

Emelt Hőosztályok

XXIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia
Visegrád

Gurszky Gábor
- 2025 Április 04 -



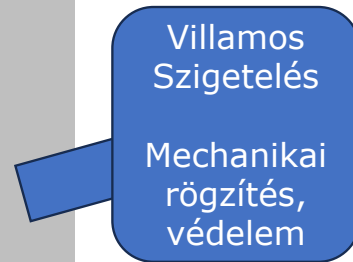
Transzformátor melegedés

1. Szigetelő anyagok
2. Szabványok (IEC; IEEE)
3. Szigetelési rendszer variációk
4. Példa

Szigetelő anyagok

Szilárd szigetelő komponensek

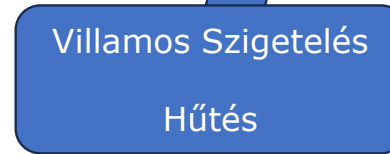
- Tekercsekben
 - Vezető szigetelés
 - Betétek
 - Vezető lécek
 - Tekercs (hordozó) cső
- Tekercseken kívül
 - Szigetelő csövek
 - Szegletgyűrűk
 - Szorítógyűrűk
 - Kötéstartók
 - Védőborítások
- Vasmag
 - Hűtőcsatornák
 - Állványszigetelés
 - Lépcsősfák



Szilárd szigetelő anyagok

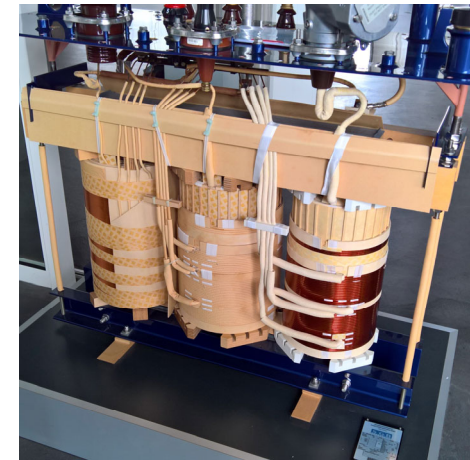
- Papír (Kraft; TUP)
- Prespán
- Fa, Rétegzelt fa
- Lakkok, Gyanták
- Szintetikus alapú szigetelők
- Nomex (aramid*)

*Aromatic Polyamide



Folyékony szigetelő anyagok

- Asványi olaj
- Szilikon olajok
- Növényi észterek
- Szintetikus észterek



Szabványok

IEC

- IEC 60076-1 2011
General
- IEC 60076-2 2011
Temperature rise for liquid-immersed transformers
- IEC 60076-7 2018
Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers
- IEC 60076-14 2013
Liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation

IEEE

- IEEE Std C57.12.00™-2021
General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers
- IEEE Std C57.91™-2011
Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators
- IEEE Std C57.100™ 2011
Test Procedure for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers
- IEEE Std C57.154™-2022
Standard for Liquid-Immersed Transformers Designed to Operate at Temperatures Above Conventional Limits Using High-Temperature Insulation Systems
- IEEE Std 1276™-2020
Guide for the Application of High-Temperature Insulation Materials in Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers

Normál Környezet

IEC limitek

- Maximum 40°C
- Havi átlag 30°C (legmelegebb hónap)
Napi maximumok átlagának és minimumok átlagának az átlaga egy hónapban több éves átlagban
- Éves átlag 20°C
A havi átlagok összegének az 1/12-ed része

IEEE limitek

- Maximum 40°C
- Napi átlag 30°C
Átlaghőmérséklet maximuma bármilyen 24 órás periódusra

IEC 60076 - 1

IEEE C57.12.00

Alap Hőmérséklet emelkedés

IEC limitek

- Szigetelő folyadék maximum: 60K
- Tekercs átlag
 - ON vagy OF hűtés 65K
 - OD hűtés 70K
- Tekercs melegpont: 78K
*Érvényes normál és TUP papírra is.
Megenged eltérő megállapodást.*

IEC 60076 - 2

IEEE limitek

- Szigetelő folyadék maximum: 65K
 - Tekercs átlag: 65K
 - Tekercs melegpont: 80K
*Érvényes TUP papírra. Elvárt élettartam
180 000 óra (80+30=110°C)*
- Normál papír szigetelés esetén:*
- *Tekercs átlag: 55K*
 - *Melegpont: 70K*

IEEE C57.12.00

Hőosztályok

Thermal class	Hot-spot temperature °C
105	98
120	110
130	120
140	130
155	145
180	170
200	190
220	210

IEC 60076 - 14

Thermal class	Hottest spot temperature limits °C
105	95
120	110
130	120
140	130
155	145
180	170
200	190

IEEE C57.154

Szigetelési rendszerek

Hagyományos

Szigetelő folyadék

- Bármilyen

Melegedés: Szabványos

Szilárd szigetelés

- Tekercs, kötés:
 - Hagyományos
- Egyéb:
 - Hagyományos

Tekercs melegedés:

- Szabványos

Hibrid

Szigetelő folyadék

- Bármilyen

Melegedés: Szabványos

Szilárd szigetelés

- Tekercs, kötés:
 - Emelt hőosztályú
- Egyéb:
 - Hagyományos

Tekercs melegedés:

- Emelt (MP: 90-125K)

Emelt hőosztály

Szigetelő folyadék

- Emelt hőosztályú

Melegedés: Emelt (90-115K)

Szilárd szigetelés

- Tekercs, kötés:
 - Emelt hőosztályú
- Egyéb:
 - Emelt hőosztályú

Tekercs melegedés:

- Emelt (MP: 100-150K)

Hibrid rendszerek

Félhibrid / IEC

Emelt hőosztályú anyagok:

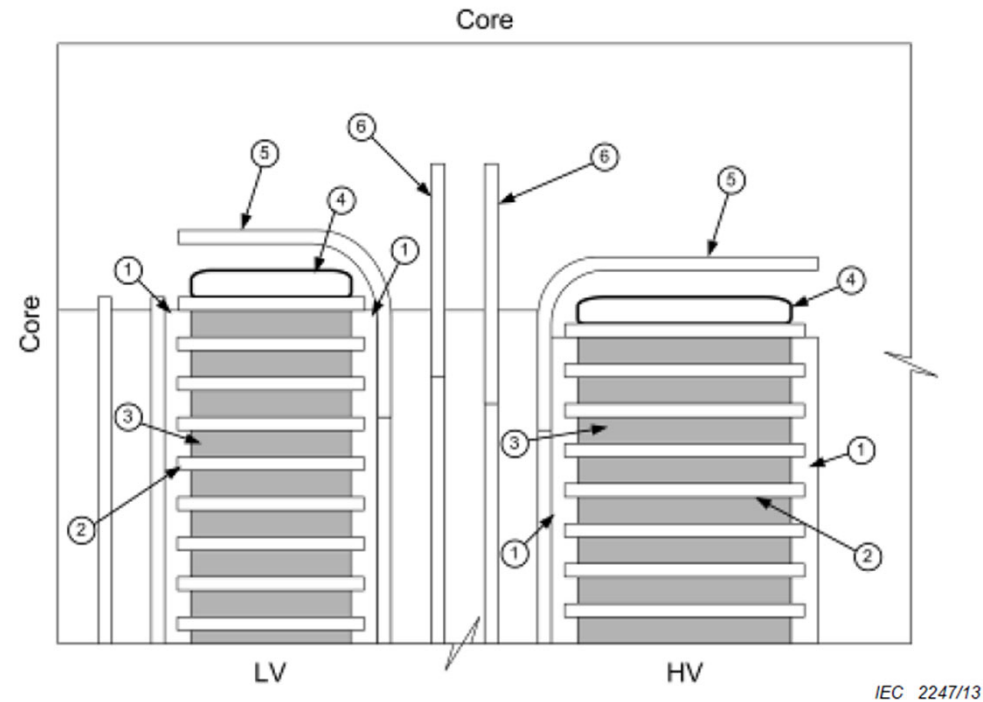
- Vezető szigetelés

Normál anyagok:

- Betétek
- Lécek
- Tekercs és szigetelő csövek
- Szegletgyűrűk

Tekercs melegedés:

- Átlag: Emelt
- MP: Emelt



Hibrid rendszerek

Kevert-hibrid / IEC; IEEE

Emelt hőosztályú anyagok:

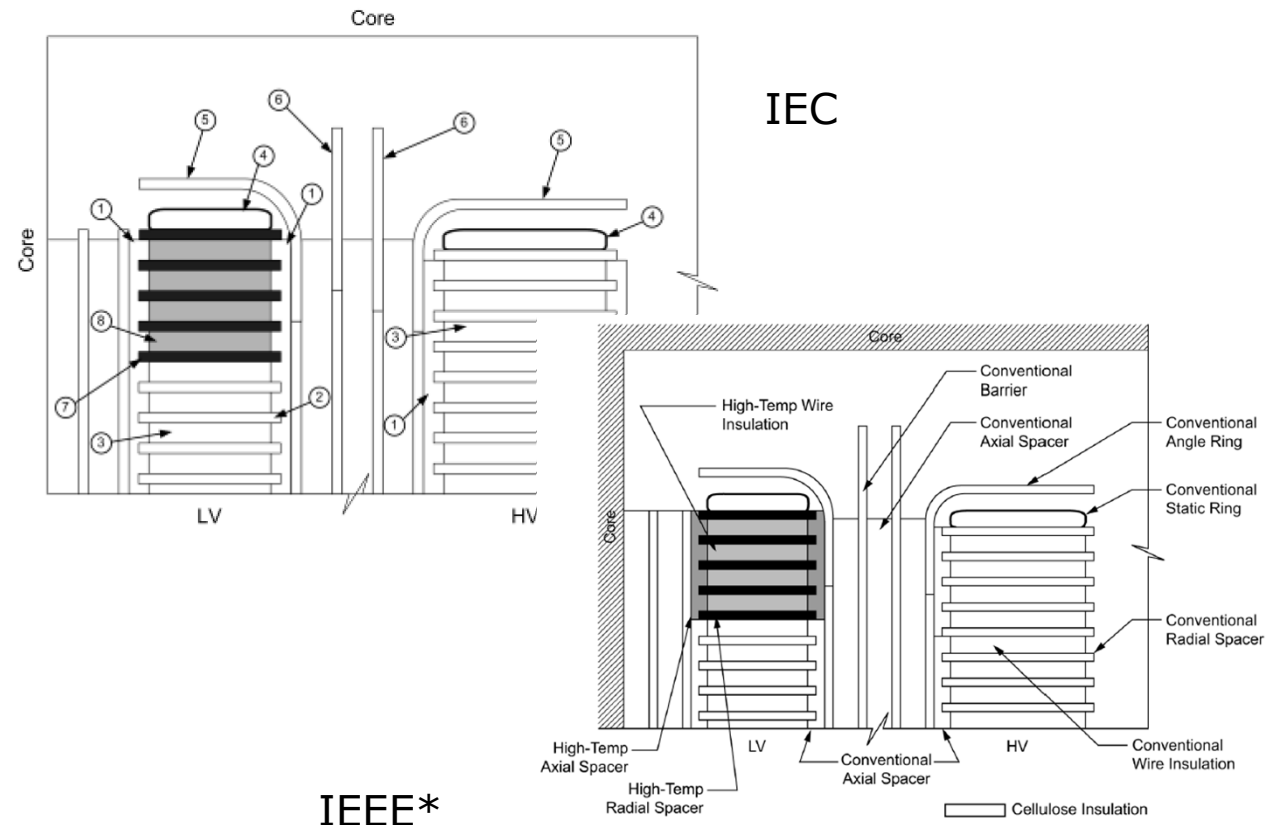
- Vezető szigetelés (tekercs teteje)
- Betétek (tekercs teteje)
- Lécek (IEEE)

Normál anyagok:

- Betétek
- Lécek
- Tekercs és szigetelő csövek
- Szegletgyűrűk

Tekercs melegedés:

- Átlag: Normál
- MP: Emelt



*IEEE Std. 1276 (korábban C57.154-ben)

Megengedett melegedések

IEC 60076 - 14

	Conventional insulation system ^a	Hybrid insulation systems				
		Semi-hybrid insulation winding	Mixed hybrid insulation winding	Full hybrid insulation winding ^b		
Minimum required solid high-temperature insulation thermal class	105	120	130	130	140	155
Top liquid temperature rise (K)	60	60	60	60	60	60
Average winding temperature rise (K)	65/70	75	65	85	95	105
Hot-spot temperature rise for solid insulation (K)	78	90	100	100	110	125

IEEE C57.154

	Conventional insulation system ^c	Hybrid insulation systems ^{d,e}			
Insulation system thermal class	120	130	140	155	
Top liquid temperature rise, (°C)	65	65	65	65	65
Average winding temperature rise, (°C)					
Cooling classes ^b : ON, OF, KN, KF	65	75	85	95	
Cooling classes ^b : OD, KD	70	80	90	100	
Hottest spot temperature rise, (°C)	80	90	100	115	

Emelt hőosztályú rendszer

Emelt hőosztály/ IEC; IEEE

Emelt hőosztályú anyagok:

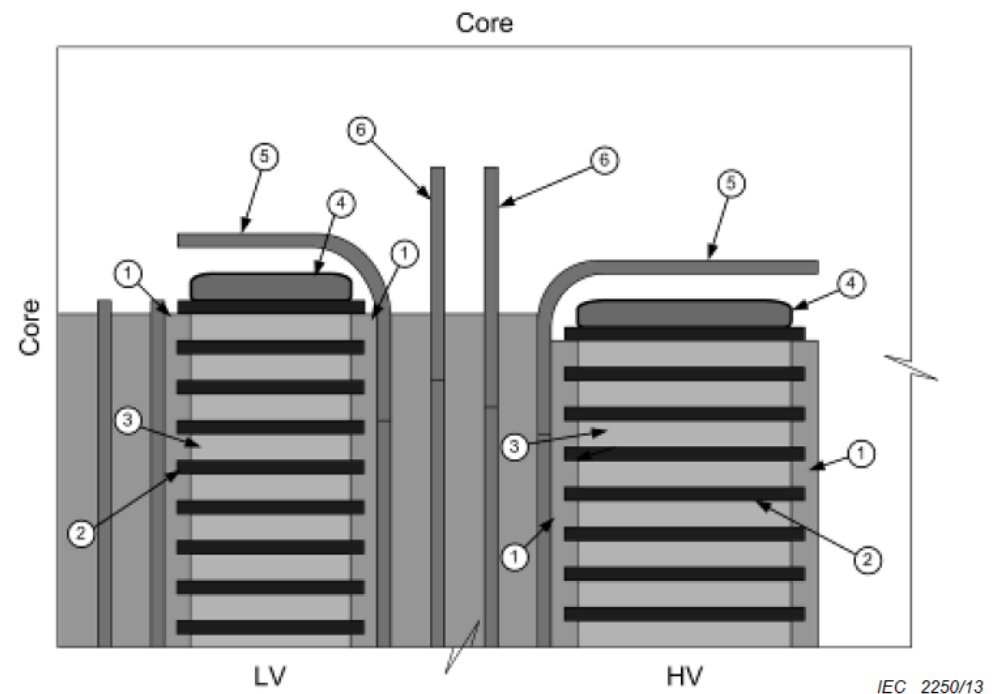
- Minden

Normál anyagok:

- Nem

Tekercs melegedés:

- Átlag: Emelt
- MP: Emelt



Megengedett melegedések

IEC 60076 - 14

	Ester liquid				Silicone liquid			
Minimum required high-temperature solid insulation thermal class	130	140	155	180	130	140	155	180
Top liquid temperature rise (K)	90	90	90	90	115	115	115	115
Average winding temperature rise (K)	85	95	105	125	85	95	105	125
Hot-spot temperature rise (K)	100	110	125	150	100	110	125	150

IEEE C57.154

	High-temperature insulation systems ^b			
Insulation system thermal class	130	140	155	180
Top liquid temperature rise, ^c (°C)	75	85	95	115
Average winding temperature rise, (°C)				
Cooling classes: KN, KF, LN, LF,	75	85	95	115
Cooling classes: KD, LD	80	90	100	120
Hottest spot temperature rise, (°C)	90	100	115	140

Példa specifikáció

Colorado River Aqueduct (CRA)
69 kV and 230 kV Power Transformers Replacement

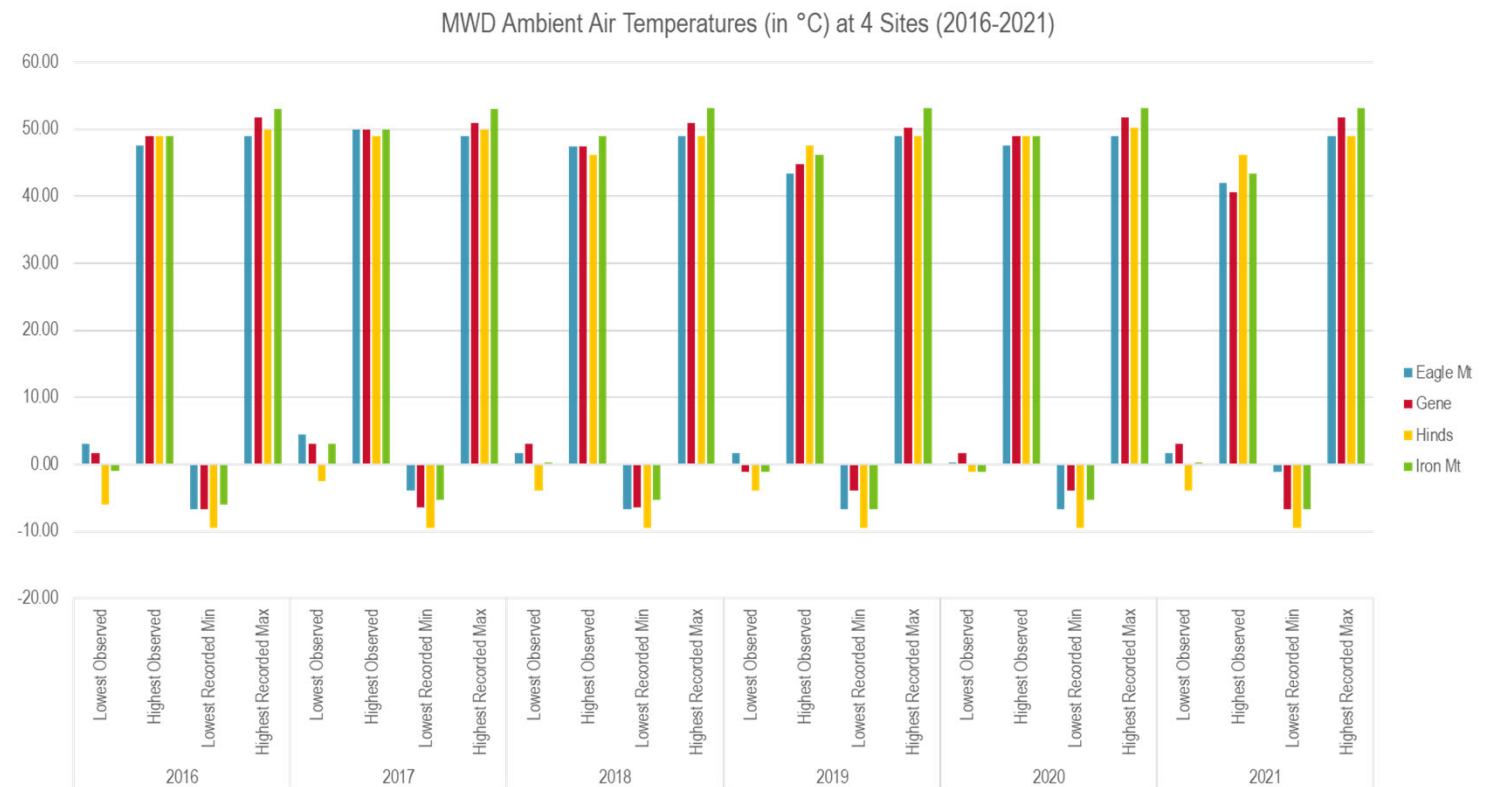


THE METROPOLITAN WATER DISTRICT
OF SOUTHERN CALIFORNIA



Környezet

Max. Hőmérdéklet: ~53 °C
24 órás átlag: 41°C



Örökség/Célok

- 60-80 éves transzformátorok
- Nincs mindenütt tűzgátló fal
- Nincs mindenütt olajteknő
- Különböző hűtémódok (levegő; víz)
- Különböző olaj-tágulási megoldások (N2 párna; Konzervátor)

Célok:

- Újabb 40-60év élettartam
- Változatlan méret
- Egyszerű karbantartás, monitoring

Egységesítés:

- Hűtés: ONAN/ONAF
- Tágulási mód: N2 párna *
- Szigetelő folyadék: Szintetikus észter

* Gyártói javaslatra => Konzervátor gumizsákkal



Javasolt szigetelési rendszer

Maximum hőmérséklet: 55°C

Napi átlag: 45°C

Hagyományos szigetelés (TUP):

Olaj max: 65-15 = 50K

Tekercs átlag: 65-15 = 50K

Tekercs MP: 80-15 = 65K



Teljes hibrid szigetelés (NOMEX):

Olaj max: 65-15 = 50K

Tekercs átlag: 95-15 = 80K

Tekercs MP: 115-15 = 100K

