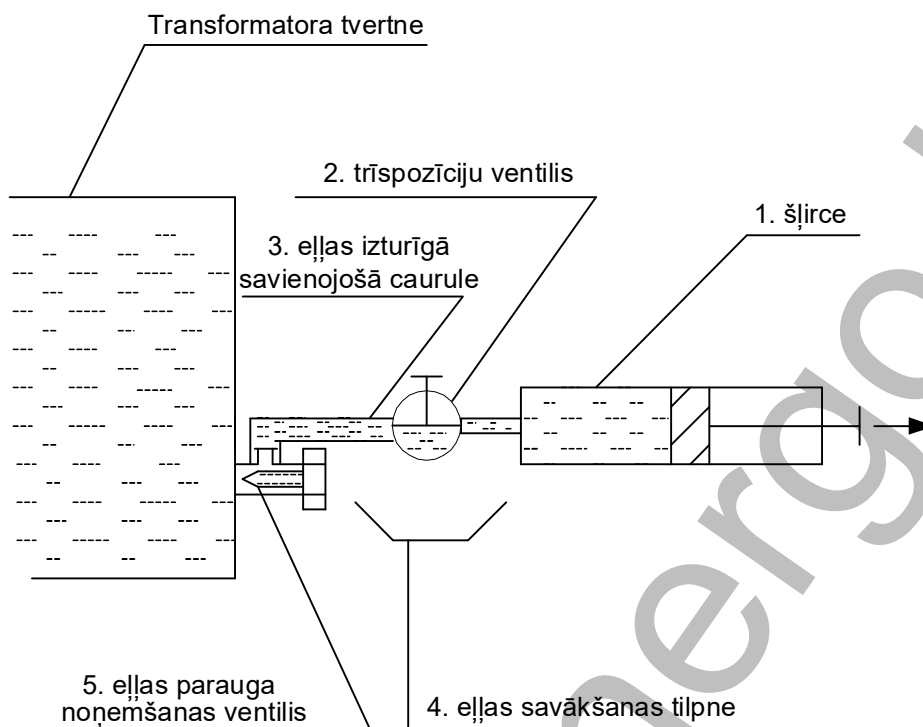
P1.1.2.3. Paraugs ir jānoņem no iekārtas ražotāja noteiktās paraugu noņemšanas vietas.

P1.1.2.4. Hromatogrāfiskās analīzes eļļas parauga iegūšana notiek ar stikla šļirci (paraugam nepieciešamais eļļas daudzums 25-100 ml). Ja konstruktīva izpildījuma dēļ nav iespējams noņemt paraugu, izmantojot šļirci, jāparedz noņemt GHA paraugu eļļas paraugu pudelē (fizikāli ķīmiskai analīzei), pēc tam pārlejot šļircē, saskaņā ar LVS EN IEC 60567:2024 6. p.

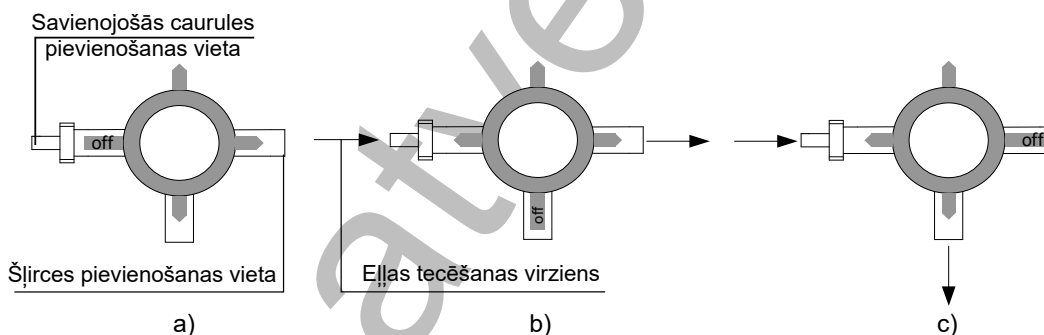
Piezīme: Nav pieļaujama hromatogrāfiskā eļļas parauga noņemšana ar plastikāta šļircēm.

P1.1.2.5. Šļircei jābūt hermētiskai.

P1.1.2.6. Eļļas parauga noņemšanai pielietojamā iekārta autotransformatoriem transformatoriem un pēc GOST ražotiem mērmašīnām dota P1.1. un P1.2. attēlā. Eļļas parauga noņemšanas procedūras aprakstu skat. šī pielikuma P1.1.2.7.-P1.1.2.15. p.



P1.1. attēls. Eļļas parauga noņemšana hromatogrāfiskai analīzei



P1.2. attēls. Trīspozīciju ventīļa stāvokļi

P1.1.2.7. Noņemot eļļas paraugu no transformatora, eļļas parauga noņemšanas ventilim (5) jābūt notīrītam no netīrumiem.

P1.1.2.8. Eļļas paraugu noņemšanu no transformatora tvertnes realizē ar šļirci (1), trīspozīciju ventili (2), savienojamo eļļas izturīgu, caurspīdīgu cauruli (3), kurai jābūt ne īsākai par 30 cm, eļļas savākšanas tilpni (4).

P1.1.2.9. Pievienot šļirci ar cauruli pie eļļas parauga noņemšanas ventīļa (5), šļirces virzulim ir jābūt izspiestam līdz galam. Trīspozīciju ventīlim (2) jāatrodas pozīcijā (a). Uzmanīgi atskrūvēt eļļas parauga noņemšanas ventili (5). Pārslēgt trīspozīciju ventili (2) stāvoklī (c). Ar eļļas parauga noņemšanas ventīļa (5) palīdzību ieregulēt nelielu eļļas plūsmu, lai parauga noņemšanas laikā nebūtu jāmaina krāna stāvoklis. Noliet 1-2 litrus eļļas, eļļas savākšanas tilpnē.

P1.1.2.11. Pēc šļirces izskalošanas pārslēgt trīspoziciju ventili (2) pozīcijā (b) un piepildīt šļirci ar testējamo eļļu. Kad šļirce ir piepildīta ar paraugam nepieciešamo daudzumu, pārslēgt trīspoziciju ventili (2) stāvoklī (c).

P1.1.2.12. Aizskrūvēt eļļas parauga noņemšanas ventili (5).

P1.1.2.14. Pacelt šļirci ar trīspozīciju ventili (2) uz augšu un pārliedzināties, vai šļircē nav gaisa burbuļu. Ja tiek konstatēti gaisa burbuļi, pārslēgt trīspozīciju ventili (2) pozīcijā (b) un ar šļirces virzuli izspiest burbuļus, pēc tam pārslēgt trīspozīciju ventili (2) atpakaļ stāvoklī (c). Pārliedzināties, ka, ņemot eļļas paraugu hromatogrāfiskai analīzei, šļirce nav piesārņota ar netīrumiem un pārbaudīt mitruma neesamību tajā.

P1.1.2.16. Eļļas parauga noņemšanu hromatogrāfiskai analīzei saskaņā ar IEC standartiem ražotiem mērmaiņiem veic atbilstoši mērmaiņu ražotāja instrukcijām. Vispārēja informācija par paraugu noņemšanu:

P1.1.2.16.2. plastmasas korķi ievadīt šļirci ar adatu, kamēr sāk plūst eļļa, un ļaut eļļas spiedienam pilnībā piepildīt šļirci;

P1.1.2.16.3. kad šļirce ir piepildīta, izvilkot šļirci ar adatu no plastmasas korķa un uzspiežot uz virzuļa izspiest eļļu no šļirces eļļas savākšanas tilpnē;

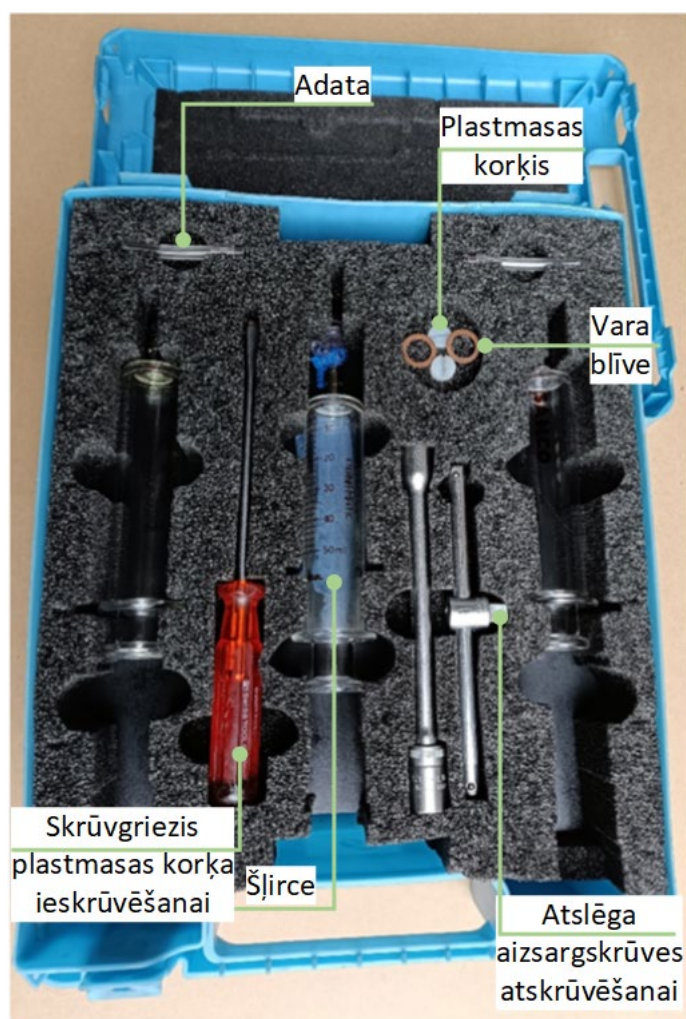
P1.1.2.16.4. šļirces piepildīšana ar eļļas paraugu notiek, atkārtojot P1.1.2.16.2. p.;

P1.1.2.16.5. izvilkt šļirci no plastmasas korķa, pagriezt šļirci ar adatu uz augšu un vizuāli pārbaudīt, vai paraugā nav gaisa burbuļi. Ja ir konstatēta gaisa burbuļu klātbūtne, tad viegli spiest uz virzuli, lai no parauga izspiestu gaisa burbuļus;

P1.1.2.16.6. pārliecināties, ka, ņemot hromatogrāfisko eļļas paraugu, šķirce nav piesārņota ar netīrumiem un pārbaudīt mitruma neesamību tajā;

P1.1.2.16.7. no parauga noņemšanas izvada izskrūvēt plastmasas korķi un noregulēt iekšējo vārstu (ja ir), ieskrūvējot to iekšā līdz atdurei un pusapgriezīenu atpakaļ vai atbilstoši mērmaīņa ražotāja instrukcijai. Aizskrūvēt aizsargskrūvi, pirms tam nomainot vara blīvi (ja ir) un pārļiecinoties par eļļas noplūdes neesamību. Aizskrūvēt parauga noņemšanas izvada aizsargvāku, nepieciešamības gadījumā nomainot gumijas blīvi. Noslaucīt šļirces virsmu;

P1.1.2.16.8. aizpildīt eļļas paraugu noņemšanas dokumentāciju.



P1.3. attēls. Speciālā komplekta piemērs.

P1.2. Eļļas parauga uzglabāšana

P1.2.1. Eļļas paraugus jāuzglabā telpās, kas ir pasargātas no gaismas, istabas temperatūrā, hermētiski noslēgtās šļircēs vai pudelēs.

P1.2.2. Eļļas paraugi jānoņem un jānogādā uz laboratoriju un analīzes jāveic iespējami īsā laikā.

P1.2.3. Kopējais hromatogrāfiskās vai fizikāli ķīmiskās analīzes eļļas paraugu uzglabāšanas/ analīzes veikšanas laiks elektrostacijas transformatoriem nav ieteicams ilgāks par 7 kalendārajām dienām, ja elektroietaisies valdītāja noteiktajā kārtībā nav norādīts citādi.

P1.2.4. Tiklu transformatoriem eļļas paraugu uzglabāšanas/ analīzes veikšanas laiks, ja elektroietaisies valdītāja noteiktajā kārtībā nav norādīts citādi, nav ieteicams ilgāks:

P1.2.4.1. hromatogrāfiskajām analīzēm par 14 kalendārajām dienām;

P1.2.4.2. fizikāli ķīmiskajām analīzēm par 28 kalendārajām dienām.

P1.3. Eļļas parauga transportēšana

P1.3.1. Transportēšanas laikā šļircēm jābūt cieši nofiksētām horizontālā stāvoklī.

P1.3.2. Transportējot jāizvairās no stipras vibrācijas un kratīšanās, savstarpējas mehāniskās iedarbības, lielām temperatūras svārstībām un tiešas saules gaismas. Jābūt risinājumam, lai noplūdes gadījumā eļļa nenokļūtu apkārtējā vidē.

P1.3.3. Transportējot jānodrošina eļļas paraugu un paraugu noņemšanas dokumentācijas nesajaukšanos, pievienojot tās pie konkrētās šļirces vai pudeles.

2. pielikums

Nosēdumu un duļķu noteikšanas metode

P2.1. Nosēdumu noteikšana:

- nosver P 10 stikla filtru vai piemērotu 8 μ m membrānu filtru ar precizitāti līdz 0,1 mg;
- izfiltrē 100 g homogenizētu eļļas paraugu caur sagatavoto filtru;
- skalo filtru ar nelielām šķīdinātāja porcijām (kopumā 100 ml n-heptāna) līdz filtrs ir tīrs no eļļas;
- žāvē filtru 105 °C temperatūrā, nosver un izrēķina nosēdumu daudzumu procentos.

P2.2. Duļķu noteikšana:

- ņem 25 g pēc nosēdumu noteikšanas iegūto izfiltrēto eļļu;
- atšķaida ar 300 ml n-heptāna Erlenmeijera kolbā;
- maisījumu novieto uz 24 stundām tumsā, 20 °C $\pm$ 5 °C temperatūrā, pēc tam filtrē caur iepriekš izžāvētu līdz pastāvīgam svaram membrānu filtru;
- filtrējot jāizmanto neliels vakuuma spiediens, lai novērstu duļķu izkļūšanu caur filtru, duļķains filtrāts jāfiltrē atkārtoti;
- eļļas paliekas no duļķēm izskalo ar vairākkārtēju mazgāšanu ar n-heptānu, kopējais mazgāšanai paredzētais n-heptāna daudzums – 150 ml;
- filtru ar duļķēm žāvē 105 °C temperatūrā;
- duļķu saturu izsaka procentos no sākotnējās eļļas masas.

3. pielikums

Metode reakcijas produktu veidošanās noteikšanai

Saskaņā ar standartu VGB-S-169-11-2015-11-EN reakcijas produktu veidošanās noteikšanai:

- sagatavotos eļļas paraugus (piemēram, neizmantotas un lietotas eļļas sajaukumus izvēlētajās proporcijās) notur 48 h istabas temperatūrā;
- pēc tam paraugus tur 72 h 60 °C termostātā (žāvskapī);
- 100 g eļļas maisījumam pievieno 100 ml n-heptāna;
- filtrē caur iepriekš līdz pastāvīgai masai 105 °C izžāvētu un nosvērtu filtru (piemēram, nitrocelulozes membrānu filtru), kuram poru izmērs ir 0,45 µm;
- lai izvairītos no eļļas paliekām uz filtra, to skalo 2 reizes ar 50 ml n-heptāna;
- filtru ar iespējamajiem reakcijas produktiem (nogulsniem) žāvē 105 °C līdz pastāvīgai masai, nosver;
- aprēķina reakcijas produktus % pēc masas.

4. pielikums

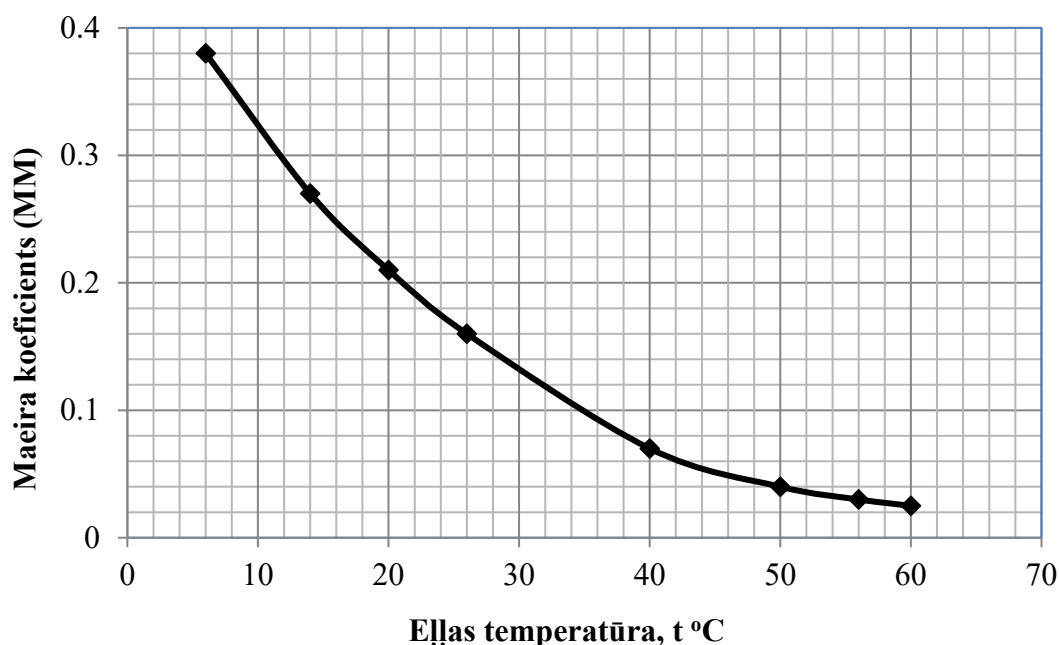
Mitruma noteikšana transformatoru papīra izolācijā ar Maeira (Myera) koeficienta palīdzību

P4.1. Lai izvērtētu mitruma saturu transformatora cietajā izolācijā ar Maeira koeficientu, nepieciešams:

- nofiksēt eļļas maksimālo temperatūru;
- noņemt eļļas paraugu un noteikt ūdens saturu eļļā, ppm;
- pieskaitīt pie fiksētās temperatūras 5 grādus;
- horizontālā asī atzīmēt šo temperatūru;
- augstāk norādītajā grafikā novilkt vertikālu līniju līdz tā krusto līkni;
- no krustpunkta novilkt horizontālu līniju līdz krustojumam ar vertikālo asi un noteikt aprēķinu koeficientu;
- aprēķināt papīra izolācijas samitrināšanos, sareizinot aprēķināto koeficientu ar laboratorijā noteikto ūdens daudzumu eļļā.

P4.2. Ir ļoti svarīgi pareizi noteikt eļļas temperatūru. Transformatora augšējā daļā faktiskā eļļas temperatūra var būt lielāka nekā P4.1. p. noteiktais temperatūras palielinājums, bez tam šī aprēķina precizitāte, neņemot vērā temperatūras noteikšanas kļūdu ir aptuveni 30 %.

P4.3. Pie 20 °C noteiktais eļļas mitruma līmenis 17 ppm - signāls par iespējamo papīra izolācijas samitrināšanos virs 2,5 %.



P4.1. attēls. Cietas izolācijas mitruma noteikšanas koeficients

Piezīme: Koeficienta atkarība no temperatūras tiek izmantota, lai noteiktu mitruma saturu (%) pret sausu svaru (% M/dw) stabilā darba režīmā esošam transformatoram.

5. pielikums

Eļļas kvalitātes vizuālā novērtēšana

P5.1. Vispārīgi

Eļļas vizuālo apskati veic, kad parauga pudelē ir apmēram $\frac{1}{2}$ no tilpuma. Pudeli paceļ acu augstumā un skatās pret elektrisko gaismu. Parauga pudeli strauji pagriež ap savu asi un vēro, vai uz dibena ir vai nav nosēdumi.

Novērtējot vizuāli eļļas kvalitāti, jāņem vērā nosēdumu ietekme uz eļļas caursites spriegumu. Nosēdumus iedala četrās grupās:

- mehāniskie piemaisījumi;
- novecošanas produkti;
- kvēpi;
- ūdens.

Novecošanas produkti, mehāniskie piemaisījumi un kvēpi transformatoros un citos aparātos ir bīstami, jo tie ir hidroskopiski un noklāj cieto izolāciju, kas var novest pie strāvu vadošo elementu savienošanas savā starpā. Nosēdumi var arī aizsprostot kanālus starp tinumiem un pasliktināt dzesēšanu.

P5.2. Mehāniskie piemaisījumi

Tie ir eļļā sadalījušies krāsa, laka, papīra izolācijas sabrukšanas produkti, metāliskas daļas, rūsa u.c. To daudzumu novērtē vizuāli.

Novērtējums:

Pieļaujamā daudzumā	ja daļiņas ir, bet tās ir sīkas (1-2 mm) un to ir ne vairāk kā desmit;
Nepieļaujamā daudzumā	ja sīko daļiņu ir tik daudz, ka tās ir grūti saskaitīt, vai arī eļļā ir liela izmēra daļiņas (virs 2 mm).

P5.3. Novecošanas produkti

Eļļai novecojot, veidojas šķīstošas un nešķīstošas nogulsnes. Šķīstošās nogulsnes pie pazeminātas eļļas temperatūras arī var izkrist nogulsnēs. Parauga pudeli strauji pagriežot ap savu asi, uz tās dibena veidojas virpulis, kura centrā saskatāma gaišas krāsas līnija. Pēc tās lieluma (augstuma un diametra) novērtē novecošanas produktu daudzumu eļļā.

Novērtējums:

Novecošanas produktu pazīmes	ja līnija ir vāji saredzama;
Pieļaujamā daudzumā	ja līnija ir skaidri saskatāma, bet neatstāj ietekmi uz caursites spriegumu;
Nepieļaujamā daudzumā	ja līnija ir bieza un/vai augsta un eļļas caursites spriegums ir pazemināts vai starp mērījumiem ir liela izkliede (15 – 30 %).

P5.4. Kvēpi

Kvēpi rodas elektriskā loka degšanas rezultātā. Tos labi var saskatīt, parauga pudeli strauji pagriežot. Virpulis ir melns un atkarībā no līnijas biezuma, nosaka kvēpu daudzumu eļļā. Kvēpi ir bīstami, jo tie nosedz attiecīgu iekārtu darba kontaktus, šādā veidā ietekmējot izolācijas īpašības.

Novērtējums:

Kvēpu pazīmes	ja parauga pudeles dibenā redz 1 – 2 cm augstumā paceļamies pavisam tievu virpulīti;
1 balle	ja virpulis sasniedz līdz 10 cm augstumu, bet virsotnē nepārsniedz 1 mm biezumu;
2 balles	ja virpulis ir biezs un izkļiedēts eļļā;
3 balles	ja eļļai praktiski neredz cauri un virpuli nevar vairs saskatīt.

Ja sākotnēji novērtējot eļļas paraugu konstatē kvēpu daudzumu 3 balles, tad tiek noņemts atkārtots eļļas paraugs.

Ja pēc atkārtotas noņemšanas eļļas paraugam, kvēpu daudzums joprojām saglabājas 3 balles un caursītes sprieguma mērījumi atbilst standartu prasībām, tad ir jāveic eļļas nomaiņa.

P5.5. Ūdens

Ūdens eļļā var atrasties trīs veidos:

- brīvā veidā – kurā tas nav ļoti bīstams un daļēji ietekmē eļļas caursītes spriegumu. Tā klātbūtne nav pieļaujama, jo šādā veidā ūdens var sajaukties ar eļļu un arī izolācijas materiāli to var uzsūkt;
- smalku pilienu veidā vai arī kā emulsija. Šādā stāvoklī esošs ūdens samazina caursītes spriegumu;
- pilnīgi izšķīdušā veidā, kuru vizuāli vairs nevar redzēt, un to nosaka ar Karla Fišera kulonometrisko titrēšanu.

Vizuāli ūdeni redz parauga pudeles dibenā kā mazas vai lielākas pērlītes.

Novērtējums:

- ir ūdens klātbūtne;
- nav ūdens klātbūtnes.

Ja ūdens klātbūtni konstatē, tad ir jānoņem atkārtots eļļas paraugs.