



**LATVIJAS
ENERGOSTANDARTS**

**LEK
118**

Otrais izdevums
2017
Ar izmaiņām 1

TRANSFORMATORU EĻĻU PĀRBAUDES NORMAS

© AS „Latvenergo”, teksts, 2017

© LEEA Standartizācijas centrs „Latvijas Elektrotehnikas komiteja”, noformējums, makets, 2017

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 ELEKTROENERĢĒTIKU UN
ENERGOBŪVNIEKU ASOCIĀCIJA
Šmerļa iela 1, Rīgā, LV-1006
www.lekenergo.lv

Reģistrācijas Nr. 205
Datums: 09.12.2017.
LEK 118
LATVIJAS ENERGOSTANDARTS

Satura rādītājs

1. Ievads	3
2. Normatīvās atsauces.....	3
3. Energostandartā pielietotie saīsinājumi	5
4. Terminoloģija.....	6
5. Vispārīgi jautājumi.....	7
6. Eļļas paraugu ņemšana, glabāšana, transportēšana	21
7. Eļļas un iekārtas kvalitātes pārbaudes periodiskums	22
8. Eļļas un transformatora kvalitātes rādītāji	28
8.1. Eļļas kvalitātes rādītāji	28
8.2. Iekārtas stāvokļa kvalitātes rādītāji	34
9. Papildus norādījumi	40
1. pielikums Eļļas paraugu noņemšana, glabāšana, transportēšana	41
2. pielikums Nosēdumu un duļķu noteikšanas metode	43
3. pielikums Mitruma noteikšana transformatoru papīra izolācijā ar Maeira (Myera) koeficienta palīdzību	44
4. pielikums Piemērs eļļas parauga noņemšanai hromatogrāfiskai analīzei	45

1. Ievads

Starptautiskie standarti nosaka svarīgākās prasības elektroiekārtām un sniedz vispārīgas rekomendācijas elektroietaišu pārbaūžu apjomu un periodiskuma noteikšanai. Šajā izstrādātajā dokumentā tika apvienotas prasības svaigai un lietotai transformatora eļļai, noteiktas to definīcijas atkarībā no darba sprieguma, iekārtas tipa un izgatavošanas īpatnībām. Ir norādīti kritēriji iekārtas stāvokļa izvērtēšanai un sniegtas rekomendācijas personāla rīcībai atkarībā no iegūto analīžu rezultātiem. Izvērtējot transformatora eļļas pārbaudes rezultātus, jāņem vērā arī eļļas un iekārtas izgatavotājrūpnīcas prasības. Svaigas transformatoru eļļas (nav tikusi iepildīta iekārtā) kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par šajā energostandartā norādīto.

Dokuments nosaka eļļas pārbaūžu un analīžu veidus un to aptverošo grupu svarīgumu. Šeit nav norādītas atbilstošās 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.

Iekārtas defektu noteikšanai plaši tiek izmantota transformatoru eļļā izšķīdušo gāzu hromatogrāfijas (GHA) metode. Tiek noteiktas šo gāzu robežu koncentrācijas, kuras pārsniedzot, pastāv varbūtība, ka iekārtā attīstās defekts. Analizējot iegūtos GHA rezultātus, iekārtas defektus var prognozēt jau to sākumā stadijā un savlaicīgi veikt nepieciešamos pasākumus to novēršanai.

2. Normatīvās atsauces

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 Oil Against Water by the Ring Method”;

BS 2000-346 „Methods of test for petroleum and its products Determination of polycyclic aromatics in unused lubricating base oils and asphaltene free petroleum fractions. Dimethyl sulphoxide extraction refractive index method”;

CIGRE publikācija Nr. 393 „Thermal performance of transformers”;

CIGRE publikācija Nr. 345 „Guide for transformer maintenance”;

DIN 51353 „Testing of insulating oils; detection of corrosive sulfur; silver strip test”;

IEC 60628 „Gassing of insulating liquids under electrical stress and ionization”;

IEC/TS 61464 “Insulated bushing- Guide for interpretation of dissolved gas analysis (DGA) in bushings where oil is the impregnating medium of the main insulation (generally paper);

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 373 „Determination of sulfur content - Oxidative microcoulometry method”;

LEK 002 *“Elektrostaciju, tīklu un lietotāju elektroietaišu tehniskā ekspluatācija”;*

LVS EN 60076-1 *„Spēka transformatori 1. Daļa: Vispārīgi”;*

LVS EN 60076-2 *„Spēka transformatori 2. Daļa: Temperatūras pieauguma noteikšana šķidruma transformatoros”;*

LVS EN 60156 *„Izolējoši šķidrumi. Caurisies 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 60296 *“Elektrotehniskie šķidrumi - Nelietotas izolējošas minerāleļļas transformatoriem un komutācijas aparāturai”;*

LVS EN 60422 *“Izolējošās elektroiekārtu minerāleļļas. Norādījumi uzraudzībai un uzturēšanai”;*

LVS EN 60475 *“Izolējošo šķidrumu paraugu ņemšanas metode”;*

LVS EN 60567 *“Ar eļļu pildītās elektroiekārtas. Gāzes un eļļas paraugu ņemšana brīvu un izšķīdušu gāzu analīzei. Norādījumi”;*

LVS EN 60567 *“Ar eļļu pildītās elektroiekārtas. Gāzes un eļļas paraugu ņemšana brīvu un izšķīdušu gāzu analīzei. Norādījumi”;*

LVS EN 60599 *“Ar minerāleļļu eļļota elektroiekārta ekspluatācijā - Instrukcija izšķīdušo un brīvo gāzu analīžu rezultātu interpretēšanai”;*

LVS EN 60666:2010 *„Specifcētu piedevu konstatēšana un noteikšana izolējošajās minerāleļļās (IEC 60666:2010)”;*

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 61181 *„Ar minerāleļļu pildītās elektroiekārtas. Izšķīdušo gāzu analīzes izmantošana elektroiekārtu testēšanai ražotnēs”;*

LVS EN 61198 *„Izolējošas minerāleļļas - 2-furfurola un saistītu maisījumu noteikšanas metodes”;*

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

LVS EN 62535 *„Izolējošie šķidrumi. Testēšanas metode potenciāli korozīvā sēra noteikšanai lietotā un nelietotā izolējošā eļļā (IEC 62535:2008)”;*

LVS EN ISO 2719 *„Uzliesmošanas temperatūras noteikšana - Penska-Martena slēgtā tīģeļa metode”;*

LVS ISO 3016 *„Naftas produkti - Sastingšanas punkta noteikšana”;*

LVS EN ISO 3104 *„Naftas produkti - Caurredzami un necaurredzami šķidrumi - Kinemātiskās viskozitātes noteikšana un dinamiskās viskozitātes kalkulācija”;*

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

LVS EN 61125 „Uz ogļūdeņraža bāzēti nelietoti izolējoši šķidrumi - Izturības pret oksidēšanas novērtēšanas testa metodes”;

LVS EN ISO 12185 „Nafta un naftas produkti - Blīvuma noteikšana - Oscilējošās U-veida caurules metode”;

LVS EN ISO 14596 „Naftas produkti. Sēra saturs noteikšana. Viļņu garuma dispersīvā rentģenfluorescences spektroskopijas metode”;

ГОСТ 981 (GOST 981) „Масла нефтяные. Метод определения стабильности против окисления”;

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

ГОСТ 6307 (GOST 6307) „Нефтепродукты. Метод определения наличия водорастворимых кислот и щелочей”;

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”;

РД 34.45-51.300-97 (RD 34.45-51.300-97) “Объем и нормы испытаний электрооборудования”;

СОУ-Н ЕЕ 46.501 (SOU-N ЕЕ 46.501) „Диагностика маслonaполненного трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа свободных газов, отобранных из газового реле и газов, растворенных в изоляционном масле.”.

Energostandartā lietotas nedatētas atsauces uz izstrādē izmantotajiem un piemērojamiem standartiem un tehniskajiem normatīviem. Pielietojot energostandartu jāvadās no aktuālajām standartu un tehnisko normatīvu prasībām.

3. Energostandartā pielietotie saīsinājumi

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

БТА – benotriazols

CH₄ – metāns

C₂H₂ – acetilēns

C₂H₄ – etilēns

C₂H₆ – etāns

C₃H₆ – propilēns

C₃H₈ – propāns

CO – oglekļa oksīds

CO₂ – oglekļa dioksīds

Cu – varš

Cu₂S – vara sulfīds

ECT – elektromagnētiskas izlādes tendence

DBP – 2,6 di-terc-butil-fenols

DBPC – 2,6 di-terc-butil-parakrezols

DI – daļējas izlādes

DMSO – dimetilsulfoksīdu

H₂ – ūdeņradis

GHA – Gāzes hromatogrāfiska analīze

ITF – Eļļas virsmas spraigums (Interfacial tension)

KOH – Kālija hidroksīds

N₂ – slāpeklis

PCA – Policikliskas aromātiskas vielas

PCB – Polihlorbifenili

O₂ – skābeklis

OD – transformatora dzesēšanas sistēmas (skatīt LVS EN 60076-2)

ODT₁ – temperatūrā, kas zemāka par 300 °C

T₂ – temperatūrā no 300 – 700 °C

T₃ – temperatūrā virs 700 °C

T_a – analīzes un izvērtēšanas periodiskums

TTA – 5 – metil – 1H – benzotriazols

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

2-FAL – 2 - Furfuols

v_i – i-tai gāzei relatīvā ātruma pieaugums

4. Terminoloģija

4.1.

transformatoru eļļa

šķidra izolējoša minerālu eļļa transformatoriem un citām līdzīgām elektriskajām iekārtām.

4.2. zemas temperatūras slēgiekārtu eļļa

šķidra minerālu izolējoša eļļa, kas paredzēta ārā uzstādīšanas slēgiekārtām, kuras izmanto klimatiskajās zonās ar ļoti zemām gaisa temperatūrām.

4.3.

izolējoša minerālu eļļa

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

4.4. piedevas

ķīmiskas vielas, kuras pievienotas izolējošai minerālu eļļai, lai uzlabotu tās noteiktus rādītājus.

4.5. antioksidanta piedevas

piedevas, kuras palielina minerālu izolējošu eļļu stabilitāti pret oksidāciju.

4.6. inhibitori

antioksidanta piedevas fenola un amīna tipa, piemēram, DBPC un DBP, kuras aprakstītas LVS EN 60666, kur DBPC - 2,6 di-terc-butil-parakrezols (DBPC) un 2,6 di-terc-butil-fenols (DBP).

4.7. pārējās antioksidantu piedevas

sēra un fosfora tipa piedevas.

4.8. pasivatori

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

4.9. inhibitoru nesaturoša eļļa

izolējoša minerālu eļļa, kura nesatur inhibitorus.

4.10. eļļas ar nelielu inhibitoru piejaukumu

minerāla izolējoša viela, kura satur mazāk par 0,08 % inhibitoru atbilstoši LVS EN 60666.

4.11. inhibitoru saturoša eļļa

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

4.12. neizmantotā izolējoša minerālu eļļa

piegādātāja piegādātā, jauna neizmantotā izolējoša minerālu eļļa.

5. Vispārīgi jautājumi

5.1. Iegādātām, uzglabātām vai iekārtu iepildīšanai paredzētām eļļām ir jābūt dokumentiem, kuros tiek apliecinātas eļļas īpašības, kvalitāte un pielietojšanas joma. Eļļas, kuru kvalitāte ir sliktāka par energostandartā noteikto, pielietot aizliegts.

5.2. Katrai saņemtai eļļas partijai ir jābūt kvalitātes sertifikātam, kurā doti piedāvātās eļļas testēšanas parametri, kuri nedrīkst būt sliktāki par 8.1. tabulā norādītajiem.

5.3. Enerģētiskās iekārtās jālieto eļļas, kuras nosaka iekārtas izgatavotājrūpnīca, vai arī eļļas ar līdzīgām īpašībām, šajā gadījumā atļauju eļļas lietošanai jādod tehniskajam vadītājam.

5.4. Eļļu sajaukšana:

5.4.1. Eļļu papildināšanai vai nomaiņai drīkst izmantot viena ražotāja šim energostandartam atbilstošas eļļas. Eļļas, kuras satur vienādas piedevas vai arī piedevas nesatur nemaz, drīkst sajaukt jebkurā proporcijā.

5.4.2. Lēmumu par dažādu ražotāju eļļu vai viena ražotāja eļļu ar atšķirīgām piedevām sajaukšanu pieņem tehniskais vadītājs. Pirms eļļu sajaukšanas un iepildīšanas iekārtā jāveic to saderības pārbaudes:

- 1) stabilitāte pret oksidēšanos saskaņā ar metodi LVS EN 61125;
- 2) savstarpējās reakcijas produktu veidošanās saskaņā ar VGB-S-169-11-2015-11-EN.

Šaubu gadījumos par eļļu atbilstību sajaukšanai, jāgriežas pie eļļas piegādātāja. Eļļas saderības pārbaudē eļļas jāsalej tādā proporcijā, kādā tās tiks izmantotas ekspluatācijā, bet, ja tas nav zināms, tad - 50%/50%.

Pēc eļļu sajaukšanas ieteicams noteikt parametrus, kas aprakstīti 8.1. tabulas p. 4, 5, 6, 8, 9, 10, 17. pārbaudi. Eļļas maisījuma kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par papildināmās eļļas kvalitāti. Sajaukšana notiek ar eļļu, kuras kvalitātes rādītāji ir labāki. Atsevišķos gadījumos bez saderības pārbaudes vienu reizi līdz 5 % atļauts sajaukt ar lietotu eļļu, kas pēc LVS EN 60422 atbilst novērtējumam „labi”. (*Izmainīta redakcija, izm. 1*)

5.4.3. Aizliegts sajaukt **sekojošas** transformatoru eļļas:

5.4.3.1. eļļu ar gāzes veidošanas tendenci (skatīt p. 5.9.2.21.) ar eļļu bez gāzes veidošanas tendences.

5.4.3.2. eļļu ar gāzes ar elektromagnētiskas izlādes tendenci (ECT), ar eļļu bez elektromagnētiskas izlādes tendences (ECT).

5.4.3.3. eļļu ar korozīvo sēru vai potenciāli korozīvo sēru ar eļļu bez korozīvā sēra vai bez potenciāli korozīvā sēra.

5.4.3.4. eļļu ar korozīvo sēru ar eļļu kura satur potenciāli korozīvo sēru.

5.5. Elektrostacijās un elektriskajos tīklos jābūt transformatoru eļļu rezervei, kuras daudzumu, glabāšanas un izmantošanas kārtību nosaka tehniskais vadītājs. Rezerves eļļas kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par 8.2. tabulā norādīto.

5.6. Rezervuāros svaiga transformatora eļļa glabājas atsevišķi no lietotās transformatora eļļas. Aizliegts glabāt vienā tvertnē dažādu marku transformatoru eļļas. Gadījumos pēc pozitīva „stabilitātes pret oksidēšanos” testa pārbaudes slēdziena saņemšanas, atbilstoši 8.1. tabulas p. 16., ar tehniskā vadītāja atļauju vienā tvertnē atļauts glabāt svaigu eļļu maisījumu, kas satur ne vairāk kā divas eļļas. Šajā gadījumā jāņem vērā arī antioksidanta piedevas saturs eļļās.

5.7. Ar transformatora eļļu pildītu iekārtu klasifikācija un eļļu pielietošana.

5.7.1. Iekārtu iedalījums atkarībā no darba sprieguma un izpildāmām funkcijām norādīts 5.1. tabulā.

5.1. tabula

Ar eļļu pildīto iekārtu klasifikācija

Iekārtu grupa	Iekārtas nosaukums un izpildāmās funkcijas	Iekārtas spriegums	Piezīmes
A	Spēka transformatori	330kV	
B1	Spēka transformatori	110kV	jauda > 63 MVA, (Izmainīta redakcija, izm.1)
B2	Spēka transformatori	110kV	jauda ≤ 63MVA
C1	Spēka transformatori	= vai < 20 kV	jauda > 10 MVA
C2	Spēka transformatori	= vai < 20 kV	jauda = 1-10MVA
	Bustertransformatori	= vai < 20 kV	jauda =1-10MVA
C3	Spēka transformatori	= vai < 20 kV	jauda <1MVA
C4	Eļļas jaudas slēdži	110kV	
D	Mērmaiņi	330kV	
E	Mērmaiņi	110kV	
G1	Mērmaiņi	= vai < 20 kV	ražoti atbilstoši GOST prasībām
G2	Mērmaiņi	= vai < 20 kV	ražoti atbilstoši IEC prasībām
F	Pakāpjslēdži, kontaktori (ieskaitot kombinētos)		
H1	Lieltipuma jaudas slēdži	20-35 kV	
H2	Maztipuma jaudas slēdži	20-35 kV	

5.7.2. Jaunas A, B, D, E, un G grupas elektroiekārtas un caurvadi, ka arī C1 un C2 grupas elektrostaciju pašpatēriņa transformatori jāpilda tikai ar svaigu, ekspluatācijai sagatavotu transformatora eļļu, prasība attiecināma arī uz iekārtām, kurām eļļa tiek uzpildīta jau rūpnīcā.

Pēc remonta ar eļļas noliešanu A, B, un C grupas elektroiekārtās atļauts iepildīt lietotu transformatora eļļu, kuras kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par 8.2. tabulā norādīto.

5.7.3. Ar lietotu transformatoru eļļu atļauts uzpildīt:

5.7.3.1. F un H grupu iekārtas, ka arī C grupas iekārtu, ņemot vērā p. 5.7.2. norādījumus.

5.7.3.2. papildināt A, B, C, F un H un C grupu iekārtas.

5.7.3.3. sagatavotas papildināšanai eļļas kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par 8.2. tabulā norādīto.

5.8. Eļļu klasifikācija

5.8.1. Eļļu klasifikācija pēc antioksidantu satura:

5.8.1.1. antioksidantu nesaturošas eļļas, (dokumentos apzīmētas ar “U”);

5.8.1.2. daļēji antioksidantu saturošas eļļas, - antioksidantu saturs līdz 0.08 %, (dokumentos apzīmētas ar “T”);

5.8.1.3. antioksidantu saturošas eļļas, - antioksidantu saturs no 0.08 % līdz 0.40 %, (dokumentos apzīmētas ar “I”).

5.8.2. Eļļu klasifikācija pēc zemākās iekārtas ieslēgšanas temperatūras (LCSET)

Atkarībā no inhibitoru satura eļļās mainās eļļas zemākā iekārtas ieslēgšanas temperatūra, viskozitāte un sastingšanas temperatūra (skatīt 5.2. tabulu).

5.8.3. Eļļu klasifikāciju pēc gāzu veidošanās tendences skatīt p. 5.9.2.21..

5.8.4. Eļļu klasifikācija pēc elektromagnētiskas izlādes tendences (ECT):

Transformatoru eļļu ar elektromagnētiskas izlādes tendenci (ECT) (skatīt p. 5.9.2.20.) aizliegts pielietot transformatoros ar eļļas piespiedu cirkulāciju.

5.8.5. Eļļu klasifikācija pēc korozīvā sēra vai potenciāli korozīvā sēra satura eļļā

5.2. tabula

Transformatoru eļļas maksimālā viskozitāte un sastingšanas temperatūra atkarībā no eļļas zemākās ieslēgšanas temperatūras (LCSET)

LCSET °C	Maksimālā viskozitāte mm ² /s	Maksimālā sastingšanas temperatūra °C
0	1800	-10
-20	1800	-30
-30	1800	-40
-40	2500	-50

Ražotāji izgatavo transformatoru eļļu ar -30 °C LCSET. Gadījumā, ja nepieciešama eļļa ar zemāku sastingšanas temperatūru, tas ir jānorāda pasūtījuma tehniskajā specifikācijā.

Atkarībā no sastingšanas temperatūras minerālās izolācijas eļļas iedala:

- transformatoru eļļa,
- zemas temperatūras jaudas slēdžu eļļa.

5.9. Eļļu kvalitātes pārbaudes

5.9.1. Atkarībā no pārbaudes mērķiem un iegūtās informācijas no iepriekš veikto analīžu rezultātiem, eļļu kvalitātes pārbaudes tiek iedalītas četrās grupās (skatīt 5.3. tabulu).

5.3. tabula

Transformatoru eļļas pārbaudes

Grupa	Nosaukums	Pārbaudes parametra Nr.	Pārbaudes references metode*
	Pilnās pārbaudes (1A + 1B)		
1A	Saīsinātā analīze		
	Caurspīdība	1A-1	vizuāli
	Caursišanas spriegums	1A-2	LVS EN 60156
	Ūdens saturs	1A-3	LVS EN 60814
	Skābes skaitlis	1A-4	ISO 6618, LVS EN 62021-1 vai GOST 5985
	Ūdeni šķīstošo skābju un bāzu saturs/ūdens izvilkuma reakcija	1A-5	GOST 6307, ISO 6618
	Eļļas tīrības klase, mehāniskie piemaisījumi	1A-6	ISO 4406, LVS EN 60970
1B	Papildus analīzes		
	Uzliesmošanas temperatūra	1B-7	LVS EN ISO 2719
	Blīvums 20°C	1B-8	LVS EN ISO 3675 vai LVS EN ISO 12185
	Dielektrisko zudumu leņķa tangenss $\tan \delta$ un īpatnējā pretestība	1B-9	LVS EN 60247
	Krāsa	1B-10	vizuāli
2	Transformatoru eļļā izšķīdušās gāzes (GHA)		ASTM D3612
3	Speciālas pārbaudes**		
	Antioksidantu saturs	3-1	LVS EN 60666
	Viskozitāte	3-2	LVS EN ISO 3104
	Furānu koncentrācija	3-3	IEC 61198
	Sastingšanas temperatūra	3-4	LVS ISO 3016
	Virsmas spraigums	3-5	ASTM D971
	Stabilitāte pret oksidēšanos	3-6	LVS EN 61125 (<i>Izmainīta redakcija, izm.1</i>)
	Sēra kopējais daudzums		IP 373; LVS EN ISO 14596
	Korozīvais sērs kopējais daudzums	3-7	DIN 51353
	Potenciāli korozīvs sērs		LVS EN 62535
	Metālu pasivatoru daudzums		LVS EN 60666
	Nosēdumi un duļķes	3-8	skatīt 2. pielikumu
4	Vides normatīvu pārbaudes		
	Polihlorbifenilu (PCB) koncentrācija	4-1	LVS EN 61619
	Policiklisko aromātisko vielu (PCA) koncentrācija	4-2	BS 2000-346

Piezīme*: pārbaudes references metode var mainīties atbilstoši normatīviem dokumentiem, pielietojamo metodi un metožu maiņu apstiprina tehniskais vadītājs;

Piezīme:** speciālas pārbaudes – ļauj pilnīgāk izvērtēt eļļas tehnisko stāvokli, lēmumu par nepieciešamību pieņemt tehniskais vadītājs.

5.9.2. Eļļas kvalitātes rādītāju īss apraksts

5.9.2.1. Eļļas krāsa un caurspīdība (izskats)

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

5.9.2.2. Eļļas caursišanas spriegums

Caursišanas spriegums ir kompleksais eļļas kvalitātes rādītājs, kas atkarīgs no citiem rādītājiem - piesārņojuma līmeņa, ūdens daudzuma, dielektriskiem zudumiem un eļļas oksidēšanās stadijas. Zems caursišanas spriegums liecina par vienu vai vairāku šo rādītāju pasliktināšanos. Caursišanas sprieguma līmenis atkarīgs no temperatūras paraugu ņemšanas laikā (skatīt p. 5.9.2.3.). Testēšanas pārskatā pēc pasūtītāja pieprasījuma jābūt sekojošai informācijai:

- a) elektrostacijas transformatoriem ar spriegumu 110 kV un augstāk un pašpatēriņu transformatoriem ar jaudu virs 10 MVA visas caursites sprieguma rezultāti, pārējai iekārtai pēc pieprasījuma
- b) vidējais caursites spriegums,
- c) atkāpes no vidēja lieluma (dispersija), tikai transformatoriem norādītiem p. 5.9.2.2 a)¹, ka arī nenoteiktība.

Piezīme : gadījumā, ja pielidota iekārta ir automātiskas aprēķinu opcija.

5.9.2.3. Ūdens saturs eļļā

Jaunam transformatoram mitruma 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. Lielākais ūdens daudzums atrodas papīrā. 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 celulozes un eļļas novecošanās rezultātā. Atkarībā no mitruma daudzuma gaisā, no izolējošās sistēmas temperatūras un no eļļas stāvokļa, mitruma saturs eļļā iespaido:

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

Ūdens saturs eļļās 8.1., 8.2., 8.3. un 8.4. tabulās noteikts pie temperatūras 20 °C.

Nosakot ūdens saturu strādājošā iekārtā nepieciešams veikt eļļā noteiktā ūdens satura korekciju, izmantojot 5.4. tabulā vai 5.1. attēlā dotos korekcijas koeficientus.

Korekcijas koeficientu temperatūrām atšķirīgām no 5.4. tabulā vai 5.1. attēlā dotajiem var aprēķināt pēc formulas:

$$K_{kor} = 2.24e^{-0.04 \cdot t_{e\ell\ell a}}$$

kur:

K_{kor} – korekcijas koeficients;

$t_{e\ell\ell a}$ – eļļas temperatūra °C

Piezīme 1: Koriģētās vērtības ir derīgas tikai atšķirīgās temperatūrās iegūtu eļļas paraugu rezultātu salīdzināšanai. Ūdens saturs eļļā ir faktiskās izmērītās vērtības, nevis koriģētās.

Piezīme 2: Šī formula nav izmantojama, ja eļļas temperatūra ir zemāka par 20 °C.

Transformatoru izvadu eļļas temperatūru °C var aprēķināt pēc formulas:

$$t_{izvadu} = 0.66t_{e\ell\ell a} + 0.34t_{gaiss}$$

kur:

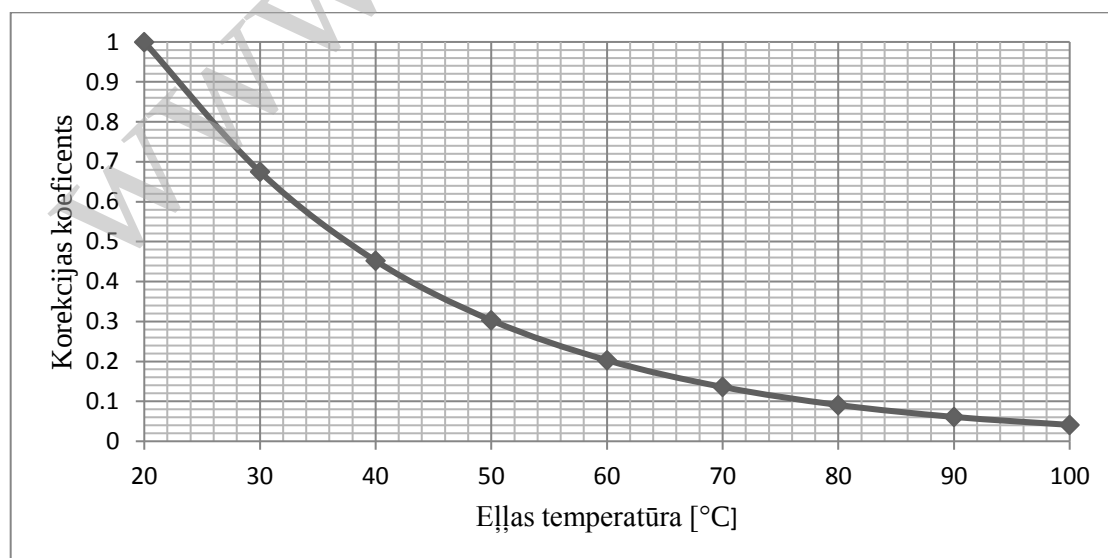
$t_{e\ell\ell a}$ – transformatora augšējo slāņu eļļas temperatūra °C;

t_{gaiss} – apkārtējās vides gaisa temperatūra °C. (Izmainīta redakcija, izm.1)

5.4. tabula

Transformatora eļļā izšķīdušā ūdens saturs korekcijas koeficienti atkarībā no eļļas temperatūras (Izmainīta redakcija, izm.1)

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



5.1. attēls - Transformatora eļļā izšķīdušā ūdens saturs korekcijas koeficienti atkarībā no eļļas temperatūras (Izmainīta redakcija, izm.1)

Piemērs:

- 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 Myera koeficientu iespējams izvērtēt mitruma saturu transformatora cietajā izolācijā (skatīt 3. pielikumu).

Mitruma satura transformatora cietajā izolācijā robežvērtības:

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

Ja eļļas temperatūra ir zemāka par 20 °C ir jāpielieto atšķirīga pieeja analīžu rezultātu interpretēšanai.

Ūdens šķīdība tipiskai, izolācijas minerāleļļai ir nosakāma pēc formulas:

$$\text{Log}W_s = 7,0895 - \left(\frac{1567}{T}\right),$$

kur

W_s – ir šķīdība ūdenī neizmantotā transformatoru eļļā [ppm];

T – absolūtā eļļas temperatūra [K]

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

Piemērs:

- 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) $\text{Piesātinājums [\%]} = \left(\frac{10}{53,186}\right) \cdot 100 = 18,8\%$. (Izmainīta redakcija, izm.1)

5.5. tabula

Vadlīnijas iegūtā ūdens piesātinājuma [%] rezultātu interpretācijai (*Izmainīta redakcija, izm.1*)

Ūdens piesātinājums [%] eļļā	Celulozes izolācijas stāvoklis
≤ 5	Sausa izolācija
$> 5, \leq 20$	Mēreni mitra izolācija, mazāki skaitļi līdz vidus līmenim norāda, ka izolācija ir diezgan sausa. Vērtības tuvāk augšējam līmeni norāda ka izolācija ir mēreni mitra.
$> 20, \leq 30$	Mitra izolācija
> 30	Ļoti slapja izolācija

5.9.2.4. Eļļas 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 līmenis paaugstināšanās ir labs novecošanās ātruma rādītājs. Skābuma līmenis ir vispārīgs rādītājs, kas palīdz noteikt, kad ir nepieciešama eļļas maiņa vai reģenerācija. Kopumā inhibētās eļļas skābumam nav ievērojami jāpaaugstinās, salīdzinot ar tā sākotnējo vērtību, pieņemot, ka inhibitora daudzums ir pietiekams.

5.9.2.5. Dielektrisko zudumu leņķa tangenss ($\tan \delta$) eļļā

Dielektrisko zudumu koeficienta noteikšana ir noteiktai temperatūrai, frekvencei un spriegumam vai elektriskā lauka intensitātei atbilstošu dielektrisko zudumu mērīšana. Dielektriskos zudumus raksturo ar zudumiem leņķa tangensu. Šis parametrs ir ļoti jutīgs pret eļļas novecošanas, samitrināšanos, kā arī piesārņojuma līmeņa izmaiņām. Dielektriskie zudumu mērījumu rezultāti ir atkarīgi no temperatūras. Dielektriskiem zudumiem eļļās pievēršama īpaša uzmanība mērmaiņos – dažu tipu eļļas īsā oksidēšanās laikā var dot ievērojamu zudumu palielinājumu un iekārtas atteici.

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

5.9.2.6. Eļļas stabilitāte pret oksidēšanos

Tā ir eļļas noturība pret oksidēšanas procesu temperatūras, skābekļa un katalizatoru klātbūtnē. Nosakot eļļas stabilitāti var novērtēt arī eļļas kalpošanas laiku.

5.9.2.7. Eļļas piedeva-antioksidanti

Eļļas bez piedevām novecojas ātrāk, kā rezultātā pieaug skābes skaitlis, veidojas šķīstošas un nešķīstošas nogulsnes. Eksploatācijā esošām eļļām, kā arī pēc eļļu apstrādes, svarīgi noteikt antioksidantu koncentrāciju, jo sevišķi, ja pieaug skābes skaitlis un parādās duļķes.

Transformatoru 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.

Neinhibitētu eļļu oksidēšanās parasti tiek uzraudzīta, pievēršot uzmanību skābju savienojumu formācijai un eļļā šķīstošiem un nešķīstošiem dubļiem. Arī dielektrisko zudumu leņķa tangenss pieaugums un IFT samazinājums liecina par izolējošo eļļu oksidēšanu.

Inhibitētu eļļu oksidēšanās reakcija atšķiras no neinhibitētu eļļu oksidēšanās. Eksploatācijas 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 stabilitāti.

Inhibitoru patēriņu uzrauga veicot inhibitoru koncentrācijas mērīšanu.

Inhibitoriem iesaistoties oksidēšanas reakcijā izveidojas oksidēšanas produkti.

5.9.2.8. 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 eksploatācijas 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 nogulsnējas.

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

5.9.2.9. Eļļas virsmas spraigums (Interfacial tension – 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. Pārslogotiem transformatoriem notiek materiālu paātrināta novecošanās un virsmas sprauguma pazemināšanās var liecināt par bojājuma rašanos iekārtā. Sākotnējos novecošanās posmos šis rādītājs strauji mainās, vidējā novecošanās līmenī (posmā) rādītāji izlīdzinās.

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

5.9.2.10. Eļļas 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 rašanos ar zemu molekulāro masu rašanos tādos daudzumos, kas izraisa eļļas uzliesmošanas temperatūras pazemināšanos, radot ugunsgrēka draudus.

5.9.2.11. Eļļas tīrība

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 (metāliskās daļiņas, šķiedras, dubļi u. c.) un to ūdens satura. Dažas sēru saturošās molekulas var arī izraisīt vara sulfīda (Cu_2S) veidošanos un nogulsnešanos papīra izolācijā. Šī procesa rezultātā pasliktinās elektroizolācijas īpašības (skatīt p. 5.9.2.16.).

5.9.2.12. Blīvums

Eļļas blīvums var būt nozīmīgs piemērotības rādītājs 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 šķidrumiem.

5.9.2.13. Eļļas viskozitāte

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

5.9.2.14. Eļļas sastingšanas temperatūra

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.

5.9.2.15. Sērs transformatoru eļļā

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

5.9.2.16. Korozīvais sērs eļļā

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

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

5.9.2.17. Pasivatori

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

Daži no pasivatoriem aizsargā eļļu no metālu katalītiskās 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 elektrostatisko uzlādi.

Pamatā kā pasivatoru piedevas tiek izmantoti trīs benzotriazoles atvasinājumi:

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

Atsevišķas citas piedevas arī var tikt izmantotas, ka 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.

Tomēr šo piedevu noteikšanas un mērīšanas metodes nav aprakstītas IEC standartos (2013. gads).

5.9.2.18. Polihlorbifenili (PCB) eļļā

Šobrīd svaigās transformatoru eļļās nedrīkst būt polihlorbifenili (PCB). Šai piedevai ir ideālas dielektriskās īpašības, ļoti augsta uzliesmošanas un pašizdegšanās

temperatūra, zems ūdens saturs un izturība pret novecošanos, taču tā ir toksiska, tādēļ PCB ir aizliegts pielietot transformatoru eļļās kā piedevu. Tā kā PCB tika pielietoti eļļās vairāk nekā 40 gadus, pastāv iespēja, ka šīs vielas vēl atrodas ekspluatācijā esošo transformatoru eļļās, tādēļ strādājot ar veco transformatoru eļļām ir jābūt informācijai par PCB esamību, kā arī jāievēro visi darba drošības pasākumi.

PCB būtiski paaugstina eļļas dielektriskās īpašības, bet ir ļoti toksiski savienojumi. Pašlaik pielietojamām minerāleļļām jābūt tīrām no PCB. Kopš 1986. gadā pieņemtās starptautiskās vienošanās, to lietošana jaunās ražotnēs un aprīkojumā ir aizliegta. Maksimāli pieļaujamo PCB koncentrāciju eļļās nosaka atbilstošā nacionālā likumdošana. Agrāk šī prasība nebija, tādēļ ir varbūtība, ka ekspluatācijā esošo transformatoru eļļa varētu saturēt PCB virs pieļaujamās robežas. Pirms transformatoru eļļas utilizācijas, PCB esamību un koncentrācijas noteikšanu jāveic eļļas utilizācijas veicējam un, ņemot vērā analīzes rezultātus, utilizācija jāveic ievērojot atbilstošās drošības prasības. Īpaši jāpievērš uzmanības personāla drošībai, lai nepieļautu eļļas, kuras sastāvā ir PCB, saskarsmi ar cilvēka ādu un netiktu ieelpoti šādas eļļas tvaiki.

5.9.2.19. Policikliskas aromātiskas vielas (PCA) eļļā

Dažas PCA vielas tiek klasificētas kā kancerogēnas - to koncentrācija minerālās izolācijas eļļās nedrīkst pārsniegt standartā pieļaujamo līmeni.

5.9.2.20. Elektromagnētiskas izlādes tendence (ECT).

Atsevišķos transformatoros ar piespiedu eļļas cirkulāciju (dzesēšanas sistēma ar eļļas sūkņiem) eļļā veidojas elektriskie bīstami lādiņi, kuru izlādes rezultātā var bojāties transformators. Izlādes jaudas lielums var samazināt izmantojot metālu pasivatorus.

5.9.2.21. Gāzu veidošanās tendence

Gāzu veidošanās minerāleļļā - eļļas gāzes absorbcijas rādītājs, kad tā tiek pakļauta koronaizlādei, tas ir svarīgs un nozīmīgs process iekārtām ar eļļas piespiedu cirkulāciju. Tā ir gāzes absorbcijas vai veidošanās robežvērtība eļļā noteiktos laboratorijas apstākļos. Gāzes absorbcēšanas īpašība saistīta ar aromātisko vielu saturu eļļā. Gāzes veidošanās tendenci nosaka atbilstoši standarta IEC 60628:1985 metodei A.

5.9.2.22. Nejauša gāzu veidošanās eļļā

Eļļās var rasties dažādas gāzes - ūdeņradis, ogļūdeņraži, oglekļa oksīdi – pie zemas temperatūras (<120 °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 izšķīdušo gāzu analīzes GHA rezultāti.

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

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

5.9.2.24. Transformatoru eļļās izšķīdušo gāzu analīze (GHA)

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 : propilēnu un propānu nosaka atbilstoši pielietotās pārbaudes metodes iespējām.

- Izšķīdušo gāzu koncentrāciju eļļā izsaka ppm mērvienībās, t. i. izšķīdušo gāzu mikrolitru daudzums 1 litrā eļļas ($1\text{ppm}=1\mu\text{l/l}$);
- Kopējo gāzu saturu eļļā izsaka tilpuma procentos, tilp. %, t.i. izšķīdušo gāzu ml daudzums 100 ml eļļas.

5.10. Iekārtu defektu veidi

5.10.1. Iekārtu elektriskie defekti:

- Daļējas izlādes (DI) - koronizlādes, kas izraisa perforāciju (caursītes) veidošanos papīrā un nav viegli konstatējama;
- Zemas enerģijas izlāde eļļā un/vai papīrā (I_1) - lielākas nekā DI perforācijas caur papīru (caursītes), papīra virsmas koksēšanās vai oglekļa daļiņas eļļā (piemēram, darbojoties transformatora pārsprieguma aizsardzības sistēmai);
- Augstas enerģijas izlāde eļļā un/vai papīrā (I_2) - sekojoša strāvas caursīte, plaša papīra sagraušana un koksēšana, metāla kausēšana izlādes maksimumos, acīmredzama - eļļas koksēšanās, iekārtas atslēgšanās;

5.10.2. 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 $300 - 700^\circ\text{C}$ papīrs sāk koksēties, sadegt (T_2);
- Defekts, kad temperatūrā virs 700°C (T_3), ja konstatēta eļļas koksēšanās, metāla krāsas izmaiņas (800°C) un metāla kušana ($> 1000^\circ\text{C}$).

5.11. Transformatoru eļļā izšķīdušo gāzu iespējamie veidošanās iemesli:

- Eļļas sadalīšanās rezultātā – var rasties H_2 un $C_n H_m$ 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.

5.12. 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 $700\text{ }^{\circ}C$;
- etilēns (C_2H_4) – eļļas un papīra – eļļas izolācijas silšana pie temperatūras vairāk kā $600\text{ }^{\circ}C$;
- etāns (C_2H_6) – eļļas un papīra – eļļas izolācijas termiskā silšana temperatūras diapazonā no $300\text{ }^{\circ}C$ līdz $400\text{ }^{\circ}C$;
- metāns (CH_4) – eļļas un papīra – eļļas izolācijas silšana pie temperatūras diapazonā no $400\text{ }^{\circ}C$ līdz $600\text{ }^{\circ}C$;
- 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.

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.

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

6. Eļļas paraugu ņemšana, glabāšana, transportēšana

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

6.2. Ņemot eļļas paraugus, kā arī tos glabājot un transportējot, ir jāievēro eļļas un iekārtas izgatavotājrūpnīcas norādījumus un rekomendācijas.

6.3. Pirms parauga ņemšanas jānodrošina:

6.3.1. konkrētai iekārtai paredzētie un analīzei nepieciešamie eļļas ņemšanas, uzglabāšanas un transportēšanas darba rīki, instrumenti, palīgierīces, materiāli;

6.3.2. attiecīgu rezerves blīvju un detaļu esamību;

6.3.3. brigādes aptieciņa, dzeramais ūdens, personīgās higiēnas līdzekļi;

6.3.4. naftas produktu absorbents;

6.3.5. tilpne nederīgās eļļas savākšanai;

6.3.6. eļļas paraugu ievākšanai piemērotas tīras, sausas tumša stikla pudeles (tilpums 1-2 l) vai hromatogrāfijas analīzei stikla šļirces (tilpums 30-100 ml) ārkārtējā gadījumā atļauts ņemt analīzi plastmasas traukā;

6.3.7. jāizvērtē eļļas papildināšanas nepieciešamību pēc parauga ņemšanas un gadījumos, kad to pieprasa ekspluatācijas instrukcija vai līmenis samazināsies zem minimāli pieļaujamā līmeņa, nepieciešama eļļas rezerve papildināšanai pēc analīzes ņemšanas;

6.3.8. atsevišķi atkritumu maisi izlietoto lupatu un absorbenta savākšanai;

6.3.9. pēc parauga ņemšanas jāpārlicinās par eļļas teces vai sūces neesamību un nepieciešamības gadījumā jānodrošina tās likvidāciju.

6.4. Piemēroti apstākļi parauga ņemšanai ir sekojoši:

6.4.1. laika apstākļi bez nokrišņiem;

6.4.2. ieteicamais diennakts laiks eļļas ņemšanai ir pēcpusdiena, kad aparāts ir vissiltākais, bet eļļa – vismitrākā;

6.4.3. periodiskais vai kontroles 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, eļļā esošo mehānisko daļiņu un piemaisījumu nosēšanās, kā arī noteikti pirms eļļas papildināšanas vai maiņas;

6.4.4. atsevišķos gadījumos parauga ņemšana atļauta lietūs, miglas vai stipra vēja apstākļos, nepieciešams novērst eļļas samitrināšanos vai mehānisku piemaisījumu iekļūšanu tajā;

6.4.5. lai novērstu mitruma kondensēšanos paraugā, ņemamās eļļas temperatūrai jābūt augstākai par apkārtējā gaisa temperatūru, ja to nevar nodrošināt- nepieciešams uzsildīt parauga ņemšanas trauku virs apkārtējās vides temperatūras.

6.4.6. eļļas paraugu ņemšanu, glabāšanu un transportēšanu jāveic atbilstoši vietējām instrukcijām.

4. pielikumā norādīts piemērs eļļas parauga ņemšanai hromatogrāfiskai analīzei.

7. Eļļas un iekārtas kvalitātes pārbaudes periodiskums

7.1. Eļļas kvalitātes kontroles pārbaudes veic sekojošos gadījumos un daudzumos:

7.1.1. svaigas un reģenerētas eļļas pirms iepirkšanas no piegādātāja;

7.1.2. svaigas un reģenerētas eļļas pieņemšana no piegādātāja;

7.1.2.1. ja iepakojuma tilpums 1 m^3 un lielāks, paraugs tiek ņemts no katra iepakojuma;

7.1.2.2. ja tilpums mazāks par 1 m^3 - no katras piektās mucas.

7.1.3. no glabāšanā esošā eļļas rezerves tilpuma:

7.1.3.1. kārtējās pārbaudes: vienu reizi gadā;

7.1.3.2. pirms tā papildināšanas;

7.1.3.3. uzreiz pēc noliešanas;

7.1.3.4. pirms iepildīšanas iekārtā.

7.1.4. no ekspluatācijā esošas iekārtas pastāvīgi strādājošiem transformatoriem:

7.1.4.1. atbilstoši 7.1. un 7.2. tabulu prasībām;

7.1.4.2. transformatoriem pēc ilgstošā atslēguma lielākā, ka uz 1 mēnesi (31 diena) eļļas paraugu jāņņem:

- pirms ieslēgšanas;
- pēc 7 dienam pēc ieslēgšanas;
- pēc mēneša pēc ieslēgšanas;
- turpmāk atbilstoši p. 7.1.4.1..

7.2. Nepieciešamais minimālais transformatora eļļas kvalitātes pārbaudes apjoms pieņemot to no piegādātāja noteikts p. 8.1.1.2..

7.3. Pieņemot iekārtu ekspluatācijā, minimālais nepieciešamais transformatora eļļas kvalitātes pārbaudes apjoms pirms un pēc iepildīšanas iekārtā noteikts 8.2. un 8.3. tabulās. 330 un 110 kV sprieguma iekārtām kārtējās ekspluatācijas pārbaudes apjoms un periodiskums noteikti 7.1. tabulā, bet 6, 10 un 20 kV sprieguma iekārtām - 7.2. tabulā. Periodiskās pārbaudes apjoms atbilst 5.3. tabulā noteiktajai 1. grupai. C3 grupas transformatoriem atļauts neveikt ar 1B apzīmēto parametru kontroli.

7.4. Transformatora eļļas gāzu hromatogrāfiskās analīzes kontroli A, B un C1 grupas transformatoriem jāveic sekojošā periodiskumā: *(Izmainīta redakcija, izm.1)*

7.4.1. Strādājošiem transformatoriem eļļas GHA jāveic ne retāk kā vienu reizi 6 mēnešos;

7.4.2. No jauna ieslēgtajiem transformatoriem, transformatoriem pēc kapitālā remonta ar pilnu vai daļēju eļļas noliešanu un pēc pusgada atrašanās bez sprieguma GHA jāveic:

7.4.2.1. 3 diennakšu laikā no ieslēgšanas brīža;

7.4.2.2. pēc mēneša;

7.4.2.3. pēc 3 mēnešiem;

7.4.2.4. pēc 6 mēnešiem.

7.4.3. Transformatoriem, kuri atrodas konservācijā vai rezervē, GHA nav obligāta. Pēc ieslēgšanas pastāvīgā darbā GHA jāveic saskaņā ar p. 7.4.2..

7.4.4. Transformatoriem, kuriem tikusi veikta jebkura eļļas apstrāde, GHA jāveic:

7.4.4.1. pēc eļļas apstrādes;

7.4.4.2. pēc mēnesi pēc ieslēgšanas darbā;

7.4.4.3. pēc 3 mēnešiem;

7.4.4.4. pēc 6 mēnešiem.

7.4.5. Ja eļļa transformatorā papildināta par vairāk nekā 1% no kopējā apjoma, kontrole jāveic pēc mēneša.

7.4.6. Hidroelektrostaciju transformatoriem GHA jāveic ne retāk kā trīs reizes gadā:

7.4.6.1. palu perioda sākumā;

7.4.6.2. palu perioda beigās;

7.4.6.3. pirms ziemas sākuma no 15. līdz 30. oktobrim.

7.4.7. Termoelektrostaciju transformatoriem GHA jāveic:

7.4.6.1. trīs dienu laikā pēc katras transformatora ieslēgšanas darbā;

7.4.6.2. pēc mēnesi pēc ieslēgšanas darbā;

7.4.6.3. pirms katras transformatora atslēgšanas vai trīs dienu laikā no transformatora atslēgšanas brīža, bet ne retāk kā pēc 6 mēnešiem.

7.4.8. Caurvadizolatoriem, strāvmaiņiem un spriegummaiņiem GHA jāveic pēc nepieciešamības, ja ir konstatēta izolācijas pasliktināšanās.

7.4.9. Pēc defekta noteikšanas lēmumu par atkārtotu analīžu veikšanu pieņem tehniskais speciālists.

7.1. tabula

330 un 110 kV sprieguma iekārtu eļļas kārtējās ekspluatācijas pārbaudes apjoms un periodiskums^f

Nr.p.k.	Nosaukums	Pārbaudes periodiskums vienu reizi gados												
		A un B grupas tīklu iekārta				A un B grupas stacijas iekārta		A un B grupas iekārta konservācijā	Caurvadi ^a		D un E grupas iekārta ^g		C4 grupas iekārta	
		Tvertnē		Sprieguma regulējoša iekārta ^b										
		330kV	110kV	Kontaktors	Pakāpj pārslēdži	330kV	110kV		330kV	110kV	330kV	110kV	Balstos	Kamerās
1	Hromatogrāfiskā pārbaude	reizi 6 mēn.		-	-	atbilstoši pp. 7.4.6. un 7.4.7.			-	atkarībā no izolācijas stāvokļa				
2	Izskats	2	4	1	1	2	4	4	2	4	4	4	4	4
3	Caursišanas spriegums	2	4	1	1	2	4	4	2	4	4	4	4	4
4	Ūdens saturs	2	4	-	-	2	4	4	2	4	4	4	-	-
5	Skābes skaitlis	2	4	-	-	2	4	4	2	4	4	4	4	-
6	Dielektriskie zudumi pie 90 °C	2	4	-	-	2	4	4	2	4	4	4	-	-
7	Tīrības klase	2	4	-	-	2	4	4	2	4	4	4	-	-
8	Uzliesmošanas temperatūra	2	4	-	-	2	4	4	2	4	4	4	4	4

Nr.p.k.	Nosaukums	Pārbaudes periodiskums vienu reizi gados												
		A un B grupas tīklu iekārta				A un B grupas stacijas iekārta		A un B grupas iekārta konservācijā	Caurvadi ^a		D un E grupas iekārta ^g		C4 grupas iekārta	
		Tvertnē		Sprieguma regulējoša iekārta ^b										
						330kV	110kV		Kontaktrs	Pakāpi pārslēdži	330kV	110kV	330kV	110kV
9	Stabilitāte pret oksidēšanos ^c	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
10	Antioksidantu piedeva ^d (Izmainīta redakcija, izm.1)	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
11	Virsmas spraugums ^e (Izmainīta redakcija, izm.1)	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-

Piezīme^a: tikai nehermētiskiem caurvadiem;

Piezīme^b: pēc eļļas nomaiņas vienlaicīgi ar transformatoru eļļas pārbaudi (ja pakāpj slēdzis atrodas atsevišķā tvertnē);

Piezīme^c: ja pirms papildināšanas notikusi dažādu marku eļļu sajaukšana, caurvados, spriegummaiņos un strāvmaiņos dažādu marku eļļas sajaukšana nav pieļaujama;

Piezīme^d: jāveic gadījumos, ja transformatorā konstatēts oksidēšanās process, tika ievērota skābes skaitļa un tgδ palielināšanās, hromatogrāfiskajā analīzē noteiktās skābekļa/slāpekļa attiecības rezultāts ir mazāks par 0,3;

Piezīme^e: jāveic gadījumos, ja palielinās skābes skaitļa, tgδ vai mitruma daudzums;

Piezīme^f: rezervē esošai iekārtai 1A pārbaudes jāveic vienu reizi 6 mēnešos;

Piezīme^g: iekārtai ražotai atbilstoši IEC prasībām pārbaudes jāveic atbilstoši izgatavotājrūpnīcas rekomendācijām ;

7.2. tabula

**20, 10 un 6 kV sprieguma iekārtas transformatora eļļas kārtējas ekspluatācijas
pārbaudes apjoms un periodiskums**

N.p.k.	Nosaukums	Periodiskums, ne retāk kā vienu reizi ...gados ^{a;d;e}				
		Spēka nehermētiskie transformatori			Mērmaiņi	Jaudas slēdži
		C1 grupas tīklu iekārta, b	C2 grupas tīklu iekārta, b	C3 grupas tīklu iekārta,	G1 grupas iekārta	H1 grupas iekārta
1.	Hromatogrāfiskā pārbaude	pēc nepieciešamības		-	-	
2.	Izskats ^c	6	6	6	8	8
3.	Caursišanas spriegums	6	6	6	8	8
4.	Ūdens saturs	6	6	6 ^c	8 ^c	-
5.	Skābes skaitlis	6	6	6	8	8
6.	Dielektriskie zudumi pie 90°C	6	6	-	8	-
7.	Tīrības klase	6	6	6 ^c	8 ^c	8 ^c
8.	Uzliesmošanas temperatūra	6	6	6	8	-

Piezīme^a: 110-330 kV a/st un elektrostacijas pašpatēriņa transformatoriem jāveic vienu reizi 4 gados;

Piezīme^b: elektrostacijas pašpatēriņa transformatoriem jāveic vienu reizi gadā;

Piezīme^c: nosaka vizuāli;

Piezīme^d: G2 grupas iekārtai pārbaudes jāveic atbilstoši izgatavotājrūpnīcas rekomendācijām;

Piezīme^e: H2 grupas iekārtām eļļas maiņa jāparedz kopā ar atjaunošanas remontu.

7.4.10. Gadījumos, kad konstatēts būtisks gāzes koncentrācijas pieaugums (lielāks par 10 % no iepriekšējās analīzes rezultāta), kāda no degošās gāzes vai oglekļa oksīdu koncentrācijām pārsniedz robežu koncentrāciju vai noteiktā skābekļa/slāpekļa attiecība mazāka par 0,3, nepieciešams veikt atkārtotu GHA pārbaudi.

7.5. Furānu koncentrācijas noteikšana nepieciešama gadījumos, kad ir transformatora cietās izolācijas novecošanās pazīmes:

7.5.1. ar GHA noteiktā oglekļa oksīda vai oglekļa dioksīda koncentrācija sasniedz robežas koncentrācijas līmeni;

7.5.2. ar GHA noteiktā oglekļa oksīda vai oglekļa dioksīda koncentrācija sasniedz 70 % no robežas koncentrācijas līmeņa un noteiktā oglekļa oksīda/oglekļa dioksīda koncentrācijas attiecība ir lielāka par 16 vai mazāka par 5;

- 7.5.3.** ar GHA noteiktā attiecība skābeklis/slāpeklis ir mazāka par 0,3;
- 7.5.4.** noteiktā ūdens koncentrācija transformatora eļļā pie temperatūras 20 °C pārsniedz 20 -30 ppm;
- 7.5.5.** kaut viena no ar GHA noteikto degošo gāzu (ūdeņraža, etilēna, etāna, metāna, acetilēna) koncentrācijām sasniedz robežu koncentrāciju;
- 7.5.6.** transformatora tvertnes temperatūra ilgstoši pārsniedz 100 °C;
- 7.5.7.** bloka transformatoriem pēc 10 gadu ekspluatācijas.

Lēmumu par furānu koncentrācijas noteikšanu pieņem Tehniskais vadītājs.

7.6. Antioksidanta koncentrācijas noteikšana nepieciešama gadījumos, kad ar GHA noteiktā attiecība skābeklis/slāpeklis ir mazāka par 0,3.

8. Eļļas un transformatora kvalitātes rādītāji

8.1. Eļļas kvalitātes rādītāji

8.1.1. Svaiga transformatora eļļa:

8.1.1.1. pēc transformatora eļļas saņemšanas jāveic tās kvalitātes parametru pārbaude, eļļas parametriem jāatbilst 8.1. tabulā norādītajām prasībām;

8.1.1.2. pēc transformatora eļļas saņemšanas no transporta tilpuma jāņem paraugs un laboratorijā jāveic 8.1. tabulas pp. 5., 6., 7., 8., 9., 10., 11., 17 norādīto kvalitātes parametru pārbaude;

8.1.1.3. pārējie 8.1. tabulā norādītie kvalitātes rādītāji jāsalīdzina ar sertifikātā norādītajiem. Neskaidrību vai šaubu gadījumos jāveic laboratorijas pārbaudes.

8.1.1.4. gadījumos, kad kvalitātes rādītāji neatbilst 8.1. tabulā norādītajiem, jāveic atkārtotas pārbaudes laboratorijā;

8.1.1.5. pēc transformatora eļļas noliešanas glabāšanas tvertnē, atkārtoti jāpārbauda p. 8.1.1.2. norādītos kvalitātes rādītājus. Gadījumā, ja eļļa paredzēta glabāšanai transporta tvertnē, atkārtotas eļļas kvalitātes pārbaudes nav obligātas.

8.1.2. Lietotai transformatora eļļai pēc apstrādes kvalitātes rādītāji nedrīkst būt sliktāki par 8.2. tabulā norādītajiem.

8.1.3. Iepildīšanai vai papildināšanai sagatavotai svaigai un lietotai transformatora eļļai:

8.1.3.1. eļļas kvalitāte nedrīkst būt sliktāka par 8.2. tabulā norādīto;

8.1.3.2. pirms iepildīšanas no transporta tvertnes ar tilpumu virs 1 m² jāveic glabājošā tilpuma eļļas kvalitātes parametru noteikšanu. Gadījumā, ja kārtējās eļļas kvalitātes analīzes tika veiktas vismaz gadu atpakaļ, šī pārbaude nav obligāta;

8.1.3.3. esošās transformatora eļļas kvalitātes parametru pārbaudi jāveic pirms izbraukšanas uz objektu, gadījumā, ja tika izdarītas p. 8.1.1.2. noteiktās pārbaudes, jāveic tikai caursišanas sprieguma un ūdens satura kontrole;

8.1.3.4. gadījumā, ja transporta tvertnē eļļa tika uzglabāta vienu mēnesi, papildināta vai iztukšota par $\frac{3}{4}$ no tās tilpuma, pirms iepildīšanas iekārtā jāveic atkārtotas eļļas pārbaudes pilnā apjomā;

8.1.3.5. pirms iekārtas iepildīšanas no transporta tvertnes jāveic vizuāli 8.2. tabulā p. 14. norādīto eļļas pārbaudi.

8.1.4. Svaigas transformatora eļļas kvalitāte pēc iepildīšanas elektriskajās iekārtās nedrīkst būt sliktāka par 8.3. tabulā norādīto.

8.1.5. Lietotas eļļas kvalitātei pēc eļļas iepildīšanas rādītājiem jābūt ne sliktākai par 8.4. tabulā norādīto apmierinošo un daļēji apmierinošo rādītāju summu, kura dalīta ar 2.

8.1.6. Transformatoru eļļas ekspluatācijas pārbaudē ir noteiktas trīs kvalitātes parametru robežas:

8.1.6.1. kvalitāte apmierinoša, papildus pārbaude nav nepieciešama;

8.1.6.2. kvalitāte daļēji apmierinoša, ir nepieciešamas papildus veikt 5.3. tabulā noteiktās Speciālās pārbaudes (tabulas 3. sadaļa).. Grupas pārbaudes un samazināt periodu starp pārbaudēm. Lēmumu par papildus pārbaudes apjomu un periodiskumu pieņem tehniskais vadītājs.

8.1.6.3. kvalitāte neapmierinoša – tuvojas avārijas bojājums, nepieciešama iekārtas atslēgšana.

8.1. tabula

Svaigas transformatoru eļļas kvalitātes prasības

Parametrs	Mērvienība	Transformatora eļļa	Zemas temperatūras jaudas slēdžu (slēgiekārtu) eļļa
1. Viskozitāte pie 40 °C	mm ² /s	Max 12	Max 3,5
2. Viskozitāte pie -30 °C	mm ² /s	Max 1 800	-
3. Viskozitāte pie -40 °C	mm ² /s	-	Max 400
4. Sastingšanas punkts	°C	Max -40	Max -60
5. Ūdens saturs	ppm	Max. 30ppm ^a / 40ppm ^b	
6. Caursišanas spriegums	kV	Min30 /70 ^c	
7. Blīvums pie 20°C	g/cm ³	Max 0,895	
8. Dielektriskie zudumi pie 90°C tgδ	%	Max 0,5	
9. Izskats	-	Caurspīdīga , bez nogulsniem un suspendētām daļiņām	
Krāsa ^e atbilst ISO 2049 skalai	balles	Maks 2,0	

8.1. tabulas turpinājums

Parametrs	Mērvienība	Transformatora eļļa	Zemas temperatūras jaudas slēdžu (slēgiekārtu) eļļa
10. Skābes skaitlis	mgKOH/g	Max 0,01	
11. Tīrības klase	klase	13/10	
12. Virsmas spraigums	mN/m	Min 40	
13. Korozīvais sērs		Neesamība	
Sēra kopējais daudzums		Neesamība	
Koroziju izraisošs sērs		Neesamība	
Pasivatoru daudzums	mg/kg	Nenoteiktība (<5mg/kg)	
Furanu savienojumu koncentrācija	mg/kg	Nenoteiktība (<0,05mg/kg)	
14. Antioksidantu piedevas ^d 2.6-di tert-butyl-p-cresol (DBPC)	%	“U” – neinhibītai eļļai nenosaka “T”- daļēji inhibītai eļļai max 0,08 “I” – inhibītai eļļai 0,08- 0,40	
15. Furānu saturs	mg/kg	Max 0,1	
16. Stabilitāte pret oksidēšanos	st	“U” eļļa-164, “T” eļļa-332, “I” eļļa - 500	
16.1. Absolūtais skābums	mgKOH/g	1,2	
16.2. Dulķes	%	0,8	
17. Uzliesmošanas temperatūra	°C	Min 135	Min 100
18. PCA saturs (kancerogēni)	%	Max 3	
19. PCB saturs (polihlorbifenili)	mg/kg	Neesamība (< 2 mg/kg)	
20. Elektromagnētiska uzlāde (ECT)		Tendences neesamība	

Piezīme^a: piegāde lielā apjomā;

Piezīme^b: piegāde mucās;

Piezīme^c: pēc žāvēšanas;

Piezīme^d: AGIDOL vai citai eļļai kvalitāti nosaka eļļas ražotājs;

Piezīme^e: rekomendējams, nav obligāts

8.2. tabula

Iepildīšanai sagatavotas transformatora eļļas kvalitātes prasības pirms
iepildīšanas iekārtā

Parametrs	Mērvienība	Svaiga transformatora eļļa	Lietota transformatora eļļa
1. Sastingšanas punkts ^a	°C	< -40°	< -40°
2. Viskozitāte pie -30° C ^a	mm ² /s	Max 1 800	Max 1 800
3. Ūdens saturs	ppm	<5	<10
4. Caursišanas spriegums	kV	>70 ^b	>65 ^c
5. Blīvums pie 20° C	g/cm ³	≤ 0,895	≤ 0,900
6. Dielektriskie zudumi pie 90° C	%	≤ 0,5	≤ 1,0
7. Izskats	-	Caurspīdīga, bez nogulsniem un suspendētām daļiņām	
Krāsa ^a atbilst ISO 2049 skalai		Max 2,0	Max 2,0
8. Skābes skaitlis	mgKOH/g	≤ 0,01	≤ 0,05
9. Virsmas spraigums ^a	MN/m	≥ 40	≥ 35
10. Korozīvais sērs ^a		Neesamība	Neesamība
11. Antioksidantu piedevas 2.6-di tert-butyl-p-cresol (DBPC) ^a		Atbilstoši 8.1. tabulas p. 14. prasībām	Atbilstoši 8.1. tabulas p. 14. prasībām
12. Stabilitāte pret oksidēšanos ^a		Nekontrolē	Atbilstoši 8.1. tabulas p.16. prasībām
13. Uzliesmošanas temperatūra	°C	≥ 135	≥ 135
14. Tīrības klase	klase	13/10	14/11
15. PCB saturs ^a	mg/kg	Neesamība (< 2 mg/kg)	

Piezīme^a: ieteicams, nav obligāts.

Piezīme^b: C3, C4; un H2 grupas iekārtai 65 kV.

Piezīme^c: C3, C4; un H2 grupas iekārtai 60 kV.

8.3. tabula

Transformatoru eļļas kvalitātes prasības pēc iepildīšanas jaunā iekārtā

Parametrs	Mērvienība	20 kV	110 kV	330 kV
1. Izskats	-	Caurspīdīga, bez nogulsniem un suspendētām daļiņām		
2. Caursišanas spriegums	kV	> 55	> 60	> 60
Krāsa ^a atbilst ISO 2049 skalai	Balles	Nekontrolē	Maks. 2,0	Maks. 2,0
3. Ūdens saturs	ppm	≤ 20	≤ 10	<10
4. Skābes skaitlis	mgKOH/g	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
5. Dielektriskie zudumi pie 90°C	%	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,00
6. Virsmas spraigums ^a	MN/m	Nekontrolē	≥ 35	≥ 35
7. PCB satur ^b	mg/kg	Neesamība (< 2 mg/kg)		
8. Tīrības klase	klase	Nekontrolē	≤ 15/12	≤ 14/11
9. Stabilitāte pret oksidēšanos		Atbilstoši 8.1. tabulas p. 16. prasībām		

Piezīme^a: ieteicams, nav obligāts;

Piezīme^b: ja netika konstatēts pirms iepildīšanas, tad nekontrolē;

8.4.tabula

Ekspluatācijā esošas transformatoru eļļas kvalitātes prasības

Parametrs	Grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Piezīmes, rekomendācijas
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis	Daļēji apmierinošs līmenis	Neapmie- rinošs līmenis	Neapmie- rinošs līmenis	
Viskozitāte mm²/sek	A, B, C, D	≤12				Palielinājums nozīme eļļas novecošanas
1. Izskats	Visas	Caurspīdīga, bez redzama piesārņojuma		Tumša un duļķaina	Tumša un duļķaina	Tumša eļļa nozīmē ķīmisku novecošanos vai piesārņojumu.
2. Caursišanas spriegums, kV	A,D	>60	≥ 50	< 50	< 45	Daļēji apmierinošs- skatīt šīs tabulas pp. 3., 4., 5., 7. analīzu rezultātus, nepieciešamas biežākas pārbaudes. Neapmierinošs -nomainīt, vai reģenerēt eļļu.
	B,E	>50	≥ 40	< 40	< 35	
	C, H1	>40	≥ 30	< 30	< 25	
	F	Kontaktoriem, pakāpjslēdzēm neitrālē A, B, C grupu transformatoriem < 25 Vienfāzes pakāpjslēdzēm, A un B grupu transformatoriem < 40			< 25	
	G	< 30			< 25	
3. Ūdens saturs, ppm ¹⁾	A, D	<5	≤10	>10	>20	Daļēji apmierinošs- skatīt šīs tabulas pp. 2., 4., 5., 7. analīzu rezultātus. Neapmierinošs – nomainīt, vai reģenerēt eļļu. Noteiktajam mitruma daudzumam nepieciešama korekcija uz 20 °C atbilstoši 0. tabulai
	B, E	<5	≤15	>15	>30	
	C	<10	≤25			
	F	Tāpat kā transformatorā				
	G1	Vizuāli				
4. Skābes skaitlis, mgKOH/g	A, D	<0,1	≤0,15	>0,15	0,25	Liecina par eļļas novecojumu. Daļēji apmierinošs – nepieciešama duļķu un nosēdumu pārbaude (atbilstoši 2. pielikumam).
	B, E	<0,1	≤0,20	>0,20	0,25	
	C, H1	<0,15	≤0,25	>0,25	0,25	
	F	Nenosaka				
	G1	0,25				
5. Dielektriskie zudumi pie 90 °C, %	A	<6,0	≤8	>8,0	>8,0	Liecina par eļļas novecojumu. Daļēji apmierinošs – nepieciešams veikt eļļas reģenerāciju vai nomaiņu.
	B	<8,0	≤8	>8,0	>10,0	
	C	<8,0	≤15	>15,0	>15,0	
	D	<1,0	≤3	>3	>7,0	
	E	<5	≤8	>8,0	>10,0	
	F	Nenosaka				
	G1	> 15,0				

8.4. tabulas turpinājums

Parametrs	Grupa	Iekārta izgatavota saskaņā ar				Piezīmes, rekomendācijas
		IEC			GOST	
		Apmierinošs līmenis	Daļēji apmierinošs līmenis	Neapmie- rinošs līmenis	Neapmie- rinošs līmenis	
6. Virsmas spraigums, mN/m	A, B, C,D	>28 25	≥22 25	22 22	22 22	
	E, F, G	Nenosaka				
7. Tīrības klase ^a	A	<12/10	≤ 15/12	>15/12	>15/12	
	B	<14/11	≤ 16/13	>16/13	>16/13	
	D	<12/10	≤ 15/12	>15/12	>15/12	
	E	<14/11	≤ 16/13	>16/13	>16/13	
	C, F	Nenosaka				
	G1, H1	Vizuāli				
8. Antioksi-dantu piedevas	Visas	1) Inhibitoru koncentrācija (40-60%) no sākotnējās vērtības un skābes skaitlis ≤0.06 mg KOH/g eļļas, virsmas spraigums ≥30 mN/m			<0,1%	Jāatjauno antioksidanta koncentrāciju.
		2) Inhibitoru koncentrācija <(40%) no sākotnējās vērtības un skābes skaitlis >0.06 mg KOH/g eļļas, virsmas spraigums <30 mN/m				Jāatjauno antioksidanta koncentrāciju un jāapstrādā eļļu.
		3) Inhibitoru koncentrācija <0,05%				Jāpalielina eļļas pārbaudes biežumu.
9. Nosēdumi un duļķes, %	Visas	Neesamība. Rezultātu < 0,02 % no masas var neņemt vērā			< 0,005% no masas	Ja ir nosēdumi, nepieciešama eļļas fizikāla apstrāde. Ja ir duļķes, nepieciešama ķīmiska apstrāde. Nav periodiska pārbaude – jāveic, ja skābes skaitlis un tgδ tuvojās robežai apmierinošs.
10. Uzliesmo-šanas tempe-ratūra, °C	Visas	Pazemināšanās ne vairāk par 5°C salīdzinot ar iepriekšējo pārbaudi, bet ne mazāk par 125°C				Nepieciešams veikt, ja konstatēta neparasta smarža, iekšēja bojājuma rezultātā vai pēc eļļas papildināšanas.

Piezīme^a: Gadījumā, ja tas ir vienīgais parametrs, kurš pārsniedz ne vairāk par 2 pakāpēm kritērija vērtību neapmierinošs, atļauta turpmākā ekspluatācija samazināšot starppārbaudes periodiskumu. Lēmumu par analīzes veikšanas periodiskumu pieņem: pārsniegums par 1 vienu pakāpi – atbildīgie inženieru tehniskie darbinieki (elektrostacijās – staciju vadītājs), pārsniegums par 2 pakāpēm - Tehniskais vadītājs.

Piezīme 1: Daļēji apmierinošs- skatīt šīs tabulas pp. 2., 4., 5., 7. analīžu rezultātus. Neapmierinošs – nomainīt, vai reģenerēt eļļu. Noteiktajam mitruma daudzumam nepieciešama korekcija uz 20 °C atbilstoši punktam 5.9.2.3. (Izmainīta redakcija, izm.1)

8.5. tabula

Transformatoru eļļas parametru izmaiņas un transformatora bojājumi

Eļļas parametrs	Problēmas								
	Pārkarsēšana			Daļēja izlāde			Bojājumi hermētiskajā izolācijā		
	Serdē	Savienojums	Uztīšanas un dzesēšanas problēmas	Eļļa	Papīrs	Eļļas/papīra virsma	Membrānu atslēgšana	Eļļas noplūde	Ūdens iekļūšana
Skābums/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
Cauršites spriegums	L	M 3,12	H 4,6,12	H 11	M	H 5,6,12	M 6	M 7	H 8
Disipācijas faktors	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
Lēģenda									
Problēmu ietekme uz eļļas parametriem		Transformatora problēmas							
H = liela ietekme M = vidēja ietekme L = zema ietekme		1. Eļļas sabrukšana 2. Eļļas novecošana 3. Eļļas karbonizācija 4. Celulozes kārtas sabrukšana				5. Celulozes kārtas novecošana 6. Ūdens ražošana 7. Izšķīdināts gaiss 8. Brīvais ūdens		9. Ūdens, nogulumi, emulsija 10. Gāzes izdalīšana 11. Burbuļi 12. Daļiņas	

8.2. Iekārtas stāvokļa kvalitātes rādītāji

8.2.1. Hromatogrāfiskās analīzes rezultāti

8.2.1.1. Transformatora eļļā izšķīdušo gāzu robežu koncentrācijas kritēriji, pārsniedzot kurus, pastāv varbūtība, ka iekārtā sāk veidoties defekti, norādīti sekojošās tabulās:

- spēka transformatoriem - 8.6. tabulā;
- caurvadizolatoriem - 8.9. tabulā;
- mērmaiņiem – 8.11. tabulā.

8.2.1.2. Raksturīgo iekārtu defekti, kas atkarīgi no transformatora eļļā izšķīdušo gāzu koncentrācijas un to attiecībām, aprakstīti 0., 8.8., 8.10. tabulās.

Pēc gāzes relatīvā ātruma pieauguma nosaka defekta bīstamības pakāpi. Ja gāzes relatīvā ātruma pieaugums pārsniedz:

- transformatoram ar jaudu 63 MVA – 10 % mēnesī,
- transformatoram ar jaudu virs 80 MVA un lielāku – 5- 8 % mēnesī, tad tas norāda par transformatora defekta esamību un paātrinātu tā attīstību.

i-tai gāzei absolūto ātruma pieaugumu aprēķina pēc formulas:

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

kur:

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

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

i-tai gāzei relatīvā ātruma pieaugumu aprēķina pēc formulas:

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

8.2.1.3. Pēc gāzes relatīvā ātruma pieauguma nosaka defekta bīstamības pakāpi. Ja gāzes relatīvā ātruma pieaugums pārsniedz p. 8.2.1.2. norādīto lielumu, tad tas norāda par transformatora defekta esamību un paātrinātu tā attīstību.

8.2.2. Gadījumos, ja transformatora eļļā konstatētā furānu savienojumu koncentrācija lielāka par 4 mg/kg, kā arī furfurola koncentrācija lielāka par 2,5 mg/kg, tas liecina par papīra izolācijas sadalīšanos.

8.6. tabula

Robežu koncentrācijas 110-330 kV transformatoriem (Izmainīta redakcija, izm.1)

Iekārta	Gāzu koncentrācijas līmenis ⁴⁾	Gāzu koncentrācija, ppm									Degošo gāzu summa
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	CO	CO ₂	
Bijušā PSRS ražotajiem tīklu transformatoriem	1	<60	<45	<1	<15	<30			$< \frac{350^{1)}}{400}$	<1500	<100
	2	60-100	45-100	1-10	15-100	30-50			$\frac{350 - 500^{1)}}{400 - 600}$	$1500 - \frac{6000(2000)^{2)}}{8000(4000)}$	100-315
	3	>100	>100	>10	>100	>50	>40	>40	$> \frac{500^{1)}}{600}$	$> \frac{6000(2000)^{2)}}{8000(4000)}$	>315
Transformatoriem bez RZS ³⁾ , kas ražoti saskaņā ar IEC standartu prasībām	1	<60	<45	<1	<15	<20			<250	<1500	<100
	2	60-90	45-100	1-5	15-60	20-40			250-400	1500-3800	100-315
	3	>90	>100	>5	>60	>40	>40	>40	>400	>3800	>315
Transformatoriem ar RZS ³⁾ , kas ražoti saskaņā ar IEC standartu prasībām	1	<60	<45	<1	<15	<30			<250	<1500	<100
	2	60-100	45-100	1-10	15-70	30-50			250-400	1500-3800	100-315
	3	>100	>100	>10	>70	>50	>40	>40	>400	>3800	>315

Piezīme 1: CO skaitītājā vērtības uzrādītas transformatoriem ar slāpekļa vai plēves aizsardzību, bet saucējā – transformatoriem ar “brīvo elpošanu”.

Piezīme 2: CO₂ skaitītājā vērtības uzrādītas transformatoriem ar ekspluatācijas ilgumu līdz 10 gadiem; saucējā – vairāk par 10 gadiem; iekavās norādīti dati transformatoriem ar slāpekļa vai plēves aizsardzību.

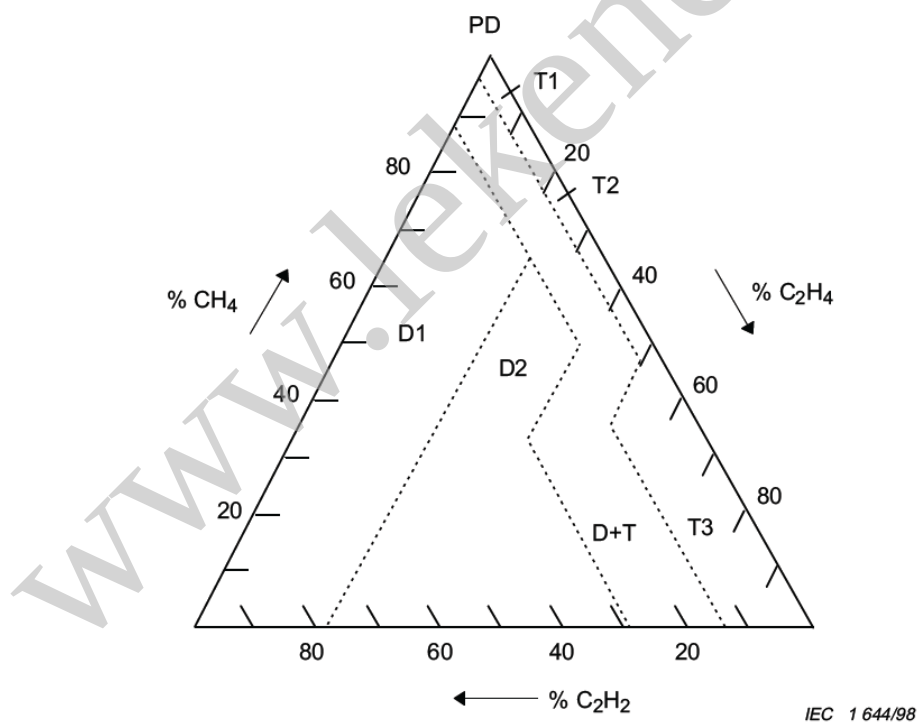
Piezīme 3: ar RZS transformatora sprieguma regulēšana slodzes režīmā, kur transformatora sprieguma slogregulatora nodalījums nav pilnīgi izolēts no galvenās bākas vai attiecīgiem (atbilstošiem) konservatoriem un ir iespējama eļļas un/vai gāzes sadalījuma pārvietošanās. Šīs gāzes var piesārņot eļļu galvenajā bākā un ietekmēt šo tipu aparātu normālo gāzu koncentrāciju vērtību. Bez RZS – transformatori, kam nav sprieguma regulēšanas slodzes režīmā vai, ja tāda sistēma ir, tad tā ir atdalīta no galvenās tvertnes.

Piezīme 4: 1. līmenis – defektu neesamība; 2. līmenis – nepieciešama papildus kontrole, par turpmāko lietošanu lēmumu pieņem atbildīgais par transformatora ekspluatāciju. 3. līmenis – ar paaugstinātu bīstamību, lēmumu par turpmāko lietošanu pieņem tehniskais vadītājs. C₃H₆ un C₃H₈ 40 ppm un lielāka koncentrācija liecina par pārkāršanas procesiem transformatora tvertnē.

8.7. tabula

Spēka transformatoru ražotu atbilstoši GOST prasībām defekta raksturs
atkarībā no transformatora eļļā izšķīdušo gāzu koncentrācijas attiecībām
(Izmainīta redakcija, izm.1)

Bojājuma raksturs	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H 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	≥ 1	≥ 3



8.1. attēls. „Duval” trijstūris gāzu līmeņiem (atbilstoši LVS EN 50599)

kur:

$$\%C_2H_2 = \frac{100x}{x + y + z}$$

$$x = [C_2H_2] \text{ mililitri vienā litrā}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100y}{x + y + z}$$

$$y = [C_2H_4] \text{ mililitri vienā litrā}$$

$$\%CH_4 = \frac{100z}{x + y + z}$$

$$z = [CH_4] \text{ mililitri vienā litrā}$$

PD	daļējās izlādes;
D1	zemas enerģijas izlādes;
D2	augstas enerģijas izlādes;
T1	termisks bojājums, $t < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
T2	termisks bojājums, $300\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$;
T3	termisks bojājums, $t > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zonu robežas				
PD	98% CH_4			
D1	23% C_2H_4	13% C_2H_2		
D2	23% C_2H_4	13% C_2H_2	38% C_2H_4	29% C_2H_2
T1	4% C_2H_2	10% C_2H_4		
T2	4% C_2H_2	10% C_2H_4	50% C_2H_4	
T3	15% C_2H_2	50% C_2H_2		

8.8. tabula

**Spēka transformatoru ražotu atbilstoši IEC standartu prasībām
defekta raksturs atkarībā no transformatora eļļā izšķīdušo gāzu
koncentrāciju attiecībām (Izmainīta redakcija, izm.1)**

Bojājuma raksturs	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
Daļējās izlādes	NS	$< 0,1$	$< 0,2$
Izlādes ar zemu enerģiju	> 1	0,1-0,5	> 1
Izlādes ar augstu enerģiju	0,6-2,5	0,1-1	> 2
Termiskais defekts ar temperatūru $< 300\text{ }^{\circ}\text{C}$	NS	> 1 , bet NS	< 1
Termiskais defekts ar temperatūru $300-700\text{ }^{\circ}\text{C}$	$< 0,1$	> 1	1-4
Termiskais defekts ar temperatūru $> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$	$< 0,2^{(3)}$	> 1	> 4

Piezīme 1: Šīs attiecības ir nozīmīgas un tiek rēķinātas tikai tad, ja vismaz viena gāze sasniedz 90% no robežkoncentrācijas, kas norādītas 8.6. tabulā.

Piezīme 2: Pazīmes, ka sākas cietās izolācijas destrukcija transformatoros izgatavotos saskaņā ar IEC standartu prasībām $CO_2/CO < 3$, transformatoros izgatavotos saskaņā ar GOST standartu prasībām $13 < CO_2/CO < 5$.

Piezīme 3: Temperatūra bojājuma vietā var pārsniegt 1000°C .

Piezīme 4: 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.

NS – nav svarīgi, lai kāda būtu vērtība. (Izmainīta redakcija, izm.1)

8.9. tabula

Gāzu robežu koncentrācijas caurvadizolatoriem, kas ražoti saskaņā ar IEC standartu prasībām

Gāze	Koncentrācija, ppm
Ūdeņradis H ₂	140
Metāns (CH ₄)	40
Etilēns (C ₂ H ₄)	30
Etāns (C ₂ H ₆)	70
Acetilēns (C ₂ H ₂)	2
Oglekļa oksīds (CO)	1000
Oglekļa dioksīds (CO ₂)	3400

Piezīme: Norādītās koncentrācijas drīkst pielietot tikai caurvadiem, kuros pielietota minerāleļļa.

8.10. tabula

Caurvadizolatoru defekta raksturs atkarībā no noteiktajām transformatora eļļā izšķīdušo gāzu koncentrācijas un to attiecībām

Gāzu koncentrāciju attiecība	Gāzu koncentrāciju attiecības lielums	Defekts
H ₂ / CH ₄	>13	Daļējas izlādes, cietās izolācijas defekts vai liels mitrums.
CH 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 sliktā kontakta tuvumā vai lieli dielektriskie zudumi.
C ₂ H ₂ / H ₂	>1	Izlādes, ilgstoša dzirksteļošana starp sliktiem kontaktiem.

Piezīme*: Gadījumā, kad konstatēts H₂ / $\sum CxHy$ (metāns CH₄, etāns C₂H₆, etilēns C₂H₄ un acetilēns C₂H₂) >30, var būt katalītiska H₂ ģenerācija un elektriska defekta var nebūt.

Piezīme:** Gadījumā, ja C₂H₂ koncentrācija ir lielāka par 2 ppm, kas ir bīstama defekta pazīme, nepieciešama pastiprināta kontrole. Ja C₂H₂ koncentrācija turpina paaugstināties, nepieciešama caurvada nomaiņa.

Piezīme*:** caurvaduizolatoru, ražotu atbilstoši GOST prasībām, gadījumā, ja oglekļaūdeņraža gāzu summa $\sum CxHy$ (metāns CH₄, etāns C₂H₆, etilēns C₂H₄ un acetilēns C₂H₂) pārsniedz 300 ppm 110 kV spriegumā un 150 ppm 330 kV spriegumā, nepieciešama caurvada nomaiņa.

8.11. tabula

Gāzu robežu koncentrācijas mērmaņiem, kas ražoti saskaņā ar IEC* standartu prasībām

Iekārta	Gāzu koncentrācija, ppm						
	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
Spriegum mainis	70-1000		4-16	20-30			

Piezīme*: Atļauts pielietot arī mērmaņiem ražotiem atbilstoši GOST prasībām.

Piezīme:** Gāzes koncentrācija ir atkarīga no mērmaņa tipa, ekspluatācijas apstākļiem, noslodzes un vecuma.

8.2.3. Pēc defekta noteikšanas lēmumu par atkārtotas analīzes veikšanas pieņem tehniskais speciālists.

9. Papildus norādījumi

9.1. Transformatoriem ar paaugstinātu darbības temperatūru vai ekspluatācijas laiku virs 25 gadiem pēc eļļas oksidēšanās pārbaudes (skatīt LVS EN 61125, metodi C) jābūt sekojošie kvalitātes rādītājiem:

- kopējas skābes skaitlis - max 0,25 mg/KOH;
- nosēdumi (sludge) - max 0,05%;
- Tgδ pie temperatūras 90 °C - max 5%;
- kopējas sēra saturs - max 0,05% (pirms oksidācijas testa).

9.2. Elektromagnētiskas uzlāde (ECT)

Iekārtai ar augstu eļļas cirkulācijas ātrumu (dzesēšanas sistēma ar eļļas sūkņiem) par elektromagnētiskas uzlādes tendenci (ECT) jāvienojas pircējam un ražotājam.

1. pielikums**Eļļas paraugu noņemšana, glabāšana, transportēšana****1. Eļļas parauga noņemšana****1.1. Ķīmiskai analīzei**

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

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

1.1.3. Nolaist eļļu spainī, kas sastājusies krānā un pirms tā - transformatora bākā vai caurvadā, mērmainī. Tas nepieciešams, lai paraugā neiekļūtu pie krāna sastāvējušies eļļa, bet eļļa, kas ir bijusi termiskajā kustībā, tādejādi atspoguļojot faktisko tās darba stāvokli. Nolaizāmās eļļas daudzums - ne mazāk kā 0,5 l – caurvadam, 2-3 l mērmainim un 5-6 l transformatoram. Pēc eļļas nolaišanas krānu nedrīkst grozīt līdz parauga noņemšanas beigām.

1.1.4. 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 traukā (spainī).

1.1.5. 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.

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

1.1.7. Pudeli rūpīgi aiztaisīt ar aizgriezni un pagriezt ar apakšu uz augšu, lai pārlicinātos par pietiekošu aizgriežņa blīvumu 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 virzas uz leju - tas ir ūdens (gaiss virzās uz augšu). Ja paraugā ir ūdens, atkārtot parauga noņemšanu tīrā pudelē un protokolā 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.

1.1.8. Aizpildīt eļļas paraugu noņemšanas protokolu.

1.1.9. Ja nepieciešams, noregulēt eļļas līmeni aparātā pēc parauga noņemšanas.

1.2. Hromatogrāfiskai analīzei

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

1.2.2. Analīzes noņemšana jāveic saskaņā ar vietējām instrukcijām.

1.2.3. Analīzes noņemšanas instrukcijas piemērs norādīts 4. pielikumā.

2. Eļļas parauga glabāšana

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

2.2. Eļļas paraugi jānoņem un jānogādā uz laboratoriju iespējami īsā laikā pirms analīžu veikšanai.

2.2.1. Kopējais hromatogrāfiskās analīzes uzglabāšanas-veikšanas laiks stacijas transformatoriem nedrīkst būt ilgāks par 5 darba dienu.

2.2.2. Tīklu transformatoriem:

2.2.2.1. hromatogrāfiskajiem analīzēm par 10 darba dienu;

2.2.2.2. fizikāli-ķīmiskajiem analīzēm par 20 darba dienu.

3. Eļļas parauga transportēšana

3.1. Kastes, kurās atrodas šļirces, jābūt projektētām tā, lai šļirce būtu cieši nofiksēta transportēšanas laikā.

3.2. Hermētiskās šļirces jātransportē horizontālā fiksētā stāvoklī.

3.2.1. Šļirces ar eļļas paraugu novieto fiksētā, horizontālā stāvoklī paraugu transportēšanas kastēs.

3.3. Transportējot jāizvairās no stipras vibrācijas un kratīšanās, lielām temperatūras svārstībām un tiešas saules gaismas.

3.4. Transportējot jānodrošina eļļas paraugu un paraugu noņemšanas veidlapu nesajaukšanos, pievienojot tās pie konkrētās šļirces vai pudeles.

Piezīme1: Nav pieļaujama hromatogrāfiskā eļļas parauga noņemšana ar plastikāta šļircēm.

Piezīme2: Nav pieļaujama hromatogrāfiskā eļļas parauga noņemšana no atklātas eļļas strūklas, tas nozīmē, ka nav pieļaujams eļļas kontakts ar atmosfēras gaisu;

Piezīme3: Kad noņem eļļas paraugu ir svarīgi, lai paraugs netiktu pakļauts vakuumam, kas var pakļaut eļļu degazācijai un novest pie kļūdainiem pārbaudes rezultātiem. Tas nozīmē, ka šļirce jāpiepilda bez virzuļa vilkšanas.

2. pielikums**Nosēdumu un duļķu noteikšanas metode****1. Nosēdumu noteikšana:**

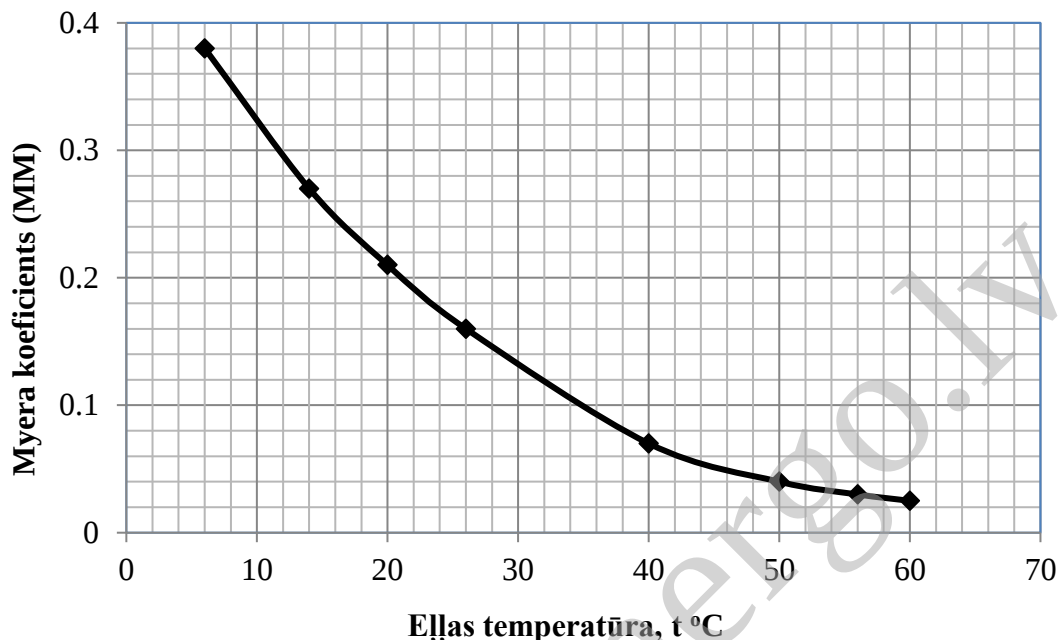
- nosver P 10 stikla filtru vai piemērotu 8 µm membrānu filtru ar precizitāti līdz 0,1 mg;
- izfiltrē 100 g homogenizētu eļļas paraugu caur sagatavoto filtru;
- skalo filtru ar nelielām šķīdinātāja porcijām (kopumā 100 ml n-heptāna) līdz filtrs ir tīrs no eļļas;
- žāvē filtru 105 °C temperatūrā, nosver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

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 ±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

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



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

1. Nofiksēt transformatora eļļas maksimālo temperatūru.
2. Noņemt eļļas analīzi un noteikt ūdens saturu eļļā, ppm.
3. Pieskaitīt pie fiksētās temperatūras 5 grādus.
4. Horizontālā asī atzīmēt šo temperatūru.
5. Augstāk norādītajā grafikā novilkt vertikālu līniju līdz tā krusto līkni.
6. No krustpunkta novilkt horizontālu līniju līdz krustojumam ar vertikālo asi un noteikt aprēķinu koeficientu.
7. Aprēķināt papīra izolācijas samitrināšanos, sareizinot aprēķināto koeficientu ar laboratorijā noteikto ūdens daudzumu eļļā.

Ir ļoti svarīgi pareizi noteikt eļļas temperatūru. Transformatora augšējā daļā faktiskā eļļas temperatūra var būt lielāka nekā p. 3. noteiktais temperatūras palielinājums, bez tam šī aprēķina precizitāte, neņemot vērā temperatūras noteikšanas kļūdu ir aptuveni 30 %.

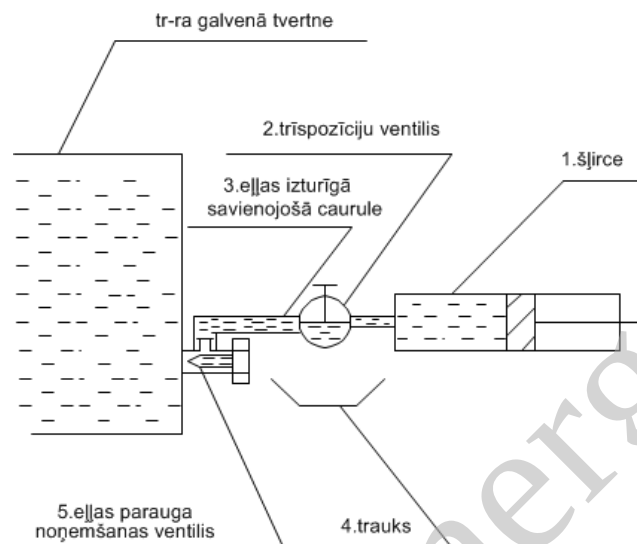
Pie 20 °C noteiktais eļļas mitruma līmenis 17 ppm - signāls par iespējamo papīra izolācijas samitrināšanos virs 2,5 %.

4. pielikums

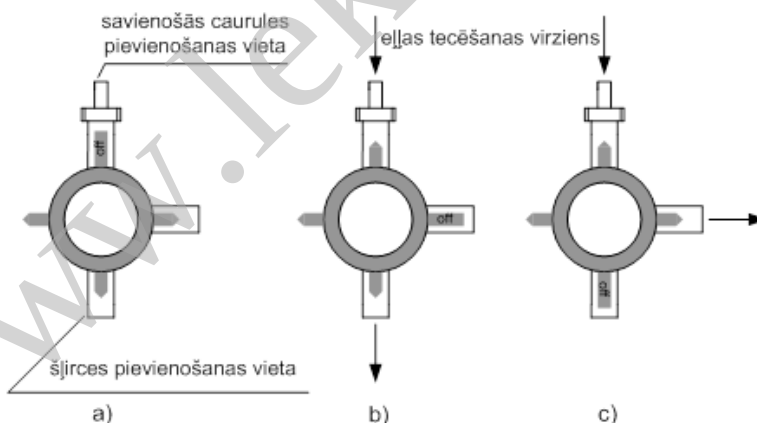
Piemērs eļļas parauga noņemšanai hromatogrāfiskai analīzei

1. Autotransformatoriem, transformatoriem un pēc GOST ražotiem mērmaiņiem

1.1. Pielietojamā iekārta norādīta 1. un 2. attēlā.



1. attēls. Hromatogrāfiskā eļļas parauga noņemšana



2. attēls. Trīspozīciju ventiļa stāvokļi

1.2. Hromatogrāfiskā eļļas parauga iegūšana notiek ar stikla šīrces palīdzību (paraugam nepieciešamais eļļas daudzums 30-100 ml).

1.3. Šīrcei jābūt pārbaudītai uz hermētiskumu.

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

1.5. Eļļas parauga noņemšana no transformatora tvertnes realizē ar šīrci (1),

trīspozīciju ventili (2), savienojamo eļļas izturīgu, caurspīdīgu cauruli (3), kurai jābūt ne īsākai par 30cm, eļļas nolaišanas trauku (4).

1.6. Pievienot šļirci ar cauruli pie eļļas parauga noņemšanas ventiļa (5), šļirces virzulim ir jābūt izspiestam līdz galam. Trīspozīciju ventilim (2) jāatrodas pozīcijā (a). Uzmanīgi atskrūvēt eļļas parauga noņemšanas ventili (5). Pārslēgt trīspozīciju ventili (2) stāvoklī (c). Ar eļļas parauga noņemšanas ventiļa (5) palīdzību ieregulēt nelielu eļļas plūsmu, lai parauga noņemšanas laikā nebūtu jāmaina krāna stāvoklis. Nolaist 1-2 litri eļļas, eļļas nolaišanas traukā.

1.7. Pēc eļļas nolaišanas pārslēgt trīspozīciju ventili (2) stāvoklī (b), piepildīt šļirci ar eļļu un pārslēgt trīspozīciju ventili (2) pozīcijā (a). Izspiest no šļirces, eļļas nolaišanas traukā esošo eļļu. Tādā veidā tiks izskalota šļirce ar transformatorā esošo eļļu.

1.8. Pēc šļirces izskalošanas pārslēgt trīspozīciju ventili (2) pozīcijā (b) un piepildīt šļirci ar testējamo eļļu (pēc iespējas bez virzuļa vilkšanas). Kad šļirce ir piepildīta ar paraugam nepieciešamo daudzumu, pārslēgt trīspozīciju ventili (2) stāvoklī (c).

1.9. Aizskrūvēt eļļas parauga noņemšanas ventili (5).

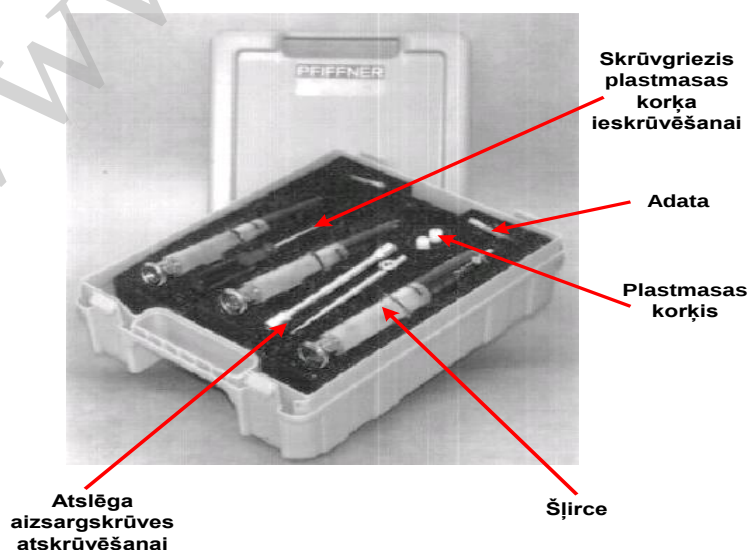
1.10. Atvienot eļļas izturīgo cauruli no eļļas parauga noņemšanas ventiļa (5) un trīspozīciju ventiļa (2). Izlaist eļļas nolaišanas traukā, caurulē palikušo eļļas daudzumu.

1.11. Pacelt šļirci ar trīspozīciju ventili (2) uz augšu un pārliecināties 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). Pārliecināties, ka noņemot hromotografisko eļļas paraugu, šļirce nav piesārņota ar netīrumiem un pārbaudīt mitruma neesamību tajā.

1.12. Aizpildīt eļļas paraugu noņemšanas protokolu ar nepieciešamo informāciju.

2. Saskaņā ar IEC ražotiem mērmainiem

2.1. Mērmainim atskrūvēt parauga noņemšanas izvada aizsargvāku, ja mērmainim tāds ir. Parauga noņemšanas izvadā ieskrūvēt plastmasas korķi. Pievienot šļircei adatu.



3. attēls. Specials komplekts

- 2.2.** Plastmasas korķī ievadīt šļirci ar adatu, kamēr sāk plūst eļļa.
- 2.3.** Ļaut eļļas spiedienam piepildīt šļirci ar eļļu līdz 50 ml atzīmei + 10 ml, kas tiek noteikti vizuāli (60 ml, kas nepieciešami eļļas analīzei).
- 2.4.** Kad šļirce ir piepildīta, izvilkt šļirci ar adatu no plastmasas korķa un uzspiežot uz virzuļa izspiest eļļu no šļirces eļļas nolaišanas traukā.
- 2.5.** Šļirces piepildīšana ar eļļas paraugu notiek atkārtojot pp. 2.2. un 2.3..
- 2.6.** 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.
- 2.7.** Pārliecināties, ka noņemot hromatogrāfisko eļļas paraugu, šļirce nav piesārņota ar netīrumiem un pārbaudīt mitruma neesamību tajā.
- 2.8.** No parauga noņemšanas izvada izskrūvēt plastmasas korķi un aizskrūvēt parauga noņemšanas izvada aizsargvāku, noslaucīt šļirces virsmu.
- 2.9.** Aizpildīt eļļas paraugu noņemšanas protokolu.