



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamos Energetika Tanszék

Dobsa Máté

**TRANSZFORMÁTOR ÁLLAPOT
TÉNYEZŐ SZAKÉRTŐI
RENDSZER FEJLESZTÉSEI
LEHETŐSÉGEI**

KONZULENS

Németh Bálint

BUDAPEST, 2014

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	4
Abstract	5
1 Bevezetés	6
1.1 A transzformátor felépítése [1].....	7
1.2 Az állapotfigyelés szerepe [1]	8
1.3 Az olaj-papír szigetelés sajátosságai, élettartamot befolyásoló tényezők [1]	9
1.4 Transzformátor diagnosztikai vizsgálatok [1].....	10
2 Nemzetközi kitekintés	13
2.1 TERNA (Olaszország) [2][3]	13
2.2 Labelec (Spanyolország) [4]	16
2.3 Transzformátorok élettartam menedzselése (Románia) [6]	19
2.4 GE Energy-Alállomási eszköz optimalizálás [7]	22
2.5 Egyesült Királyság-UK [8]	25
2.6 Hydro-Québec TransÉnergie – Canada [9].....	29
2.7 Doble Engineering – Tony McGrail [10].....	30
2.8 Szerbia [11]	32
3 A Transzformátor Állapot Tényező (TÁT) szakértői rendszer működése	34
3.1 Állapotjellemzők használata	34
3.2 TÁT számítás és diagnosztikai adatok rendelkezésre állása.....	36
4 Fejlesztési lehetőségek	39
4.1 Súlyozás	39
4.1.1 HGA	39
4.1.2 Általános olajvizsgálat	42
4.1.3 Visszatérő feszültség (RVM)	43
4.1.4 Rövidzárási impedancia	45
4.1.5 Részkisülés mérés	46
4.1.6 Furán tartalom.....	46
4.1.7 Infrakamerás vizsgálatok.....	47
4.1.8 Berendezés kora.....	47
4.2 Javaslatok a szakértői rendszer fejlesztésére.....	47
5 Összegzés	52
Irodalomjegyzék	54
Ábrajegyzék	55

Összefoglaló

Az erőátviteli transzformátorok a villamosenergia-átviteli rendszerek lényeges és egyik legértékesebb elemei. A transzformátorok üzembiztonságát legnagyobb mértékben a szigetelési állapot, a statikus- és dinamikus túl igénybevételek (villamos, mechanikus, termikus), az átvezető szigetelők, valamint a terhelés alatti átkapcsolók befolyásolják. Az említettek tükrében szükséges rendszerezett információkat gyűjteni a transzformátor állapotáról.

Az adatok gyűjtésére és kiértékelésre lett kifejlesztve a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriumában a Transzformátor Állapot Tényező (röviden TÁT) szakértői rendszer. Segítségével a különböző diagnosztikai vizsgálatok eredményeit felhasználva átfogó képet kaphatunk a transzformátor jelenlegi állapotáról. A diagnosztikai eredményeken felül a szakértői rendszer figyelembe veszi a transzformátor hálózati és éghajlati viszonyait is. Napjainkban műszaki és gazdasági szempontokat is figyelembe véve a készülékek karbantartásának ütemezése az időszakos vizsgálatokról az állapotfüggő karbantartási gyakorlat felé mutat. A TÁT lehetőséget nyújt támogatni a karbantartási ütemezések kialakítását, valamint szolgáltatott eredményei segítségével a transzformátorok állapota objektíven hasonlítható össze.

Dolgozatomban bemutatom a meglévő Transzformátor Állapot Tényező szakértői rendszert, valamint célom a nemzetközi gyakorlat feltérképezése és a program kiértékelési módszerének tovább fejlesztése, melyhez szükséges a már meglévő kiértékelés felülvizsgálata.

Abstract

In the electrical transmission networks the most important and expensive element is the power transformer. The operation safety of this element depends on some key parameters. These parameters are the condition of the insulation system and the static and dynamic overloading (electrical, mechanical and thermal). Furthermore it depends on the bushings and the on load tap changer. In consideration of the influencing factors it is necessary for the operators to have more and detailed information about the condition of the transformer.

To handle and evaluate information, an expert system has been developed in the High Voltage Laboratory of the Budapest University of Technology and Economics. The name of this expert system is Transformer Status Indicator (TSI).

The TSI gives an overall view of the condition (and reliability) of the transformer according to the diagnostic methods. To compare different transformers status the TSI consider geographical location, the loading and the connection of the substation where it is located. Nowadays due to technical and economic reasons the operators changing their maintenance strategy from the periodic maintenance to the condition based maintenance strategy. The TSI support the planning of the maintenance schedule and the transformer statuses can be compared objectively.

In this document the Transformer Status Indicator expert system is introduced. My aim is to explore international practice regarding to TSI expert systems. Moreover with the review of existing evaluation I am searching for development possibilities of the calculation.

1 Bevezetés

Napjainkban a villamos energia felhasználására egyre nagyobb igény mutatkozik. A növekvő igényt csakis olyan hálózattal lehet biztosítani, melyben garantált az üzembiztonság. A versenyképességet viszont nagyban meghatározza az, hogy az üzembiztonságot milyen felmerülő költségek mellett tudják tartani a szolgáltatók. Ezen felül egy nagy kiesés nem csak a visszaállítás költségeit hordozza magában, hanem az ellátatlan fogyasztók felé is jelentős többletkiadással jár. Tehát a karbantartások és cserék ütemezése a zavartalan működést hivatottak szolgálni.

A villamos energia rendszer több nagy értékű hálózati elemet tartalmaz, melyek meghibásodásai jelentős anyagi károkat vonhatnak maguk után, ezért fokozottan megtérülhet az állapotfelmérések alkalmazása. Ezért a gyakorlat azt mutatja, hogy a műszaki területen egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a különböző állapotfelmérések eredményein alapuló karbantartások.

A hálózat nagy értékű elemei közül kiemelten fontosak az erőátviteli transzformátorok. A transzformátor élettartama szempontjából a bennük lévő szigetelések állapota a mérvadó. A nagy transzformátorokban még napjainkban is szinte kizárólag olajpapíros szigetelést használnak. Ez a fajta szigetelés több, mint száz éves múltra tekint vissza. Abban az esetben, ha egy új transzformátor 40-50 évig üzemel, akkor az olajpapíros szigetelés diagnosztikája még 50 év múlva is érdekes lesz a felhasználók részére. Az olajpapír diagnosztika az elmúlt 100 évben folyamatosan fejlődött és továbbra is fejlődik, ezért napjainkban 3-5 évente szabványmódosításokat kezdeményeznek a témában. Van olyan szabvány (pl. Hibagáz analízis - HGA), ahol egy év alatt is eszközölnek szabványmódosításokat.

A BME Nagyszültségű laboratóriumában kifejlesztett Transzformátor Állapot Tényező szakértői rendszere a diagnosztikai eljárások alapján a transzformátor jelenlegi állapotáról ad átfogó képet. A szolgáltatott eredmények részletességüket tekintve nemcsak a diagnosztikai vizsgálatok eredményeiből, hanem a transzformátor állapotára vonatkozó minél több információból kerülnek számításra, figyelembe véve azt is, hogy a transzformátor állapotát összességében hogyan befolyásolja az adott mérési eredmény, valamint tényező.

A körülmények lassú, de folyamatos változása, a berendezések átlagéletkorának növekedése, új diagnosztikai módszerek bevezetése, stb. következtében a nagyfeszültségű hálózati berendezések diagnosztikájával, élettartam-gazdálkodásával kapcsolatban új követelmények fogalmazódnak meg. Az említettek tükrében lehetséges az, hogy még 1-2 éve létrehozott TÁT esetében is ilyen rövid idő után a legújabb eredmények alkalmazásával, ill. módosításokkal javítható a TÁT hatékonysága. Dolgozatomban elsősorban ezt a kérdéskört igyekszem minél körültekintőbben körüljárni, megvizsgálom hol és milyen mértékű változtatásokkal lehet követni a szabványokat és ez várhatóan hogyan változtatja a TÁT értékét. Dolgozatomban arra szeretnék rávilágítani, hogy egy ilyen komplex diagnosztikai rendszer objektív és szubjektív megfontolások alapján hogyan működik. Melyek azok a tényezők melyek változtatásával egyre jobb eredményeket lehet elérni.

1.1 A transzformátor felépítése [1]

A dolgozatomban nagy-/középfeszültségű olajpapír szigeteléssel rendelkező transzformátorok diagnosztikájával foglalkozom. Ez az alkalmazott szigetelés a legelterjedtebb a jelenleg üzemben lévő transzformátorokban ezen a feszültség szinten.

A transzformátor főbb elemei:

- Szigetelőolaj
- Főszigetelés
- Tekercsek
- Vastest
- Hűtőcsatornák
- Szorító és összehúzó szerkezetek
- Átvezető szigetelő
- Terhelés alatti fokozatkapcsoló
- Olajtartány
- Konzervátor (lélegző típusú transzformátoroknál)

„A transzformátorok élettartama függ a felhasznált anyagok (főleg szigetelőanyagok) minőségétől, az üzemeltetési körülményektől, környezeti feltételektől, stb., de sokszor elvész az információ áradatban, hogy a transzformátor végső élettartamát a papírszigetelés állapota határozza meg. Az átvezető szigetelő például egy meghibásodás után cserélhető, a fokozatkapcsoló javítható, az olaj

regenerálható, de ha a papíros szigetelés jósága egy bizonyos szint alá romlik, akkor újra kell tekerceselni a transzformátort, vagyis ez már gyakorlatilag az élettartam vége.

Tehát az első lépés az ismeretek bővítésénél annak megvizsgálása, hogy mi okozza a papír romlását, hogyan lehet ellenőrizni a romlás előrehaladottságát, hogyan lehet beavatkozni a romlás lassításának érdekében.

A szigetelőolaj szerepe a szigetelés mellett a tekercsekben és a vastestben keletkezett, hővé alakuló veszteségek elvezetése is. A hő elvezetését segítik a szigetelésben és vastestben kialakított, az olaj áramlását lehetővé tévő olajcsatornák. Az olaj szigetelőanyag tulajdonsága mellett telítő anyagként meggátolja a nedvszívó szigetelőanyagok (papír, prespán) érintkezését a levegővel.”

1.2 Az állapotfigyelés szerepe [1]

„A transzformátor a villamosenergia-rendszer üzembiztonsága szempontjából kiemelt fontosságú, ezért alapvető követelmény, hogy a váratlan kiesések száma a lehető legkisebb legyen. Jelentős a 20-30 évet meghaladó korú transzformátorok száma, de pusztán a koruk alapján nem lenne gazdaságos a cseréjük. Éppen ezért fontos egy különböző méréseken alapuló állapotellenőrzés létrehozása, mely alapján el lehet dönteni, hogy szükség van-e valamilyen intézkedésre annak érdekében, hogy továbbra is üzembiztosan láthassa el feladatát a transzformátor a hálózatban.

Az állapotellenőrzés célja:

- a váratlan meghibásodások, üzemzavarok elkerülése és ezáltal a rendszer üzembiztosságának szinten tartása, esetleg fokozása,
- a transzformátorok élettartamának olyan menedzselése, amely minimalizálja az összköltséget, azaz optimális arányt alakít ki a beruházási, üzemeltetési, karbantartási, felújítási és javítási költségek terén.

A transzformátorok állapotellenőrzésén általában a hálózaton üzemelő berendezések helyszíni, illetve az olajtöltet laboratóriumi vizsgálatainak összességét értjük. „

1.3 Az olaj-papír szigetelés sajátosságai, élettartamot befolyásoló tényezők [1]

Az olajszigetelésű transzformátorok szigetelése többszörösen összetett soros és párhuzamosan rétegzett szilárd szigetelőanyag és szigetelőolaj rétegzett szerkezetéből áll. A szilárd szigetelés nagyobb részben olajjal telített papír (lágypapír és prespán), továbbá pabít, melyet olaj vesz körül. A tekercselt papírszigetelés réteges olajjal van telítve, réteges, sorosan kapcsolódó szerkezetű.

A papír kémiaiilag cellulóz rostok rendezetlen, halmaza. Maga a cellulóz pedig óriási láncmolekulákból álló növényi eredetű szerves vegyület. A papírban kialakuló polimerizáció mértékét a polimerizációs fokkal tudjuk jellemezni, amely a láncmolekulákat alkotó elemi gyűrűmolekulák átlagos számát jelenti. A molekulaláncok rövidebb láncokra szakadoznak azaz depolimerizálódnak, ez a fény, oxigén és nedvesség hatására történik, mert a cellulóz óriásmolekulák nem stabilak. A kémiai degradációt gyorsító folyamatok a hőmérséklet növelése, nedvességtartalom, savtartalom, stb. gyorsítja. A folyamat során egyéb vegyületek is képződnek. Pl. furánok.

A papír víztartalom növekedése az öregedést gyorsítja, ami azt jelenti, hogy 3% víztartalom esetén tízszer gyorsabban csökken a felére a polimerizációs fok, mint 0,3%-os víztartalom esetében. Az öregedés hőmérsékletfüggését a Montsinger szabály írja le: a hőmérséklet 8-10 °C-os növekedése felezi az élettartamot.

A papír mechanikai szilárdságát a cellulóz molekulaláncok hosszának csökkenése rontja, azonban a villamos szilárdságot csak kis mértékben befolyásolja. A papír mechanikai szilárdsága azért fontos tényező, mert abban az esetben, ha lecsökken (a polimerizációs fok (DP=Degree of Polymerization) a kezdeti 1200...1300-ról kb. 250-re csökken le) nem lesz képes ellenállni a bekapcsolási áramlökések és zárlatok erőhatásainak. A papírszigetelés megreped, felhasad, és ezeken a helyeken átütés alakulhat ki. Tehát a tönkremenetelt a mechanikai szilárdság elvesztése okozza, nem pedig a villamos szilárdság lecsökkenése és villamos vagy hő-villamos átütése.

A nedvesség, hőmérséklet, valamint az öregedés együttesen, egymással kölcsönhatásban befolyásolja az olajjal telített papír dielektromos alapfolyamatait. Ezen felül az olaj és papír eredeti jellemzői és olaj-papír arány a befolyásoló.

Ezen szigetelési rendszer összetevői eltérő módon vizsgálhatóak. A transzformátor olajából bármikor vehető minta, amely jellemzői laboratóriumban vizsgálhatók, azonban a papírtömegből, üzem közben nem vehető minta, közvetlen vizsgálatokkal nem lehet hozzáférni. A rendszer összetevői állandó és szoros kölcsönhatásban vannak, de a papír állapotára csak korlátozottan lehet következtetni. Azt, hogy hogyan oszlanak meg a bomlási termékek az olaj és papír között az elöregedés foka, hőmérséklet és víztartalom befolyásolja.

1.4 Transzformátor diagnosztikai vizsgálatok [1]

A diagnosztikai vizsgálatokat nagyban befolyásolja, hogy az eredményekhez szükséges mérési eljárás milyen körülmények között, milyen gyakran végezhető el. Mint az fentebb már említésre került az olajvizsgálatok nagy előnye, hogy a minta bármikor levehető és bármilyen tulajdonság meghatározható a rendelkezésre álló laborberendezésektől függően. A papirosból viszont minta csak a transzformátor kikapcsolásával és a szigetelőanyag tönkretételével vehető. A mérések olajvizsgálatok esetében laborvizsgálatok, míg a papiros esetében a transzformátor kapcsain is végrehajtható mérésekből áll.

Az alábbiakban röviden áttekintem a TÁT szempontjából legfontosabb diagnosztikai vizsgálatokat.

Szigetelési olaj vizsgálata:

1. Az olaj fizikai-kémiai vizsgálata (általános olajvizsgálatok): a levett szigetelő olaj mintájának vizsgálata a villamos szilárdságra, víztartalomra, savra, határfelületi feszültségre, veszteségi tényezőre, mechanikai szennyezésre, stb., a vonatkozó szabványoknak megfelelően.
2. Hibagáz analízis (HGA): az olajban oldott gázok minőségi és mennyiségi meghatározása, a kapott eredmények elemzése. Segítségével már a kezdeti állapotban kimutathatók a szigetelésben kialakuló helyi igénybevételek és hibák.
3. Furán tartalom vizsgálata: tulajdonképpen olajvizsgálat, de a papír állapotára vonatkozik. Mint említésre került, az olajjal impregnált papírszigetelések papír összetevőjének öregedése közvetlenül nem vizsgálható, mivel az üzemelő berendezés papírszigetelésből nem vehető

minta. A papír bomlásából származó öregedési termékek a szigetelés olajában megjelenik, így lehetőség van a közvetett vizsgálatra.

Papír vizsgálata:

1. Az olajban oldott furán vizsgálata – mint az a fentiekben látható volt – papír diagnosztikának számít.
2. Visszatérő feszültség (RVM) mérés: a papírszigetelésben lévő nedvességtartalmat és a felhalmozódott öregedési termékeket lehet ezzel a módszerrel kimutatni, ill. meghatározni, milyen fokú elnedvesedés ill. öregedés nem okoz még a legnagyobb üzemi hőmérsékleten tönkremenetelt (buborékképződést).
3. Veszteségi tényező (tg δ): a kapcsolokon mért veszteségi tényező értéke az olaj és a papír állapotától egyaránt függ, de értékét mégis inkább a szigetelőpapír állapot határozza meg, így inkább papír diagnosztikának tekinthető.
4. Szigetelési ellenállás: a szigetelésen átfolyó áram az egyenfeszültség rákapcsolása után közel exponenciálisan csökken és csak hosszabb-rövidebb idő elteltével állandósul. Az állandósult értéket a szigetelés geometriája és vezetési folyamatai határozzák meg. A szigetelési ellenállásnak a mérés 60. másodpercében leolvasott értéket tekintjük.
5. Abszorpciós tényező: a szigetelési ellenállásmérés 15. és 60. másodpercében leolvasott értékeinek hányados. Értéke a vezetéstől és a polarizációtól együttesen függ.
6. DP (Degree of polymerization - polimerizáció foka): csak kikapcsolt és kibontott transzformátor szigeteléséből vehető papírminta, így vizsgálatára csak ritka esetben kerül sor, főleg a közelgő élettartam vég meghatározására szolgál.

Átvezető szigetelő vizsgálata

Az átvezető szigetelő meghibásodása elég gyakori, így a diagnosztikájának elég nagy súlyozással kell lennie. Jelenleg a nagyfeszültségű átvezetők többsége ún. feszültségvezérlő fóliák alkalmazásával készül az egyenletes potenciál eloszlás biztosítására. A földeléshez legközelebbi potenciálvezérlő elektróda ki van vezetve, így

az ún. mérő elektródán” különböző villamos mérések végezhető. A leggyakrabban használt vizsgálati módszer a veszteségi tényező és a kapacitásmérés. A veszteségi tényező az átvezető szigetelő anyagát hivatott jellemezni, a kapacitásméréssel pedig a fóliák közötti átütést lehet ellenőrizni.

A fóliák egy soros kapacitás láncot képeznek. Ha a két fólia között átütés jön létre, akkor az átvezető még üzemelhet, azonban ezt figyelembe kell venni, mert ha több átütése esetén felrobbanhat az átvezető. Ha két fólia között átütés jött létre, akkor a soros kapacitás lánc eredője megnő. Például, ha 10 fólia került beépítésre és két fólia között átütés jött létre, akkor az eredő kapacitás kb. 10%-al megnő, ezzel diagnosztizálható a fóliaátütés.

Mechanikai állapot vizsgálata:

1. FRA (Frequency Response Analysis): a transzformátor tekercselés váltakozó feszültségre vonatkozó helyettesítő kapcsolása igen bonyolult, kölcsönös és öninduktivitások, kölcsönös és önkapacitások bonyolult kapcsolásából áll, amelyet 100-Hz – 1MHz tartományban szoktak mérni. Az így kapott spektrumnak számos rezonanciás pontja van, ezt használják fel diagnosztikai célra. Amikor a tekercs elmozdul, akkor megváltoznak az induktivitások és kapacitások, így a rezonancia frekvenciák is, ezzel követhető a tekercsek geometriai változás. Ha csak 50Hz-el mérjük, azt rövidzárási impedanciának nevezik (az FRA spektrum tartalmazza ezt az értéket).
2. Rövidzárási impedancia: 50Hz-es feszültséggel végzik, értéke jellemző a tekercsek elmozdulására, geometriai változására (lásd FRA mérést).
3. Részleges kisülés (PD) mérése: a transzformátor szigetelésében a részleges kisülések jelenléte arra utal, hogy a helyi igénybevétel meghaladja a villamos szilárdságot. A méréshez külső gerjesztő egységről kell táplálni a transzformátort, ezért ritkán áll rendelkezés PD érték. Kapható online PD monitoring rendszer, de ez is kevés helyen áll még rendelkezésre.

2 Nemzetközi kitekintés

Ebben a fejezetben sorra veszem a különböző nemzetközi gyakorlatokat a transzformátorok állapotfelmérésével kapcsolatban. A felmerülő kérdésekre nem létezik tökéletes válasz, így az tapasztalható, hogy az alapelveken felül számos megoldás létezhet. Az optimális megoldáshoz szükség van egyedileg meghatározni az igényeket az állapotfelméréssel, valamint a szolgáltatott diagnosztikai eredményekkel kapcsolatban.

Alapvetően elmondható, hogy az alapelvek mindenhol egyezők. Ez azt jelenti, hogy a transzformátor öregedése fő problémát jelent az eszközgazdálkodással foglalkozó szakembereknek valamint energia szolgáltatóknak, villamos energia rendszerüzemeltetőknek, elsősorban a különösen a nagy felmerülő költségek miatt. A különböző beruházások, karbantartások optimális elvégzéséhez a gazdasági, műszaki, környezeti, politikai szempontokból is megfelelő indoklásnak kell társulnia, így ennek megfelelően működő döntéstámogató rendszerekre van szükség.

2.1 TERNA (Olaszország) [2][3]

Az olaszországi TERNA csoport Európa legnagyobb villamosenergia-átviteli hálózat operátora, melynek tulajdonában áll az olasz Nagyfeszültségű átviteli hálózat. Az általa üzemeltetett távvezeték hálózat hossza 63500 km. Az ún. asset management-nek (eszközmenedzsment) szüksége van egy mérnöki döntéseket támogató eszközre. Erre a célra használják ún. Health Index-et. A Health Index (HI) nem más, mint egy érték, mely az eszközről rendelkezésre álló időszakos mérési és diagnosztikai eredményeket felhasználva az eszköz jelenlegi állapotát hivatott mutatni.

A TERNA tulajdonát képező transzformátorok átlagéletkora 21,3 év és idáig ezen berendezések cseréje korhoz kötött volt, azonban a HI segítségével az üzemeltetés az állapotfüggő gyakorlat felé orientálódik.

Az olasz módszer 2 paraméter matematikai kombinációjából számítja a HI értékét, ami kiemelt fontosságú a nagyobb transzformátor flották kezelésére:

1. táblázat HI számításra használt statikus és dinamikus paraméterek

Statikus	Dinamikus
<ul style="list-style-type: none"> • Keraunic szint (hely villámveszélyessége) • Alállomás elrendezés • Városok közelsége • Katasztrófa kialakulásának valószínűsége 	<ul style="list-style-type: none"> • Dielektromos • Termikus • Mechanikus • Olaj öregedés

A keraunic szint (Norma CEI 81-3 alapján) tartalmazza az olasz városok átlagos értékeit a földet elérő villámokat illetően. (villámcsapás/év*km²). Az alállomás elhelyezkedésének vizsgálata a Natural Breaks módszeren alapul. Itt a három szempont a terület típusa (farm/tanya, ipari, lakossági); népsűrűség (lakos/km²); és települések közelsége. Mindez egy 5 kockázati osztályt tartalmazó csoportosítást eredményez nagyon alacsonytól nagyon magas szintig.

A transzformátorok állapotát laboratóriumi és időszakos helyszíni mérésekkel figyelik. Online érzékelők a hibagázok, részkiülések, valamint veszteségi tényező mérésére adnak lehetőséget.

A transzformátor állapotát dinamikusan meghatározó tényezők:

- Dielektromos és termikus (hibagázok: hidrogén, metán, etán, etilén, acetilén)
- Tisztán termikus (Furán, CO₂, CO, CO₂/CO)
- Mechanikai (Induktivitás + SFRA + FDS/PDC)
- Olaj (nedvességtartalom, savtartalom, átütési feszültség, DDF)

Az operátor által használt határértékek nemzetközi szabványokból (IEC, IEEE, CIGRE), valamint szolgáltatói tapasztalatból tevődnek össze.

2. táblázat TERNA vizsgálatokon alapuló határértékek

TERNA teljes vizsgálat (5908 eset)				
[ppm]	90th	95th	97th	99th
H ₂	104	207	321	654
CH ₄	210	328	558	1251
CO	631	846	1013	1288
CO ₂	5791	7262	8137	10979
C ₂ H ₄	179	419	848	1914
C ₂ H ₆	231	320	387	538
C ₂ H ₂	9	48	86	196

3. táblázat CIGRE szabvány határértékei

CIGRE 443					
[ppm]	Tipikus	Szint 2	Szint 3	Szint 4	PF
H ₂	100	180	254	403	725
CH ₄	80	129	170	248	400
CO	500	766	983	1372	2100
CO ₂	8900	14885	20084	29980	50000
C ₂ H ₄	170	270	352	505	800
C ₂ H ₆	55	126	205	393	900
C ₂ H ₂	3	13	32	102	450

A fenti táblázatban megfigyelhetőek a különbségek az alkalmazott és a szabványban megfogalmazott határértékek között. A szolgáltatói tapasztalatból származó határértékek a transzformátor flottára vonatkozó értékek. A flotta transzformátorainak állapotához igazítva alakultak ki a határértékek. A 90. percentiliséhez tartozó határérték azt jelenti, hogy az üzemben lévő transzformátorok 90%-ának ezen határérték alatt van a fizikai értéke. A PF (pre fault) azt a szintet jelzi, amikor az adatok érték előjelzéshez szükséges szintet ér el.

A számítás a dinamikus paraméterek alapján, ahol a $\max=14$:

1. egyenlet

$$HI_{(\text{viszonylagos_egység})} = \frac{HI_{\text{dielektrikus}} + HI_{\text{termikus}} + HI_{\text{mechanikus}} + HI_{\text{olaj}}}{Max}$$

A végleges besorolásra az olasz rendszerben következő módon kerül sor:

4. táblázat

HI	Állapot	Szín
0-0.10	Nagyon jó	Zöld
0.10-0.20	Jó	Havány kék
0.20-0.30	Kielégítő	Citromsárga
> 0.30	Rossz	Piros

Áttekintve a többi szakirodalomban hozzáférhető ilyen jellegű munkákat, a TERNA megoldásának egyik jellegzetessége, hogy a szokásos diagnosztikai jellemzők számbavétele mellett számos, az állapotot többé-kevésbé befolyásoló paramétert „statikus” címszó alatt is figyelembe vesz:

- Keraunic szint (hely villámveszélyessége)
- Alállomás elrendezés
- Városok közelsége,
- Katasztrófa kialakulásának valószínűsége.

További TERNA jellegzetesség, hogy a 90, 95, 97, és 99-es százalékkal előforduló értékekkel is számol, melyek az adatbázisból rendelkezésre állnak. Ezenkívül a végső besorolásra egy szöveges értékelés (nagyon jó - rossz) ill. egy szín (zöld-piros) is rendelkezésre áll.

A fejezetben említésre kerültek további vizsgálati módszerek, ezen mozaikszavaknak a magyarázata a következő:

SFRA = Sweep Frequency Spectrum Analysis

FDS = Frequency Domain Spectroscopy

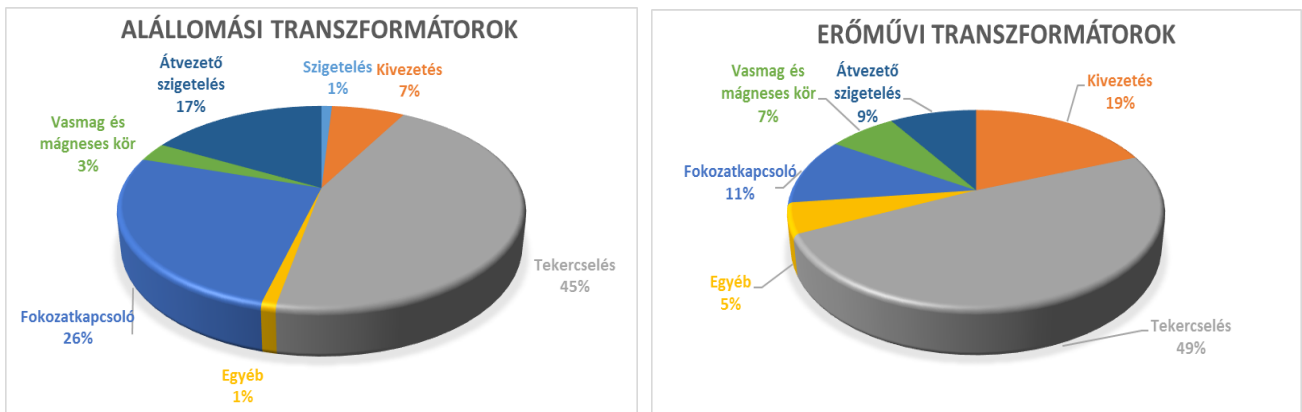
PDC = Polarisation Depolarisation Current

DDF = Dielectric Dissipation Factor

2.2 Labelec (Spanyolország) [4]

A villamosenergia-termeléshez, szállításhoz, valamint elosztáshoz szükséges a transzformátorok megbízhatósága, a költségek kontrollálása és a befektetések megtérülése.

A transzformátorokat két nagy csoportra bonthatjuk, így erőművi és alállomási transzformátorokat különböztethetünk meg. A hálózatban betöltött szerepük miatt másképpen viselkednek. Az alállomási transzformátorokra jellemző, hogy nincsenek gyakran 50% fölé terhelve. Mindez azt jelenti, hogy az erőművi és alállomási transzformátorok hibáinak okai eltérőek lehetnek. Arányaiban a különbség igazán a fokozatkapcsoló és átvezető szigetelő hibáinál figyelhető meg. Ezen elemek az alállomási transzformátorokban jóval gyakoribb hibaokok, igaz az erőművi transzformátorok jóval kisebb százaléka van fokozatkapcsolóval felszerelve. A hiba okokat tartalmazó diagram 16 ország 48 szolgáltatójának adatait mutatja, összesen több, mint 450 hibát figyelembe véve.



1. ábra Alállomási és erőművi transzformátorok hibaokainak százalékos megoszlása

Az állapotot a Condition Index módszer-el határozza meg. 4 elsődleges jelző mutatót vesz figyelembe:

- olajvizsgálat,
- villamos vizsgálatok (veszteségi tényező és gerjesztő áram),
- üzemeltetési és karbantartási előzmények,
- a transzformátor kora.

A besorolási értékek 0,1,2,3 értéket vehetnek fel, ahol 0 legrosszabb besorolást jelenti. A kimenet lehetséges értékei 0-10-ig terjednek, ahol a 10 a legjobb állapotot jelzi. A súlyozás az indikátorok fontosságától függ.

5. táblázat Példa a súlyozási faktorok használatára

Állapotjelzők	Súlyozási faktor
Olaj vizsgálat	1,143
Veszteségi tényező és gerjesztő áram vizsgálata	0,952
Üzemelési és karbantartási előzmények	0,762
Kor	0,476

A Labelec rendszerében használ továbbá Criticity Indexet (IC). Ez százalékokban adja meg a kockázatot ezer euróban mérve. A kockázat egyenlő az üzemem kívül töltött idő miatti veszteség, például hiba miatt.

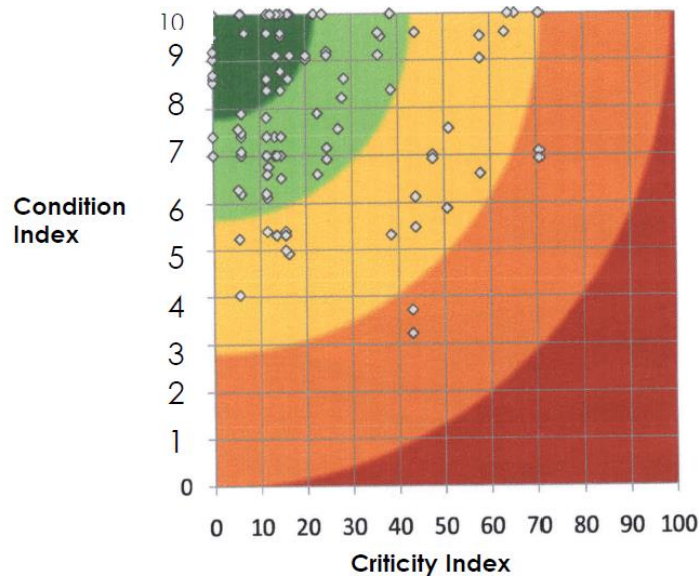
A rendszer definiál elsődleges (fenti felsorolás) és másodlagos indikátorokat, ahol a másodlagos indikátorok a „Condition Index” (CI) végleges beállítására hivatottak. Az elsődleges értékek alapján számolt CI-ből levonva a másodlagos CI

értékét kapjuk a teljes „Condition Index-et”, mely 0-10 közé esik. A végleges eredmények értékelése: 10-7 között jó, 7-3 között megfelelő és 0-3 között rossz az állapot.

Példák másodlagos paraméterekre:

- Rezgésmérés
- FRA (frekvencia válasz módszer)
- Rövidzárási impedancia
- Részkisülés mérés

A Condition Index és a Criticity Index együttes figyelembevételével sávok a határozhatók meg arra vonatkozólag, hogy hol érdemes beavatkozásokat eszközölni.



2. ábra Beavatkozási lehetőségek a Condition és Criticity Index figyelembe vételével

Áttekintve a szakirodalmi lehetőségeket, a Labelec rendszerében az az újdonság, hogy a másoknál megszokott állapotparamétereken kívül, criticity index-et, azaz „kritikus állapot index”-et is használ, amellyel gazdaságossági szempontokra is figyel. Ez egy előrejelző lépés a kiesések elkerülésére.

Valamint az is különbséget jelent, hogy a rendszer működése trendanalízisre épül, mert a condition index kialakításában pl. a HGA értékeknél ppm/hó mértékegységben a gázképződés sebességét veszi figyelembe.

Az eredmény végső kialakítása elsődleges és másodlagos jellemzők játszanak szerepet. Amit szeretnék kiemelni, hogy a másodlagos mutatók között olyan mérések is szerepelnek, melyek a TÁT rendszerben kiemelt mérésekként vannak kezelve. A

mutatók súlyozását az is nagyban befolyásolhatja, hogy az adott mérések mennyire széles körben elvégezhetők és állnak rendelkezésre a szolgáltatóknak.

2.3 Transzformátorok élettartam menedzselése (Románia) [6]

A berendezések élettartamára különböző fogalmakat definiálnak:

- Hasznos élettartam: években kifejezve a várható üzemidő.
- Gazdasági élettartam: években kifejezve, ameddig az egység gazdaságosan üzemeltethető, egyébként le kell selejtezni. Gyakran nem egyezik a fizikai élettartammal. A gazdaságosság felől közelítve a gazdasági élettartam az, amíg megéri fenntartani a berendezést az üzemeltetőnek.
- Fizikai élettartam: amikor a berendezés már fizikailag nem képes betölteni a szerepét a hálózaton, vagy még hálózaton tudna maradni, de már nem gazdaságos az üzemeltetőnek.
- Abszolút fizikai élettartam: amikor már igen nagy kockázattal meghibásodási lehetne csak üzemben tartani.
- Normál üzemi élettartam: ami alatt az előírt paraméterek mellett működtethető a transzformátor.

Analizálva a fent említett fogalmakat, a hasznos élettartam megegyezik a normál üzemi élettartammal.

Az itt használatos szoftver a kiértékelésre a Nova Transpower szekértői rendszer. A szoftver több modullal rendelkezik, mely nagyfeszültségű technikai berendezések állapotát hivatottak felmérni.

A Transpower szoftver külön modulokkal rendelkezik a transzformátor és söntfójtó, áram- és feszültségváltók, túlfeszültség levezetők, valamint a megszakítók állapotának felmérésére. [5]

A cikk részletesen bemutatja az állapotfelmérésre használt mérési módszereket és azok súlyát a végleges eredmény kialakításában. Az alábbi ábrán a transzformátor olaj állapotának mutatói és azok súlyozása szerepelnek:

6. táblázat Transzformátor olaj állapotjellemező mérései, súlyozási értékek

Állapotjellemező	Mérések, tesztek	Fontosság, ill. súlyozási érték
Transzformátor olaj állapota	Szín	2
	Sűrűség	1
	Átütési feszültség	10
	Veszteségi tényező (tgδ)	10
	Víztartalom	10
	Semlegesítési szám	2
	Lobbanáspont	1
	Kinematikai viszkozitás	1
	Határfelületi feszültség	5
	DC ellenállás	2
	Részecsketartalom	2
	Üledék tartalom	1
	Oxidációs stabilitás	2
	Szervetlen kloridok és szulfát tartalom	1
	Inhibitor tartalom	2
	Összes kéntartalom	5
Szén típus összetétel	1	
Furántartalom (2-FAL és rokonvegyületek)	5	

Ezen felül az állapotfelmérés kiterjed a transzformátor aktív részének, átvezető szigetelőjének, terhelés alatti fokozatkapcsolójának, olaj konzervátorának állapotára. További tényezők a múltbeli üzemeltetési körlmények és a transzformátor kora.

A legnagyobb, tehát tízes súllyal a következő mérési eredményeket veszik figyelembe:

- Összes éghető gáz tartalom
- Gáztartalom: H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, C₃H₈, C₃H₆, CO, CO₂, O₂, N₂
- Kisfeszültségű impulzus módszer (Low-voltage Impulse method): a tekercs impedancia spektrumának meghatározására használatos (mechanikai tekercs elmozdulásra használják, mint az FRA módszert)

- FRA- Frequency Response Analysis
- PDC- Polarizációs és depolarizációs áram mérése
- Olaj átütési feszültsége
- Veszteségi tényező (tgδ)
- Nedvességtartalom

Kiemelendő, hogy a fent felsorolt mérési eredmények jelentősen kiemelkednek a súlyozás miatt, a többi mérési eredmény túlnyomó részt ötös, kettes, valamint hetes súlyozással rendelkezik.

Az állapotokat az alábbi táblázatban foglaltaknak megfelelően pontozzák:

7. táblázat Állapotok kategóriái és pontszámok

Állapot kategória	Állapot leírása	Állapot pontszám
Jó	Nincs üzemeltetésre korlátozott feltételt meghatározó hiba.	2
Elfogadható	Kis degradáció. A transzformátor normál üzemben tartható.	1
Gyenge	Közepes degradáció. A transzformátor üzemben tartható, de nem teljes igénybevétellel a jövőre nézve.	0
Elfogadhatatlan	Komoly hiba, a transzformátor nem maradhat üzemben.	Előjelzés

Az állapotfelmérés és minősítés a kapott THI-nek (Transformer Health Index) megfelelően a következőképp történik.

8. táblázat Health Indexek határértékei és ehhez rendelt javasolt mérések listája

Szám	Transzformátor Health Index	Javasolt mérések
1	$85 \leq \text{THI} \leq 100$	a- Normál üzemeltetés és karbantartás korlátozások nélkül
2	$55 \leq \text{THI} \leq 85$	a- Folyamatos működésre alkalmas, de az üzemeltetési és karbantartási eljárások újra értékelése szükséges
		b- Szükségesek kiegészítő vizsgálatok és egyéb műszaki támogató rendszerek bevonása az értékelésbe
		c- Pénzügyi és működési kockázat szempontjából is kell értékelni.

		d- Értékelési folyamat megismétlése szükséges, szakértői javaslat mentén.
3	$10 \leq \text{THI} \leq 55$	a- Sürgős értékelés szakértő bevonásával b- Szakértői konzultáció összehívása c- Transzformátor javításának, felújításának, vagy cseréjének megkezdése
4	$\text{THI} \leq 10$	a- Transzformátor üzemeltetését meg kell szüntetni b- Szakértők és gyártói elemzések elkészítése, megoldások a javításra és cserére.

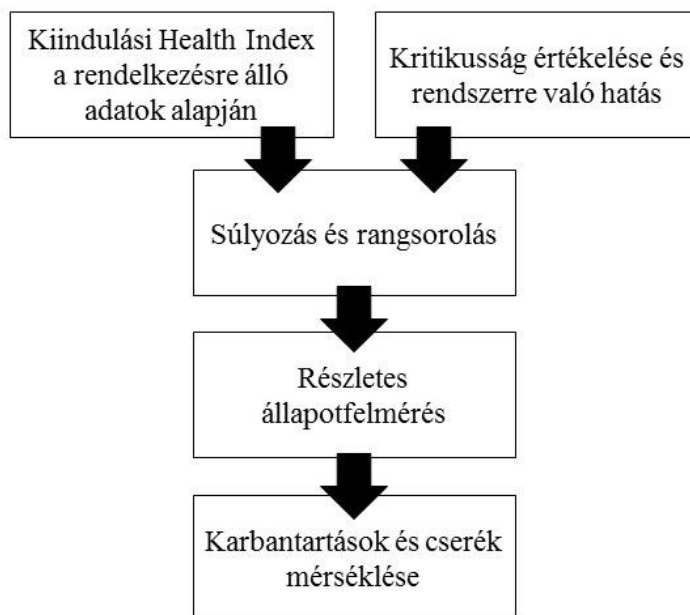
Áttekintve az alkalmazott megoldást elmondható, a mérési metódusok felhasználásban az általánosan alkalmazott méréseket használja fel, kitérve lehetőleg minél több vizsgálatra. A kiértékelésnél és besorolásnál szöveges útmutatót ad a teendőkre (nem szükséges semmilyen beavatkozás, ill. kiegészítő méréseket kell végezni, meg kell ismételni méréseket, szakértői konzultáció szükséges, ..., a transzformátort selejtezni kell). Ez úgy gondolom nagyban hozzájárul ahhoz, hogy a kapott eredmények megfelelően legyenek átültetve a gyakorlatba, ahol a transzformátorok karbantartásainak, cseréinek tervezése zajlik.

Ahogy romlik a Health Index értéke, úgy kerül minél körültekintőbben, szakértők bevonásával kiértékelésre a kapott Health Index. Szükség esetén jól meghatározva kezdeményezhetők mérések újra elvégzése az eredmények helyességének ellenőrzésre, valamint több szakértő együttes véleményével alakítható ki a műszakilag és gazdaságosságilag is helytálló transzformátor menedzselési eljárás. Ez azt eredményezi, hogy a lehető legoptimálisabb beavatkozás tehető meg.

2.4 GE Energy-Alállomási eszköz optimalizálás [7]

A Health Index egy praktikus eszköz az alállomási eszközök, ezen belül például a transzformátor állapotának meghatározására. Az elérhető adatok alapján egy előzetes állapotot állapítanak meg, mely tovább pontosítható, szükség esetén elvégzett további részletes vizsgálatokkal.

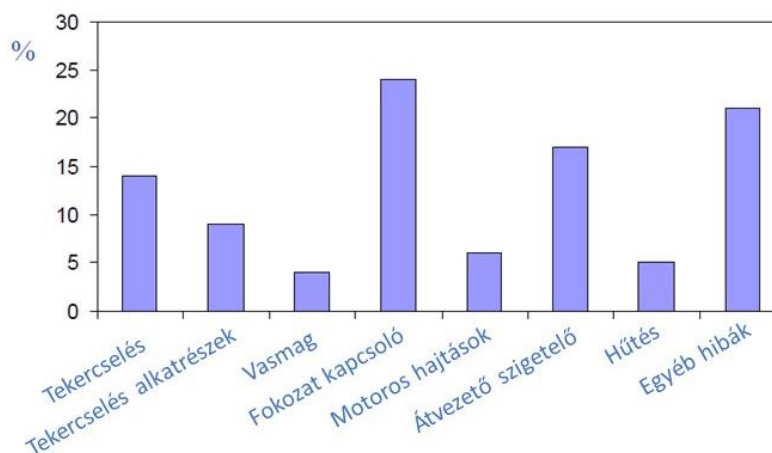
Az eszközmenedzsment folyamata a következőképp néz ki:



3. ábra Eszközmenedzsment folyamata

A Health Index struktúrája úgy épül fel, hogy a rendelkezésre álló adatokat összegyűjtik minden transzformátor komponensről. Ezután súlyt kell rendelni relatív fontosságuk alapján a transzformátor komponenseihez, hogy a meghibásodására vonatkozólag következtetéseket lehessen levonni. A súlyozás történhet a múltbeli hibák elemzésével is.

Ausztrália és Új-Zéland
457 hiba alapján az elmúlt 10 évben



4. ábra Hiba okok százalékos megoszlása egy transzformátor populációban

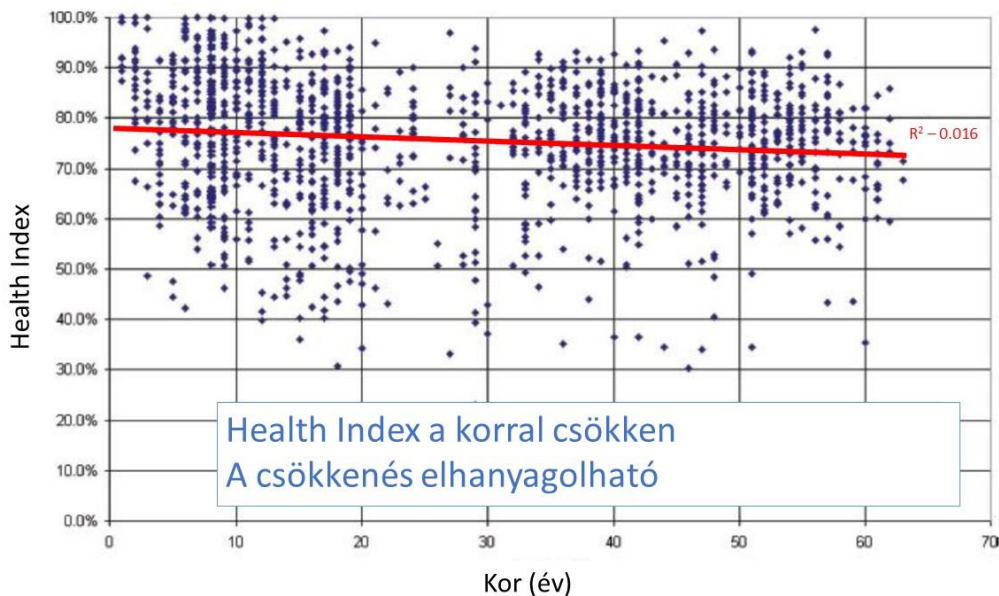
A GE szakemberei alkalmaznak fokozatkapcsoló, átvezető szigetelő, és hűtési rendszer HI-t is, melyekben a különböző állapotjellemzőket súlyozzák. A fenti ábra azt

mutatja, hogy a hibák megoszlása is változó lehet. A fentieket is figyelembe véve a súlyozás a következőképpen oszlik meg százalékosan.

9. táblázat Állapotjellemzők százalékos megoszlása

A különböző tényezők súlyozása	
Vasmag	30%
Fokozatkapcsoló	25%
Átvezető szigetelés	25%
Hűtési rendszer	10%
Transzformátor üzemelési előzményei	10%

A GE gyakorlat szerint a korral a HI értéke csökken, de csak nagyon minimálisan, mint ahogy az alábbi ábra ezt mutatja.



5. ábra Health index csökkenése egy populációban

A részletes vizsgálatokat akkor végzik el, ha ezt az előzetes értékelés indokolttá teszi, valamint az adott berendezés hibája jelentősen befolyásolja a hálózat üzembiztonságát. Ehhez ún. „Criticalty Index-et” használnak. A részletesebb vizsgálatok több hibagázanalízist, FRA, PD, fokozatkapcsoló átmeneti ellenállás, zaj és rezgésméréseket, stb tartalmaznak.

A cikk megemlíti hogy a tapasztalt nyugdíj előtt álló szakszemélyzet és többi alkalmazott között tudásbeli szakadék van. Ez nagyban megnehezíti a rendszer összességében vett gördülékeny működését. A kialakított rendszer azonban nagyon jó lehetőséget nyújt a humán erőforrás jobb felhasználására. Ezt fontos szempontnak tartom egy jól működő rendszer kialakításához. Nem elég csak és kizárólag a műszaki feltételek biztosításával foglalkozni egy hatékony folyamat rendszer kialakításához.

2.5 Egyesült Királyság-UK [8]

A transzformátorok cseréje az életkor helyett elsősorban az állapot és kritikusság függvényében kell történnjen, mert bár van összefüggés a kor és állapot között az egyes egységek romlása sokféle romlási folyamatból tevődik össze. Ezt az támasztja alá, hogy egyes transzformátorok már a várható élettartamuk előtt nem üzembiztosan működtethetőek, viszont némely transzformátorok a várható élettartamukhoz képest jelentősen tovább üzembiztosan működtethetőek.

A transzformátor állapota az Asset Health Index (AHI) kategóriájaként vehető figyelembe. Használata a cserék és karbantartások ütemezésére az ún. „kritikussági faktorról” (criticality factor) kombinációban történik.

Azon transzformátor alkatrészek száma, melyek befolyásolják a gyors újbóli üzemvitelt szorosan kapcsolódnak a csere stratégiához, valamint a nem tervezett meghibásodási rátákat is befolyásolják. A legtöbb alkatrész cserealkatrészként való használata hozzájárulhat a teljes eszközprogram hatékonyabb működéséhez.

Mint az előző fejezetekben említésre került, az élettartamot legjobban befolyásoló tényező a papír öregedése a szigetelő anyagban. A papír öregedését három fő tényező befolyásolja: mechanikai, termikus és oxidációs, valamint hidrolitikus degradációk. A transzformátor belsejében lévő állapotok befolyásolják leginkább a degradáció fokát. Ezt mérni a DP (Degree of Polymerisation) mérésével, azaz a polimerizáció mértékével lehet megállapítani a transzformátorból eltávolított mintából.

A DP értéke a transzformátor telepítésekor 1000-1200, mindez az élettartam végére kb. 200-ra csökken. Ekkor a papír törékennyé és rideggé válik. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a már selejtezett transzformátorok közül 108 db 11 és 50 év élettartamú transzformátorból vett minta nagy része jó, tehát 300-400 körüli DP értéket mutatott. 100 és 200 között 20 transzformátor értéke volt. Mindez mutatja az állapotvezérelt stratégia szükségességét az időalapú stratégiával szemben.

A megfigyelték alapján kiemelt faktor a meghibásodásokban, hogy a hűtési rendszer kialakítása hiányos, nem megfelelő, ezért a szigetelés túlmelegedhet, mely jelentősen csökkenti az élettartamot. A hibának pontos jellege azonban a transzformátor telepítési helyétől, környezetétől és táplálásától is függ.

Az Asset Health Index állapot értékei:

A transzformátor készítési körülményeit, múltbeli üzemeltetését, valamint teszt értékeit figyelembe véve készültek az AHI értékek, valamint tartományok.

10. táblázat Asset Health Index értékeinek állapotinformációi

AHI	Állapot Információ
1	Határozottan meghatározható, hogy komoly hiba lépett fel és ez a helyszínen nem javítható. A hiba azonosítható és rövid időn belül meghibásodáshoz vezethet (kevesebb, mint 5 év).
2a	A fejlődő problémáról rendelkezésre állnak adatok, melyek a transzformátor hosszú távú üzemelésében bizonytalanságot mutatnak. A transzformátor várhatóan 5 éven belül 1-es AHI kategóriába kerül.
2b	A fejlődő problémáról rendelkezésre állnak adatok, melyek a transzformátor hosszú távú üzemelésében bizonytalanságot mutatnak. A transzformátor várhatóan 10 éven belül 1-es AHI kategóriába kerül.
2c	A hosszú távú megfelelő állapotot befolyásoló problémáról rendelkezésre állnak adatok, de kifejlődésük nem várható 10 éven belül. Benne foglalja azokat az okokat amikor a probléma lelassult vagy megállt az üzemeltetés vagy korrekciós intézkedéseknek köszönhetően.
3a	A transzformátor javítást követően nem mutat jeleket a lehetséges problémára és hosszú távú megbízhatóságra vonatkozóan.
3	A problémára nincsenek bizonyítékok, de a gyártási hibákat figyelembe véve nagyobb az esély a meghibásodásra.
4	Megfelelő állapot. Nem ismert konkrét vagy általános probléma.

A transzformátor populáció rangsorolásához egy folyamat kapcsolódik. A rangsorolási folyamat a rendszer minden egyes transzformátorát értékeli, ennek megfelelően a csere stratégia a következőkön alapul:

- Asset Health Index
- Kritikussági faktorok a biztonság, rendszer és környezet szemszögéből

Az általános állapot az AHI kategóriákat figyelembe véve a következő pontszám értékekhez kapcsolódnak:

11. táblázat Pontszámnak megfelelő AHI értékek

Pontszám	Általános AHI érték
< 30	3 or 4
30 – 59	2c, 3 or 4
60 – 99	2a, 2b or 2c
≥ 100	1 or 2a
Bármely tényező meghaladja a 100 értéket	1

A hibagáz analízis, valamint működési előzmények és villamos vizsgálatokat figyelembe véve a dielektromos állapot szempontjai és pontszámai:

12. táblázat Dielektromos állapotok szempontrendszere

Pontszám	Dielektromos állapot szempont
1	Nem ismert probléma. Minden gáz a normális értéken (hidrogén < 20% az összes éghető gáznak, metán és etán <15%, nyomokban etilén, valamint nem kimutatható az acetilén)
3	Kis mértékű acetilén kimutatható a HGA tartályban. A fő tartályban rejtett vagy időszakosan létrejövő ív/szikra vagy részleges kisülés.
10	Elszórt gázosodás. Meleg transzformátor állapotnak megfelelő gáz képződés (nem szokványos metán és etán képződés) Egyenletes ív, szikra és részleges kisülések.
30	Túlmelegedési hiba (etilén nem szokványos értéke) Ív, szikra és részleges kisülések a fő tartályban.
60	Súlyos ív, szikra és részleges kisülés jelzések.
100	Nagyon súlyos ív, szikra és részleges kisülés jelzések.

A termikus állapot a hibagázok, valamint az olaj furán tartalma alapján vannak értékelve, figyelembe véve továbbá az üzemelési előzményeket és a villamos adatokat. Az egyedi furán eredmények kevésbé megbízhatóak, mert a hőmérséklet, nedvességtartalom és szennyeződés befolyásolja, ezért szükség van egy trendre, ami általában minimum 3 konzisztens eredmény meglétét igényli. A termikus igénybevétel az öregedés előrehaladtával nő.

13. táblázat Termikus állapotok szempontrendszere

Pontszám	Termikus állapot kritérium
1	Nincs jel az öregedésre (a hisztorikus furántartalom csúcserkéke < 0.10 ppm)
3	Kis mértékű öregedés (a hisztorikus furántartalom csúcserkéke 0.10 -0.50 ppm, fajlagos ellenállás 1-10 GΩm)

10	Mérsékelt öregedés (a hisztorikus furántartalom csúcserőértéke 0.51 -1.00 ppm) Meleg transzformátor állapotnak megfelelő gáz képződés (nem szokványos metán és etán képződés)
30	Kialakuló öregedés (a furántartalom folyamatosan > 1 ppm). Túlmelegedés, olaj termikus degradációjának jelzése (savtartalom > 0.15mg/g KOH, fajlagos ellenállás < 1 GΩm)
60	Nagyon előrehaladott öregedés, ahol a hisztorikus furántartalom csúcserőértéke > 1.5ppm
100	Az öregedés előrehaladott állapotát az jelzi, hogy hasonló transzformátorok ilyen állapotnál már leselejtezésre kerültek. Komoly túlmelegedés.

A mechanikus állapot FRA eredményekből, az előző évek mérési adataiból, valamint az idetartozó HGA eredményekből tevődnek össze.

14. táblázat Mechanikus állapotok szempontrendszere

Pontszám	Mechanikus állapot kritérium
0	Nem elérhető információ.
1	Nem ismert probléma.
3	Rendellenes FRA eredmények a legutolsó felmérés időpontjában. Nem tartalmazza a feltételezett mechanikus sérülést.
10	Rögzítés meglazult.
30	Feltételezhető a tekercsek mechanikus sérülése. Nem tartalmazza azokat az eseteket, amikor a keletkező károsodás bebizonyosodik.
100	Tekercsek mechanikai károsodása megerősített.

Kombinálva a természeti körülményeknek való kitettséget és a sebezhetőséget kapható besorolás a biztonsági és környezeti kritikusságra. A pontszámoknak megfelelően a besorolás a következőképpen alakul.

15. táblázat Környezeti és biztonsági tényezők figyelembe vétele

Kitettség	Sebezhetőség			
	1	2	3	4
1	Nagyon magas	Magas	Közepes	Alacsony
2	Magas	Magas	Közepes	Alacsony
3	Közepes	Közepes	Közepes	Alacsony
4	Alacsony	Alacsony	Alacsony	Alacsony

Az Asset Health Index (AHI) a transzformátor kritikussági értékével párosítva az alábbi táblázatban foglaltaknak létrehoz egy prioritást a karbantartásokat és cseréket illetően.

16. táblázat AHI és kritikussági paraméterek összevetése

Kritikusság	Nagyon magas	Magas	Közepes	Alacsony
AHI	1	2	3	4
1	0-2	0-2	2-5	2-5
2a	0-2	2-5	5-10	5-10
2b	2-5	5-10	5-10	10+
2c	5-10	5-10	10+	10+
3, 3a	10+	10+	10+	10+
4	10+	10+	10+	10+

2.6 Hydro-Québecs TransÉnergie – Canada [9]

A kanadai Hydro-Québecs TransÉnergie több, mint 2000 transzformátort üzemeltet, melynek átlagos életkora 32 év, és ennek fele 30 év feletti transzformátorból áll. A transzformátorok értékelése 9 tényező figyelembe vételével adódik, melyben mind a teljesítményre, mind az aktuális mért értékekből következő állapotra vonatkoznak tényezők. Minden egyes tényező 0-tól 2-ig kap értéket.

17. táblázat Kilenc transzformátor állapotjellemző az állapotfelméréshez

Jellemző	Leírás
Hasonló transzformátorok hibarátája	A meghibásodási adatok a kevésbé megbízható transzformátor családokat hivatottak azonosítani. A transzformátor csoportok azokat a berendezéseket jelentik, melyek azonos jellemzőkkel rendelkeznek, gyártó, sorszám vagy gyártási év stb. szerint.
Szilárd szigetelés	A papír öregedését a transzformátor olajban lehet detektálni, méghozzá a metanol, furán vagy CO/CO ₂ tartalommal. (mindez a rendelkezésre álló adatoktól függ)
Olajban oldott gáz analízis (hibagáz analízis)	A HGA indexek a különböző mért gázok abszolút értékét, fejlődését, valamint a gázok rangsorolását jelenti.
Terhelés alatti fokozatkapcsoló	A fokozatkapcsoló (OLTC) megbízhatóságáról ad információt (gyártás és karbantartás szemszögből).
Átvezető szigetelő	Az átvezető szigetelő típusáról, megbízhatóságáról, valamint karbantartásokról szolgáltat információkat.
Nedvességtartalom	A nedvességtartalom az olajban a papír szigetelés nedvességtartalmára ad következtetést.
Olajvizsgálatok	Az olaj minőségét a savtartalom, határfelületi feszültség, dielektromos szilárdság és teljesítmény tényezője alapján határozzák meg.
Kiegészítő elemek megbízhatósága	Ez a mutató a kiegészítő elemek, alkatrészek problémáinak megoldását hivatott jelezni, a karbantartások számának figyelemmel kísérésével.
Olajszivárgás	A karbantartások számával az olajszivárgásokról ad információt.

Kevesebb, de jól definiált jellemzőt vesz figyelembe, mint az áttekintett átlagos rendszerek. A legfontosabb jellemzők itt is szerepelnek, mint a hibagáz analízis, olajvizsgálat, nedvességtartalom, valamint szilárd szigetelés állapota. Mindezek mellett a kiegészítő elemek állapotára és olajszivárgásra is kitér a szempontrendszer.

Ami külön kiemelendő, az az első szempont miszerint a hasonló tulajdonságokkal rendelkező transzformátorok feltételezhetően hasonló problémákat vethetnek fel, így érdekesebb csoportosan vizsgálni őket.

2.7 Doble Engineering – Tony McGrail [10]

A Doble Engineering a világ 110 országában segíti a villamos energia ipar résztvevőinek munkáját. Fő profilja a diagnosztikai eszközök és szolgáltatások transzformátorokhoz, valamint a védelmek, megszakítók, forgógépek, kábel és kapcsolókészülékek is a tudásbázis része. Több laboratórium is rendelkezésre áll a tesztelések elvégzéséhez.

A vállalat szemszögéből a Health Index a következőképp néz ki:

A transzformátor meghibásodások kétharmada külső okoknak köszönhető.

Jogosan felmerülő kérdések, hogy milyen skálát használunk. Abban az esetben ha 1-10-ig terjed a skála, ahol az egy a jó állapotot hivatott jelezni, a tíz pedig a meghibásodás közelit, mit jelent a hatos pontszám? Továbbá:

- Hogyan hasonlítható össze a hatos pontszám a héttel?
- A hatos hiba azt jelenti a hármas értékhez képest, hogy kétszer nagyobb a valószínűsége a meghibásodásra?
- Mennyire tekinthetők precíznek ezek a számok?
- Mennyire hasonlítható össze a Health Index a meghibásodás valószínűségével?

A kulcs az értékek kinyerésében rejlik.

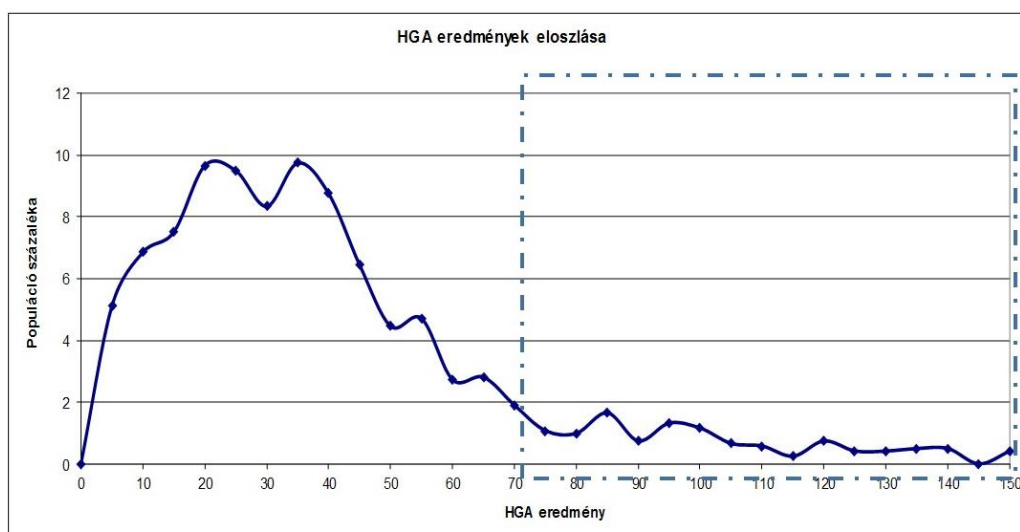
A tanulmány kitér arra is, hogy milyen alkalmazott indexelések léteznek:

- 1,5,10
- 1,2,3,4
- 1-10
- 1,3,10,30,100

- 1-100

Azonban kiemelendő, hogy a számoknak hogyan adnak jelentést.

A Doble egy a kulcsfontosságú gáz arányokat figyelő algoritmust fejlesztett ki és alkalmazott, valamint úgy hangolta, hogy az ismert gyenge teljesítményeket jelezze. Az eredmény 0-150-ig egy érték, ahol minél kisebb a szám annál jobb eredményt jelent. Az eredményeket 1000 transzformátornál nagyobb populációra vizsgálva az ábrán látható értékeket kapták. Az érdekes eredmények a 75-nél nagyobb eredmények, de kérdés, hogy mindez a transzformátor tényleges “egészségét” jelzi-e?



6. ábra Új kiértékelés metódus eredményei a populáció százalékára vetítve

A hidrogén esetére nézve, mindez azt jelenti, hogy 20%-os növekedés adja az első előjelzést, valamint 40%-os növekedés után magas szintű jelzést küld. Ezek után a kérdés, hogy pontszámot kapjanak a különböző eredmények.

Két fontos felmerülő kérdés:

- Tényleg mindent értékelni kell és utána összeadni, vagy valamilyen kombinációt létrehozni? Hiszen ugyanolyan eredményekkel rendelkező transzformátorok más jellegű beavatkozást igényelhetnek.
- Hiányzó adatok esetében hogyan lehet bízni a kapott előrejelzésben, értelmezésben? A nyers 1-10 értékek az értékelés és súlyozások után adódik. Mi a legrosszabb pontszám abban az esetben, ha az acetilén egyedül rossz? A súlyozás hatása kisimíthatja a komoly változásokat, hatására a jelentős eltéréseket elvesztjük?

A Health Index-szel kapcsolatban a prioritások a cserék, karbantartások és felújítások tervezése, valamint az ehhez kapcsolódó tőkekövetelmények meghatározása. Az ehhez kapcsolódó kockázat pedig a valószínűségek és következmények kombinációja. Valamint fontos tényezők még a környezetre (SF6 gáz, olaj) és a megbízhatóságra (SAIDI, SAIFI) gyakorolt hatás.

Az egészség vagy állapot (Health ill. Condition) a hiba valószínűségének helyettesítésre van kitalálva. De:

- sok hiba külső okból jön
- nincs meg minden adat
- a hatások bizonytalanok (precízió és pontosság, valamint mennyibe kerül, ha nem jár sikerrel)

Tehát van különbség a meggyőződés és a valószínűség között.

A Health Index egy útmutató, ezért hasznos, de óvatos és körültekintő használattal lehet eredményesen használni. A pontatlanságok a hiányzó adatok miatt, a számosítás miatt, valamint az eltérő értelmezés miatt adódhat.

Összességében azt mondható, hogy áttekinti az eddig HI-nek vett tényezőket, pontozási metódusokat, és feltételezett gyenge pontot saját fejlesztéssel egészítette ki. Pozitívumnak tekintem, hogy nem csak az abszolút értékekkel, hanem a gázarányokkal is foglalkozik.

Felmerülnek kérdések is a cikkben, mely arra világít rá, hogy mi a helyes irány az indexek kialakításában. Tehát a lehető legtöbb tényezőt kell-e vizsgálni, majd összeadni, vagy akár súlyozni ezeket. Mindenképp érdemes foglalkozni azzal, hogy mely tényezők figyelembevételével lehet a legpontosabb eredményre jutni. Kitér a lehetséges bizonytalanságot okozó tényezőkre és kiemeli a HI tényező óvatos, körültekintő használatát, hiszen önmagában véve célja egy útmutató biztosítása.

2.8 Szerbia [11]

Az előadásban a Health Index, mint eszközmenedzsment része van elemezve. Az eszközmenedzsment egy együttműködő stratégia a teljesítmény, költségek és kockázatok kiegyensúlyozására. Az eszközmenedzsment szempontjából a kulcstevékenység a karbantartás. A kockázatértékeléskor egy elem rossz állapota csökkenti a megbízhatóságot. A Health Index lehetővé teszi numerikus értékelést. A

négy fő szempont az öregedés értékelésében: Termikus, villamos, mechanikus és külső tényezők. A vizsgálati eredményekből négy fő esetet különböztetnek meg. Jó, Kielégítő, Gyanús, és Rossz.

Minden mérési módszer súlytényezőt kap a fontosságának megfelelően, valamint a meghibásodási tapasztalatok alapján. A módszer megbízhatóságát is figyelembe veszi a rendszer. A múltbeli eseményekről kitöltött ívekből kaphatunk tájékoztatást. A Health Index-et időközönként frissíteni kell, mivel a változásoknak a trendje néha nagyobb információt hordoz magában, mint a konkrét érték.

A témával kapcsolatban fejlesztés alatt a következők:

Meghatározni a határértékeket a szabványoknak, gyakorlati tapasztalatnak és adatbázisértékeknek megfelelően. Továbbá a súlyozás kialakítása a mérési módszereknek megfelelően a transzformátor minden egyes elemére kiterjedve. Az állapotok kölcsönös függése az egyes elemek állapotától. Például az olaj állapota a szilárd szigetelő anyagra hat és fordítva.

A témában elkezdett tevékenység és kiértékelési metódus lényegében az átlagos HI kiértékelésnek felel meg, kiegészítve a Labeled-hez hasonló, illetve négy további tényezővel, de attól teljesen eltérő kiemelésekkel.

3 A Transzformátor Állapot Tényező (TÁT) szakértői rendszer működése

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű laboratóriumában fejlesztett szakértői rendszer figyelembe veszi az áramszolgáltató által végzett méréseket, valamint a szigetelésekben lejátszódó öregedési folyamatok követésére alkalmazott hazai és nemzetközi gyakorlatban elterjedt diagnosztikai eljárásait. Cél az egységes értékelés, ezért ennek érdekében nem csak az állapot ellenőrzésére szolgáló adatokat veszi figyelembe, hanem a környezeti paraméterek, hálózati elhelyezkedés, feszültség szint, stb. is szerepel a kiértékelésben.

Az értékelés kimenete egy TÁT (Transzformátor Állapot Tényező) érték, valamint az értékhez rendelt megbízhatóság (Z_i).

3.1 Állapotjellemezők használata

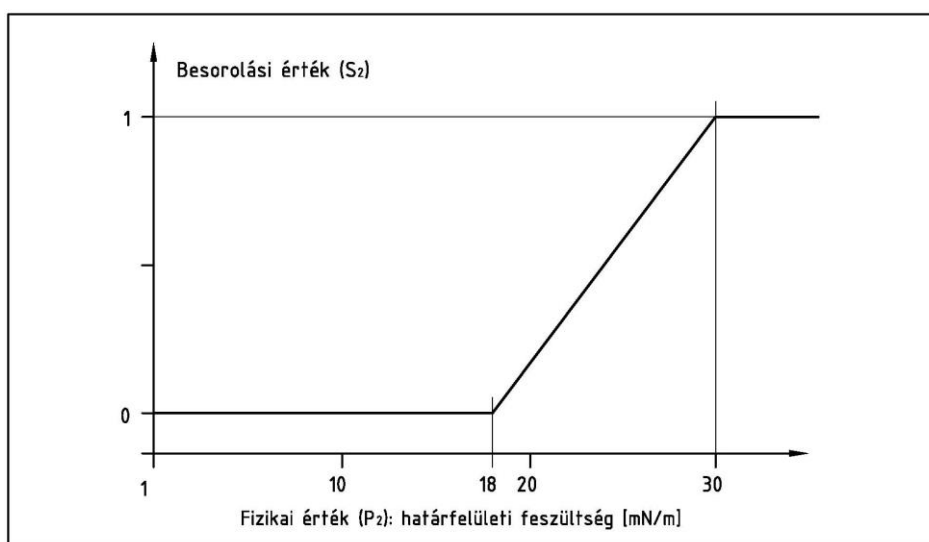
A szakértői rendszer a transzformátor tizennégy kiválasztott állapotjellemezőjét veszi figyelembe különböző súlyozással. Az állapotjellemező az összetartozó fizikai értékek csoportja. Például az általános olajvizsgálat, mint állapotjellemezőhöz fizikai érték az olaj határfelületi feszültsége (mN/m). A súlyozást annak megfelelően teszi meg, hogy az adott fizikai érték milyen mértékben okozza a szigetelés romlását.

18. táblázat A transzformátor állapotjellemezői és azok súlyozása

#	Transzformátor állapotjellemezői	K_j	Állapot	Megbízhatóság
1	Hibagáz analízis	10	0-1	0-100
2	Általános olajvizsgálat	8	0-1	0-100
3	Visszatérő feszültség időálló szerinti eloszlása	7	0-1	0-100
4	Tekercs szigetelési ellenállás és abszorpció tényező	8	0-1	0-100
5	Kapacitás és veszteségi tényező mérése	7	0-1	0-100
6	Infrakamerás vizsgálatok	7	0-1	0-100

7	Általános állapot	8	0-1	0-100
8	Berendezés kora	8	0-1	0-100
9	Karbantartási előzmények	6	0-1	0-100
10	Hálózatban való elhelyezkedés	4	0-1	0-100
11	Üzemelési előzmények	8	0-1	0-100
12	Éghajlati tényezők, káros atmoszférikus hatások	4	0-1	0-100
13	Furán tartalom vizsgálata	6	0-1	0-100
14	Rövidzárási impedancia mérése	6	0-1	0-100

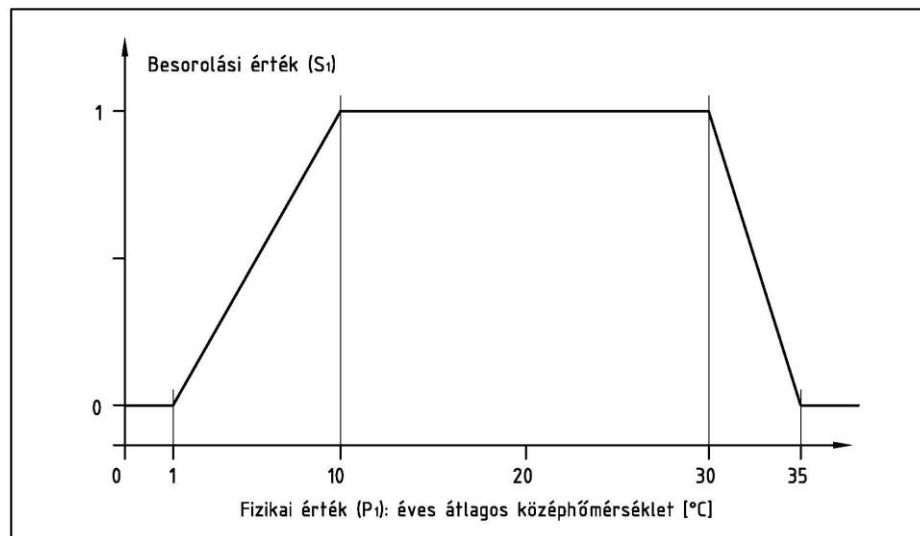
Az egységes kiértékelés miatt a fizikai értékekhez besorolási értéket rendel a program (Si). A besorolási érték tartománya 0-1 között van, az 1-es jelentése: jó, megfelelő, 100%. A 0 érték jelentése: rossz, nem megfelelő, 0%. A fizikai érték (Pi)-besorolási érték (Si) leképezés a két töréspont közötti lineáris függvénnyel történik. A töréspontokat a Pi minimum és maximumhoz és a hozzárendelt Si értékek határozzák meg. Az alábbi képen látható az olajvizsgálati eredmények határfelületi feszültségének fizikai érték (P2)- besorolási érték leképezését (S2).



7. ábra Besorolási érték-fizikai érték pár kialakítása

Vannak olyan esetek (pl. éves átlagos középhőmérséklet), ahol kétszeres besorolást kell alkalmazni. Itt egy alsó és felső határérték között megfelelő a fizikai

érték, azonban ezen kívül esve romlik a besorolási értéke. Az Éghajlat állapotjellemző Éves átlagos középhőmérséklet fizikai értékének esetében azonos (rossz) besorolási értéket kap az extrém magas vagy extrém alacsony éves átlagos középhőmérséklet.



8. ábra Éves átlagos középhőmérséklet besorolási értékei a fizikai értékek függvényében

A számítás következő lépése a besorolási értékek (S_i) és a súlyozások (W_i) alapján állapotjellemző faktor számítása. Az alábbi (Állapot Jellemző faktor $\hat{A}Jf_i$) képlettel végzi a program:

$$\hat{A}Jf_i = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

Ahol n a fizikai értékek száma.

3.2 TÁT számítás és diagnosztikai adatok rendelkezésre állása

Az egyes állapotjellemzőkhöz rendelt súlyozáson felül a rendszer állapotjellemző csoportokat különböztet meg. A három csoport súlyozási értéke (0.5, 0.3, 0.2) megadja, hogy a csoportban lévő állapot jellemzők mekkora hányadban felelősek a transzformátor meghibásodásáért.

A teljes TÁT értéke az alábbi ennek megfelelően az alábbi módon számítható ki:

$$T\acute{A}T = 0,5 \times \frac{\sum_{j=1}^6 K_j \times \acute{A}Jf_j}{\sum_{j=1}^6 K_j} + 0,3 \times \frac{\sum_{j=7}^{11} K_j \times \acute{A}Jf_j}{\sum_{j=7}^{11} K_j} + 0,2 \times \frac{\sum_{j=12}^{14} K_j \times \acute{A}Jf_j}{\sum_{j=12}^{14} K_j} \quad (2)$$

A transzformátor állapota azonban folyamatosan változik. A mérési eredményekből következtetve a mérési időpontban határozható meg a transzformátor állapota. Ehhez azonos időpontban mért mérési adatokra van szükség. A felhasznált eredményekből képzett TÁT érték így a transzformátor mérési időpontban vett állapotát hivatott és képes tükrözni. A komplex diagnosztika miatt azonban az állapotjellemező adatok közül nem minden frissül a rendszerben, a különböző adatok időkülönbséggel kerülnek a rendszerben, vagy legrosszabb esetben nem állnak rendelkezésre a kiértékelés pillanatában. Ezért ezekre az esetekre a programot fel kell készíteni úgy, hogy a szolgáltatott diagnosztikai eredmények ennek ellenére megfelelően tudják támogatni a karbantartási, stratégiai lépéseket.

- Nem áll rendelkezésre fizikai érték vagy diagnosztikai eredmény
- Valamely diagnosztikai eredmény frissült, de nincs komplex diagnosztika

A már említett okok miatt nem minden esetben áll rendelkezésre az összes lehetséges mérési eredmény. Az szolgáltatott eredményekben ezt úgy tükrözi a szakértői rendszer, hogy megbízhatóságot rendel minden fizikai értékhez. Ennek számítása a következő:

Az i -ik fizikai értékhez tartozó megbízhatóság (R_i) a fizikai érték súlyának arányában:

$$r_i = \frac{100 \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3)$$

R_i arányossági tényező és Z_i az egyes fizikai értékekhez rendelt megbízhatósági együttható (ha a fizikai érték rendelkezésre áll akkor $Z_i = 1$, ha nem akkor $Z_i = 0$). Amennyiben az adott fizikai értéke nem áll rendelkezésre, a TÁT rendszerbe a legrosszabb besorolási (S_i) érték kerül.

Az eredő, állapotjellemező megbízhatóság ($\acute{A}Jm_i$) számítása a (4) képlet szerint történik:

$$\acute{A}Jm_i = \sum_{i=1}^n r_i \times Z_i \quad (4)$$

Teljes TÁT-hoz tartozó megbízhatósági faktor számítása az állapotjellemzőkhöz rendelt súlyozást (K_j) figyelembe véve (5).

$$R_j = \frac{100 \times K_j}{\sum_{j=1}^n K_j} \quad (5)$$

A TÁT érték eredő megbízhatósága ($TÁT_m$) az alábbi képlettel számítható:

$$TÁT_m = \sum_{j=1}^n R_j \times K_j \quad (6)$$

Ez megadja azt az intervallumot amelyben a TÁT értéke mozoghat. Szélsőértékei a „best case” és „worst case” értékek. Ezeket úgy kaphatjuk, ha az értékelésnél hiányzó értékeket 1, tehát legjobb; ill. 0, tehát legrosszabb állapotúnak feltételezzük.

Ezzel egy becslést ad a program a megbízhatóságra. Előfordulhat azonban, hogy ezzel a megközelítéssel nem kapunk olyan megbízhatóságú eredményt, ami jó alapot nyújtana a döntéshozatalhoz. A legjobb és legrosszabb állapot feltételezése is csak szélső esetnek tekinthető. A valóságos érték legközelebb az előző mérési eredményhez közelíthet. Ezt célszerű lenne figyelembe venni, hiszen így pontosabb eredmény kapható a már megadott intervallumon belül.

4 Fejlesztési lehetőségek

A transzformátorok, mint a legértékesebb berendezések a hálózaton fokozott figyelmet és védelmet igényelnek. Jelenleg a diagnosztikai rendszerek közül az ún. „offline” eljárások vannak többségben, azaz a mérések elvégzéséhez ki kell kapcsolni a transzformátort. Elterjedőben vannak azonban, az ún. online monitoring rendszerek is, amikor folyamatosan mérésre kerülnek az egyes jellemzők (fejlődő gázok, PD, stb.). Ezen eljárások még elég költségesek, nagyobb beruházást igényelnek, ezért csak kevés paramétert mérnek ennek segítségével. Főleg azon mérések kerülnek lemérésre, amelyek alapján döntést lehet hozni, valamint rávilágítanak kezdődő hiba meglétére. Ha az online monitoring alapján kezdődő hiba detektálható, akkor a transzformátort ki kell kapcsolni és további olyan méréseket kell elvégezni, amely alapján döntés születhet a továbbiakról (a transzformátor folytathatja az üzemet, javítani, selejtezni kell, stb.).

További fejlesztési lehetőség a TÁT esetében, hogy ahol lehet, az online monitoring rendszer kiértékelésére használják a TÁT-ot. Természetesen nem lehet minden bemenet online, mert ennek megvalósítása túl drága lenne. Ilyenkor az online jelek mellé offline adatokat használnak és így végzi a TÁT a kiértékelést.

4.1 Súlyozás

A diagnosztikai vizsgálatok fejlődésével a TÁT rendszer súlyainak felülvizsgálata időszakosan indokolt. Ezért az állapotjellemzők és mérések súlyára a következő javaslatokat teszem.

4.1.1 HGA

A hibagáz analízis alapvetően helyi (nem az egész rendszerre kiterjedő) hibákra jellemző diagnosztika (Pl. melegpont, részleges kisülés, ív, stb.). Öregedés, elnedvesedés az egész rendszerre kiterjed. A lokális hiba annak ellenére, hogy kis területre terjed ki (pl. lokális, részleges kisülés) átütésbe mehet át, tehát veszélyezteti a szigetelést (pl. magas hőmérsékleten buborékképződést, átütést okoz). A buborékképződés a transzformátorra különösen veszélyes. Ha a buborékok eljutnak a legnagyobb térerősségű helyre, akkor igen nagy valószínűséggel átütés következik be üzemi feszültségen, így csak idő kérdése az átütés.

Az egyes gázok jellemzőek különböző lokális hibákra, ezért a HGA első legfontosabb kiértékelése, hogy abszolút értékük alapján különböztetjük meg a jó és a rossz állapotot.

A TÁT program a következő súlyozással és határértékekkel dolgozik a hibagáz analízis eredményeinek kiértékeléséhez:

19. táblázat Hibagázok határértékei és súlyai

Gázok [μl/l]	S _i		W _i
	1	0	
H ₂	≤100	>700	4
CH ₄	≤75	>600	3
C ₂ H ₆	≤65	>150	3
C ₂ H ₄	≤50	>200	3,5
C ₂ H ₂	≤3	>80	*
CO	≤350	>1400	1
CO ₂	≤2500	>7000	2
Összes éghető gáz	A besorolási értékek külön táblázatban megtalálhatóak		7

A *-gal jelölt súlyozáshoz magyarázat: C₂H₂ súlyozási értéke W=1 amennyiben van fokozatkapcsoló és W=6, ha nincs. Tehát ha fokozatkapcsolóval nem ellátott a transzformátor, akkor az acetilén megjelenését és értékeit szigorúbban kell kezelni.

Az összes éghető gáz mennyisége alapján a transzformátort veszélyességi osztályokba sorolják. Az éghető gázokat a gázainak összegzésével (kivétel a CO₂-t) számítják. IEC 60599 alapján a határértékek a következők:

20. táblázat Éghető gázok értékelése

S _i	Jellege	Az éghető gázok összes mennyisége [μl/l], ha a transzformátor		
		kor		
		< 8 év	8 -15 év	>15 év
1	Hálózati	<350	<450	<800
	Erőművi	<500	<650	<1000
0	Hálózati	≥800	≥1600	≥3000
	Erőművi	≥1000	≥1600	≥3000

Forrás: [12][13]

Az egyes ún. hibagázok és egymáshoz viszonyított arányuk jellemzőek különböző lokális hibákra. A HGA kiértékelés alapja tehát a hibagázok abszolút értékének és egymáshoz viszonyított arányainak figyelése. A HGA kiértékelést megzavarhatja a

fokozatkapcsoló. A fokozatkapcsolóban az egyik fokozatból a másikba történő átkapcsoláskor ív képződik, ami bontja az olajat. Ilyen esetben az egyik jellegzetes bomlástermék az acetilén. A tekercsek zárlatánál is az acetilén a legjellegzetesebb bomlástermék, ezért csak néhány ppm mértékű acetilén is katasztrofális hibára utalhat, határérték túllépés esetén ki kellene kapcsolni a transzformátort.

A fokozatkapcsoló zárt rendszer (olaj és gáz tömör), de idővel a gáztömörség romlik, és többek között acetilén mehet át a fő transzformátortérbe. Ez megzavarhatja a normál HGA kiértékelést, ezért ha nagy az acetilén tartalom, mindig vizsgálni kell, hogy van-e fokozatkapcsoló a transzformátorban. Ha van, akkor a kiértékelés eszerint kell végezni. A HGA eredmények kiértékelése tehát az abszolút érték és a hibagázok aránya alapján ideális, a TÁT azonban jelenleg csak az abszolút érték alapján értékel. A gázarányok kiértékeléséről az IEC és CIGRE szabványok is rendelkeznek.

21. táblázat Értékelés a gázarányok alapján

IEC értékelés	CIGRE értékelés
Összes éghető gáz [ppm]	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₆
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	H ₂ /CH ₄
CH ₄ /H ₂	CO ₂ /CO
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
N ₂ /O ₂	C ₂ H ₂ /H ₂

Ha az acetilén (C₂H₂) nagyobb, mint 3 ppm, akkor az azt jelentené, hogy pl. a tekercsben valahol ív van, azaz a transzformátor kikapcsolandó. Ekkor azonban meg kell nézni, hogy van-e fokozatkapcsoló a rendszerben. Ha van, figyelendő, hogy az acetilén és a hidrogén hányadososa mennyi. Ha acetilén/hidrogén nagyobb kettőnél és az acetilén abszolút értéke kb. 30ppm, akkor valószínűleg az acetilén a „nem gáz tömör” fokozatkapcsolóból származik, valószínűleg nincs ív a tekercsben.

Tehát a fokozatkapcsolókban az ív jelenléte normális, mert fokozatátterésnél tényleges ív keletkezik. Ha azonban átdiffundál a főtranszformátorba, akkor megzavarja a kiértékelést. Hogy tényleg a fokozatkapcsolóból érkező átdiffundált gázzal van szó, azt a CIGRE 5. kiértékelési aránya fogja megmutatni (az acetilén /hidrogén legyen nagyobb, mint 2). A kiértékelésnél fontos, hogyha nem fokozatkapcsolóról van szó, akkor a szigetelés átütésre veszélyes és ezt a programnak jeleznie kell.

Ezért a következő javasolt a pontosabb diagnosztikai eredményhez:

1. Van-e fokozatkapcsoló? A program bekéri a transzformátor általános adatainak felvételekor. (Jelenleg is működik)
2. Ha nincs fokozatkapcsoló és az acetilén 3 ppm alatt, akkor legyen a súlyozás $W=6$.
3. Ha van fokozatkapcsoló és acetilén nagyobb, mint 3 ppm, továbbá a (pl. a CIGRE szerinti) fokozatkapcsolóra jellemző tipikus értékkel bír (ez kb. 20-30 ppm) akkor a transzformátortekercsben feltehetőleg nincs hiba, az acetilén a fokozatkapcsolóból jön. Ilyen esetben indokolt lehet $W=1$ -el számolni.

A gázarány arra tud útmutatást adni, hogy a hiba olyan jellegű-e, ami fokozatkapcsolóból képződő acetilénre enged következtetni. Ez azért lehetséges, mert a hidrogén átdiffundálása fokozottabb az acetilénénél, így az arány 2 és 3 körül változik.

4.1.2 Általános olajvizsgálat

Az általános olaj vizsgálat legfontosabb információja az olaj fizikai-kémiai állapota, mely befolyásolja az olajjal impregnált papír állapotát, mint szilárd szigetelés állapotát. A transzformátor élettartama egyenlő a szigetelő papír élettartamával, hiszen ha a szigetelő papír tönkremegy, akkor új tekercset kell behelyezni, és ha általános öregedéstől megy tönkre, akkor mindegyik tekercset újra kellene gyártani. Költségben mindez az új transzformátor árának a 80%-át jelenti. Tehát az olajvizsgálat rendkívül fontos, mert a rossz olaj gyorsítja a papír öregedését.

A TÁT program a következő súlyozással és határértékekkel dolgozik az olajvizsgálat eredményeinek kiértékeléséhez:

22. táblázat Olajvizsgálat határértékei és súlyozás

I	Vizsgált jellemzők	W_i	P_i	S_i
1	Átütési feszültség [kV]	3	$P1 \geq 52$	1
			$P1 \leq 35$	0
2	Határfelületi feszültség [mN/m]	2	$P2 \geq 30$	1
			$P2 \leq 18$	0
3	Savszám [mgKOH/g]	1	$P3 \leq 0.04$	1
			$P3 \geq 0.15$	0
4	Nedvesség [mg/kg]	4	$P4 \leq 20$	1
			$P4 > 40$	0
5	Szín	2	$P5 \leq 1.5$	1
			$P5 > 2.5$	0

			$P6 \leq 0,01$	1
6	Veszteségi tényező tgδ [x10 ⁴]	4	$P6 > 0,5$	0

Az olaj rossz állapotú, ha nedves és öreg, ezért erre a két tulajdonságra vonatkozó paraméterek kiértékelését is nagyobb súllyal javasolandó figyelembe venni. Az olaj nedvességtartalma nehezen mérhető az eddigi szokásos módon, ezért bár a nedvesség fontos paraméter, az olaj nedvességtartalma 4-es súlyozása csökkenthető 2-es értékre. Megjegyzés, hogy az olaj mintavételnél főleg a méréshez való előkészítésekör nedvességet vesz föl 1-2 ppm helyett 10 ppm-et is akár, tehát a laboratóriumi adatok inkább tájékoztató jellegűek).

A határfelületi feszültség eredeti 2-es, savszám 1-es súlyozását 4-esre mindkét esetben javasolt módosítani. Ez azért indokolt, mert abban az esetben, ha az olajban megnő a savtartalom az gyorsítja a papír bomlását, öregedését.

4.1.3 Visszatérő feszültség (RVM)

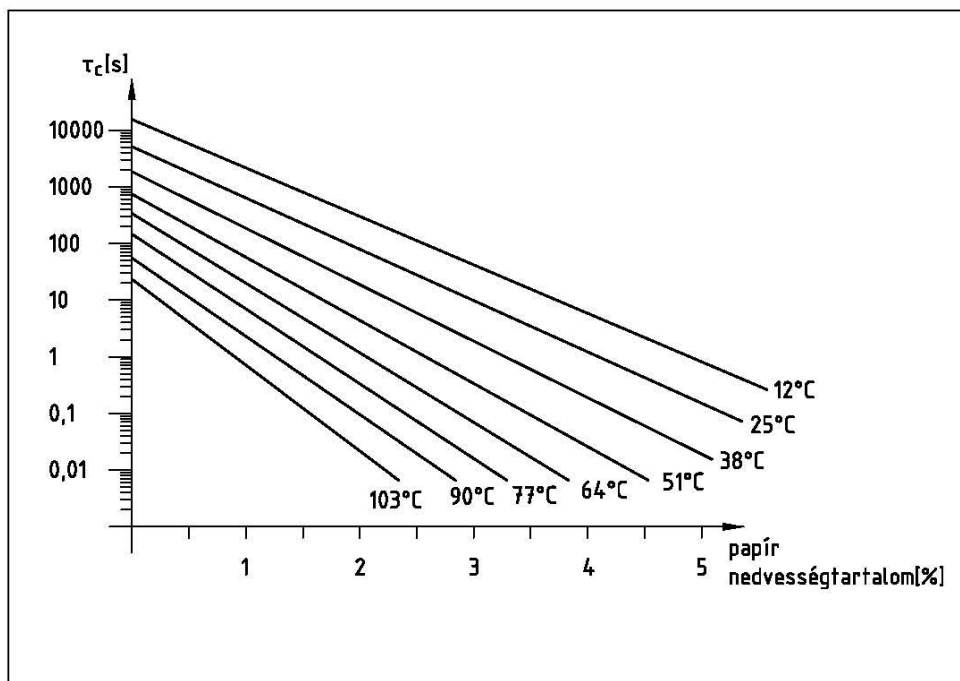
A visszatérő feszültség mérés (Recovery Voltage Measurement – RVM) során a szigetelés polarizációs spektrumát vesszük fel. A polarizációs spektrum maximum értékéhez tartozó centrális időállandó (τ_c) értéke alapján lehet a szigetelés állapotára következtetni. A τ_c értéke erősen hőmérséklet, nedvesség és öregedési terméktől függő. A lentebbi ábrán új papír, új olaj esetében végzett mérési eredmények láthatók., ahol a független változó a papír nedvességtartalma (X_m), emiatt célszerű határértéket a nedvességtartalomra megadni. Ha nemcsak új olajból és új papírból áll a szigetelés, hanem már öregedett rendszerről van szó, akkor az öregedésre vonatkozóan ún. „egyenértékű nedvességtartalmat” használnak (az adott öregedés ugyanazzal a hatással van a szigetelésre, mintha a megadott „egyenértékű víztartalom” okozta volna. A gyakorlati eredmények alapján a határértékek alábbi találhatóak. A τ_c átszámítását nedvességtartalomra az RVM mérési eljárás során felvett „nomogramokból” levezetett (7) egyenlet segítségével végzi a TÁT rendszer.

$$X_m = - \frac{\log\left(\frac{\tau_c}{k'}\right) + m' \times T_m}{k'' \times 10^{m'' \times T_m}} \quad (7)$$

Az egyenletben a konstansok értékeit az alábbi táblázat adja meg:

23. táblázat

M'	0,031227
m''	0,002714
k'	38189,00
k''	0,799989



16. ábra RVM mérés kiértékeléséhez szükséges nomogramok

Fontos paraméter a nedvességtartalom után a transzformátorban keletkező veszteség a folyamatos, 50Hz-es gerjesztés mellett, amit a visszatérő feszültség (U_v) alacsony időállandós tartományon ($\tau < 0,1s$) felvett értéke reprezentál. Erre vonatkozólag az MSZ19323-as szabvány ad útmutatást, miszerint a szigetelés állapota megfelelő amennyiben a visszatérő feszültség alacsony időállandós tartományon nem éri el a mérő feszültség 4%-át.

Ezek alapján a TÁT bemeneti adatai a 24. táblázatban találhatóak:

24. táblázat

j	Bemeneti jellemzők
1	τ_c [sec]
2	$U_v(\tau < 0,1s)$ [%]
3	Mérési hőmérséklet [$^{\circ}C$]

A bemeneti adatok alapján a TÁT besorolás az alábbi számított paraméterek alapján történik:

25. táblázat A vizsgált fizikai (Pi) értékek és a hozzátartozó besorolási értékek (Si) és súlyozás (Wi)

i	Vizsgált jellemzők	Wi	Pi	Si
1	U _v (τ1<0,1s) [%]	4	P1 ≥ 4	0
			P1 ≤ 1	1
2	nedvesség tartalom X _m [%]	5	P2 ≥ 2	0
			P2 ≤ 0,5	1

A visszatérő feszültség a papír nedvességtartalmának és a felhalmozódott öregedési termékeknek a kimutatására, tehát az általános állapot jellemzésére használható. Az RVM spektrum meghatározásánál kapott ún. domináns időállandók jellemzőek a szigetelés állapotára. Új és száraz szigetelésnél az időállandók szoba hőmérsékleten nagyobbak, mint 1000 s. Ha az időállandó lecsökken 1 s alá, akkor fennáll a buborékképződés veszélye. Tehát az RVM igen fontos diagnosztika, ezt a súlyozásnál is figyelembe kell venni.

A transzformátor diagnosztika két legfontosabb jellemzője a lokális és az általános állapot meghatározó paraméterek. A HGA a lokális hibák kimutatására a legfontosabb diagnosztika, ezért a 10-es súlyozás mindenképpen indokolt. A transzformátor élettartama azonban a szilárd szigetelés élettartamával egyenlő, ezért az RVM (Recovery Voltage Measurement- Visszatérő Feszültség Mérés), mint szilárd szigetelés általános állapotának (elnedvesedés, öregedés,) kimutatására legjobb diagnosztika, súlyozására ugyancsak a 10-es súlyozás javasolt. Az RVM módszerrel meghatározható a buborékképződés kritikus hőmérséklete az adott szigetelési állapot esetén: ha beindul a buborékképződés, akkor majdnem átütés közelében van a szigetelési rendszer.

4.1.4 Rövidzárási impedancia

A transzformátor tekercseinek elmozdulását jelzi a rövidzárási impedancia változása. Fázisonként mérik, ezért azt mutatja mennyire mozdult el egy fázistekercs. A mért eredmények értékeléséhez valamilyen referencia érték szükséges. Ezt a kezdeti értéket a transzformátor adatlapjából kellene felvenni.

A transzformátor állandó rezgése, az olajpapíros rendszer öregedése, elnedvesedés, stb. a szigetelő papír roskadását okozza, ezért idővel a tekercsek geometriája változik. Ha változik a geometria, akkor változik a tekercset jellemző L és C értéke is változik, következésképp változik a rövidzárási impedancia is (lásd FRA mérést is). Ezen alapszik a tekercs elmozdulás diagnosztizálása.

26. táblázat Rövidzárási impedancia határértékek

I	Vizsgált jellemzők	W _i	P _i	S _i
1	Impedancia változás a legutóbbi mérés óta [%]	5	P ₁ < 4%	1
			P ₁ > 5%	0

Bizonyos műszerek csak induktivitást mérnek, ezért a kiértékelésnél csak ennek elváltozását tudják figyelembe bevenni. Ennek ellenére rövidzárási impedancia változásról beszélnek. A tekercs elmozdulása egy nagyon jó diagnosztika érték lenne, de tekintettel arra, hogy az induktivitás változása nem teljesen impedancia változást jelent, ezért kevésbé használható a jelenlegi mérési eredményeket tekintve hatékony diagnosztikára, ezért a jelenlegi 6-os súlyozás megfelelőnek tűnik. Abban az esetben, ha pontosabb értékek nyerhetők a méréseknél a súlyozást növelni lehetne 8-asra.

4.1.5 Részkisülés mérés

A részleges kisülés az átütést megelőző folyamat. Ezért a részleges kisülések megjelenését komolyan kell venni. Egyre inkább rendelkezésre állnak olyan berendezések, amelyek a helyszínen tudják gerjeszteni a transzformatort, és lehetővé teszik, hogy az üzemi feszültséget akár 30%-al meghaladó növelt feszültségnél mérjenek részleges kisülést (PD).

Ilyen hatékony diagnosztikából kapott PD-k nagyon fontos adatok a transzformatorról, ezért az 5-ös értékről 10-esre javasolt növelni. Manapság azonban, még nem rutin mérés. Kevés helyszíni mérés elvégzésére van berendezés. Azonban az offline és online PD mérések elterjedésével ez a helyzet a közeljövőben változni fog.

4.1.6 Furán tartalom

A furán értékét több paraméter befolyásolja, ezért a kiértékelésnél a döntő diagnosztikát a furán tartalom időbeli alakulása (trendje) adja.

27. táblázat Furán tartalom határértékei

I	Vizsgált jellemzők	W _i	P _i	S _i
1	Furán szint [ppm]	1	P ₁ ≥ 5	0
			P ₁ ≤ 0,1	1

A furán vizsgálata azért fontos, mert csak a papír bomlástermékeként jelenhet meg. Az olaj bomlásakor furán nem keletkezik, ezért csak a papírra jellemző, de az olajban oldott furánt tudjuk csak mérni. Tudnunk kell, hogy legalább annyi furán marad a papír felületén megkötve, mint amit az olajban mérünk. A papírt úgy is meg lehetne

vizsgálni, hogy transzformátor kikapcsolásra és kibontásra kerülne, utána pedig papírminta vételezhető ezután a DP értéke megmérhető. Tehát furán diagnosztika esetén elegendő olajmintát venni és ellenőrizni a papír öregedési fokát.

Mivel ez egy öregedési vizsgálat, és egy transzformátor átlagos élettartama 40-50 év, ezért a furán vizsgálat eléggé ritka, legfeljebb 4-5 évente vizsgálják. Fiatal transzformátorok esetében a furán tartalom nagyon kicsi, azonban öregebb transzformátoroknál az öregedési állapot meghatározásakor egy fontos paraméter lehet a furán tartalom. Ebben az esetben már a jelenlegi 6-os súlyozás növelhető pl. 8-ra. Tehát a korral való összefüggésben nő a jelentősége ennek a mérési eredménynek. Javasolandó, hogy bizonyos öregedésre jellemzők hibák esetén az eszközmenedzsment kezdeményezze a furán diagnosztika elvégzését.

4.1.7 Infrakamerás vizsgálatok

Ezen adatok kissé szubjektív értékek, de a megfelelően felvett hő térképek és a megfelelően értelmezett adatok (hőmérsékletkülönbségek) jó eredményeket szolgáltatnak a karbantartáshoz, de jelzik pl. a kötéshibákat is, ezért mindenképp javasolt a használatuk. Az alkalmazott 7-es súlyozási érték ennek tükrében megfelelőnek értékelhető, de ha rossz helyen van kiugróan melegpont (pl. rossz kötés), akkor a súlyozásra 10-es érték javasolandó.

4.1.8 Berendezés kora

A berendezés kora egy olyan adat, amely abban az esetben fontos adat, ha transzformátor állandóan üzemben van. A valóságban nem így történik az üzemeltetés. Ezért ennek az adatnak a súlyozásánál befolyásoló tényező, hogy az üzemeltető milyen részletesen tárolja az üzemelési előzményeket. Ezen felül a terhelési és környezeti feltételek is befolyásolják az üzemelés közben a transzformátort. Ezek fontosabb adatoknak tekinthetők.

4.2 Javaslatok a szakértői rendszer fejlesztésére

Az előző fejezetekben több különböző megoldás részletes ismertetésével látható, hogy a rendszer fejlesztésére és finomítására több lehetőség is nyílik. Figyelembe véve az egyetem szakértői rendszerének felépítését, ebben a fejezetben szeretnék rámutatni hol és milyen módon lehet befolyásolni a kimeneti értéket, hogy még kielégítőbb eredményt szolgáltatson az eszközmenedzsment számára.

- A pontozásra kitérve meg kell bizonyosodni arról, hogy a használt információkból adódóan bizonyos esetek nincsenek-e kétszer számolva. Például a papír öregedését jelenti a magas furán tartalom, a kis domináns időállandó, a nagy veszteségi tényező, vagy pl. az is, hogy 30 évig volt túlterhelve. Javasolandó, hogy a jövőben legyen további megfontolás tárgya ilyen esetekben a súlyozás. Mindez lehet még a magas PD, magas hidrogéntartalom esetében is, hiszen mindkettő részleges kisülést jelent. Tehát megfontolásra ad okot, hogy elég-e pusztán matematikai szempontok alapján figyelembe venni a súlyozást. A szolgáltatott eredménynek nem célja és nem is tudja a pontos és egzakt értékelést elvégezni. Ezért bizonyos esetekben az is elfogadható, hogy egy hiba detektálása több irányból különböző súlyokkal is elvégezhető, így akár ki is emelődhet a TÁT értékben, ha a hiba olyan mértékűvé válik.
- Már a nemzetközi kiértékelésben is tapasztalható, hogy a súlyozásokkal igyekeznek az olyan tényezőket kiiktatni, melyek számításba vétele a kiértékelésbe elfedheti a hibák kialakulását. Ez mindenképp egy olyan terület, ahol a rendszer fejlődni képes.
- A Health Index alkalmazásakor azzal a hasonlattal lehet élni, hogy egy lánc olyan erős, mint a benne foglalt láncszemek közül a leggyengébb. Tehát a transzformátorhoz tartozó végleges érték a legrosszabb hibás állapotot kell tükröznie.

Ha egy komponens túllép egy megengedett értékeket a transzformátor olyan állapotba kerül, mely valamilyen állapot romlást jelez. A felhasználó felé egy piros jelzéssel megoldható a figyelmeztetés. Több túllépés esetén pl. annyi piros jelzés adható, ahány túllépés történt.

Ezt a gondolatmenetet folytatva kettő nagyon gyenge láncszem két piros jelzést adhat például a program. Ha ezen felül egy gyenge, de még nem súlyos állapotú láncszemet tartalmaz a diagnosztikai eredmények halmaza akkor kettő piros és egy enyhébb színű állapottal jelezhetne a program a TÁT értéke mellett. A színezés a jelenlegi TÁT rendszerben már alkalmazott, azonban csak az egyéni értékekre. Csak akkor lehet figyelemmel kísérni az alakulásukat, ha pontosabban áttekintik a transzformátor diagnosztikai értékeit.

Így ennek megfelelően a következőképpen nézhet ki a kiértékelés:

2	1	3	4	2
2a	1b	3c	4d	2a

9. ábra Szemléltetés a leggyengébb láncszem effektuson alapuló kiegészítő funkcióhoz

Míndez kombinálható azzal a felvetéssel, mely a Román rendszerben alkalmazott (2.3. fejezet). Ott további betűkkel a beavatkozás megtervezéséhez szükséges lépések szerepelnek szövegesen, igaz a Health Index értékéhez párosulnak a különböző szintek. Tehát szakértők bevonása, mérések újramérése, stb. alkalmazásával kell továbbfolytatni az intézkedések sorát. Ugyanez a határérték túllépésekhez is megtervezhető. A felvetés messzebbre mutató fejlesztés része lehetne, taglalásához a dolgozat keretei végesek. Elsődleges célom a lehetőségek felvázolása.

A diagnosztikai rendszer szempontjából, mint azt a nemzetközi gyakorlat is mutatja az adathiány kiemelten fontos problémát jelent.

Esetek, melyek a TÁT szempontjából kezelésre javasoltak:

1. Mind a 14 állapottényezőről rendelkezésre állnak a diagnosztikai adatok. Ezt azt eredményezi, hogy a kiértékelés maradéktalanul lefut.
2. Mérési eredmények hiányoznak.
 - a. A hiányzó mérési eredmények nélkül futtatom le. Pl. a 14-ből csak 8 eredményre áll rendelkezésre, akkor a 8 alapján futtatok, mintha nem is lenne a 8-nál több diagnosztika használva az eredmény kialakításához. Ha diagnosztikai eredmény hiányzik, akkor a TÁT „hatékonysága” mindenképp rosszabbnak tekinthető. Azonban így is egy részleges eredmény kapható, amely alapot adhat egy részletesebb vizsgálat elkezdéséhez.
 - b. A hiányzó eseteket átlagos értékkel való figyelembe vétele. Tehát 0,5 besorolási értékkel. Míndez azonban ugyanúgy nem ad pontosabb információt, mint az előző eset, hiszen az értékek csak feltételezhetően vannak a jó és rossz állapot között félúton.
 - c. A hiányzó értékeket a legutolsó mérési időpont eredményeivel figyelembe véve számolja a TÁT. A hiányzó adatok pótlására a legjobb megoldásnak bizonyulhat, hiszen az előző mérések hitelesek, a hibát az azóta eltelt öregedési folyamatok adják.

- d. „Best case” és „worst case” esetek már számolva vannak a TÁT rendszerben, ilyenkor, a hiányzó adatok legrosszabb 0 vagy legjobb 1 értékeket kapnak. Az így kapott határok viszont a hiányzó mérések számától függően elég szélesek lehetnek, így gátolva a kiértékelés megfelelő elvégzését.
- e. Ezen felül, mint a nemzetközi gyakorlat is mutatja olyan tényezők is létrehozhatók mely kritikussági és kockázati tényezőkön alapulnak. A TÁT-al kombinálva lehet tovább mélyíteni a lehetséges esetek számát és ehhez rendelni a beavatkozások súlyát, mikéntjét.

További indexek, melyek alkalmazhatók, de tulajdonképp a Health Index, mint általános kifejezés használható rájuk:

- Megbízhatósági index: talán legáltalánosabban használt, mellyel a problémás transzformátorok kiszűrhetők.
- Környezeti Index
- Biztonsági index, stb.

A súlyozási tényezők kialakításához a következőket érdemes figyelembe venni:

- A hiba bekövetkezésével járó következmények
- Javítás költsége és ideje
- Normál üzemi állapotba visszaállításhoz szükséges idő
- Illetve mindezek kombinációja

Meg kell vizsgálni továbbá a következőket:

- az adatok minőségét
- hogyan tölthetőek ki a hiányzó adatokból adódó rések
- az eredmények milyen százalékban adnak helyes becslést az állapotra
- adatok rendelkezésre állása

A pontozásnak konzisztensnek kell lennie. Tehát egy 8-as pontszám a fokozatkapcsolónál ugyanolyan állapotot kell jelezzen, mint egy átvezető szigetelő esetében. Ez azt mutatja, hogy a súlyozás lehetővé teszi a fontosság alapján történő kiemelés, tehát a kritikus elemek rossz értékeit ki kell emelni. A jó eredmény pontozása csak segíthet elnyelni a kritikus elemeket. Tehát 0 súllyal érdemes a közel új állapotot figyelembe venni. Ehhez egy megfelelő pontozási útmutató szükséges a felhasználónál.

Ez azért is fontos, mert legtöbb esetben az állapotfelmérésben résztvevők csak kis százaléka diagnosztikai szakember.

A felvetett ötletek közül úgy gondolom, hogy nem mindnek kell feltétlen beépülnie ahhoz, hogy a rendszer optimálisan működhessen. A feladatomban megfelelően igyekeztem a lehető legjobbnak ítélt módszerek áttekintésével olyan szempontokat kiemelni, amelyek tesztelésével a program működése pontosabbá válhat.

5 Összegzés

A transzformátor diagnosztikai folyamatok kiértékelésének azon megközelítése, miszerint egy mutatóba összegyűjtve az állapotot befolyásoló tényezőkkel lehet jobban támogatni az eszközmenedzsment munkáját, a humán diagnosztikával állítható párhuzamba. Az orvos a páciensnek az előzetes diagnózisnak megfelelően vizsgálatokat ír ki, melynek eredményéből fog következtetni a páciens állapotára. A legoptimálisabb, ha csak a minimálisan szükséges vizsgálatok kerülnek elvégzésre (röntgen, CT stb.), mely rávilágít a betegség meglétére vagy kialakuló betegségre. Ennek tudatában pedig egy kezelés kerül kiírásra a betegnek (gyógyszeres, kemoterápiás, esetleg életmódváltás). Abban az esetben, ha a vizsgálatok eredményei nem adnak olyan eredményt, melyből pontosan megállapítható a betegség a páciens szakorvoshoz kerül, vagy további vizsgálatokra kap beutalást (pl. vérvétel).

A párhuzamba állított esetekben a cél (páciensnek vagy ez esetben a transzformátornak) a megfelelő kezelés, és élettartam meghosszabbítása. Ugyanúgy ahogy az orvosi diagnosztikai eljárások, a transzformátorok esetében is fejlődésről beszélhetünk a jobb és pontosabb eredmények felé.

A dolgozatomban kitérek a Transzformátor Állapot Tényezőre, valamint arra, hogy miért került bevezetésre. A transzformátor rendszere, főleg a szigetelése rendkívül bonyolult, és mint látható, számos diagnosztikai eredmény áll rendelkezésre. Az áramszolgáltatóknak nagyszámú berendezést kell vizsgálni, ezért szükséges alkalmazni valamilyen rendszerező módszert, melyre a TÁT kifejezetten alkalmas lehet.

A dolgozatom alapjaként a nemzetközi gyakorlat kiértékelésre került. Ehhez több ország már működő és folyamatosan fejlesztés alatt álló módszereit és rendszereit tekintettem át. A fő szempontjaim az alkalmazott diagnosztikai méréseknek a feltérképezésére irányultak. A tapasztalat összességében azt mutatja, hogy néhol alapjaiban is eltérőek a főbb szempontok. Éppen ezért az egyeztetések ezen a területen folyamatosak. A téma szakértői között is vannak eltérő álláspontok, amely azt is indokolja, hogy nem áll jelenleg módomban pontos eredményekkel szolgálni a hatékonyság és pontosság javítását illetően.

A nemzetközi szakirodalom szerint is a TÁT és az ahhoz hasonló állapotfelmérő indexek igen nagy számban állnak rendelkezésre. Mindegyik számba vett lehetőség

próbálja a saját erősségének, ill. gyengeségének megfelelően megbecsülni a transzformátor (mint eszköz, vagy ún. „asset”) állapotát. Áttekintve a szakirodalmakat látható, hogy bizonyos szempontból az egyik vagy másik megoldás jobban illeszkedik a transzformátorok állapotára. Ennek megfelelően megállapítható, hogy az áttekintett állapot tényezők mindegyike javítható, finomítható. A BME állapot tényezője által figyelembe vett szabványok, útmutatók időközben módosultak, finomultak, így a TÁT is fejleszthető, javítható.

A munkám folytatásaként egy tesztelési eljárás kidolgozása, és a javasolt fejlesztéseknek megfelelő, különböző eshetőségek megvizsgálása a következő lépés. Ideális lehet a határértékek felülvizsgálata nagyobb adatbázis elérhető adatai alapján. A dolgozatban említésre kerülő módosítási javaslatok határértékig menő részletes kidolgozása után több variációban kell elkészíteni programokat. A kapott eredményeket olyan szempontok szerint kell megítélni, hogy mennyire illeszkednek az alkalmazott eszközpobláció (jelen esetben transzformátorok) állapotának pontos jelzésre.

Irodalomjegyzék

- [1] **Luspay Ödön** szerk. *Közép és nagyfeszültségű hálózati berendezések diagnosztikai vizsgálata*. Budapest : Magyar Áramszolgáltatók Egyesülete, 2000.
- [2] **Fabio Scatiggio**, Health Index: the TERNA's Practical Approach for Transformers Fleet Management, Belgrád 2014
- [3] **Fabio Sactiggio, Massimo Pompili**, *Health Index: the TERNA's Practical Approach for Transformers Fleet Management*, Electrical Insulation Conference, Ottawa, Ontario, Canada, 2013 június 2-5.
- [4] **M. Augusta G. Martins**, *Condition Assesment of Power Transformers*, Cigré Working Group A2.49, Zürich, 2013 szeptember
- [5] <http://www.novaindustrialisa.ro/en/software/transpower-v-20.html> (2014 október 21. 10:11)
- [6] **C. Moldoveanu, V. Ursianu, M. Avramescu, I. Ionita, F. Goni, C.D. Lungu, M. Florea, I. Hategan, M. Budan**, *Lifetime Management of Power Transformers – A Romanian experience* S.C. Nova Industrials S.A., CNTEE Transelectrica SA, Bucharest, Romania
- [7] **Brian Sparling**, Determination of Health Index for Aging Transformers in View of Substation Asset Optimization, GE Energy, TexhCon 2010, Ponte Verda
- [8] **Steve Keeling**, National Grid Document for A2.49
- [9] **William Bartley**, *Analysis of Transformer Failures*, HSB, Doble Client Conference, Boston, 2012
- [10] **Tony McGrail**, *Transformer Health Indices and their Use in Asset management*, Doble Engineering, Nemzetközi konferencia, Kolumbia
- [11] **Jelena Ponocko, Djordje Jovanovic**, *Health Index as a Part of Asset Management*, Cigre Working Group A2.49, Párizs 2014 augusztus 27.
- [12] **MSZ 09-00.0352:1988**; Ásványolajjal impregnált, üzemelő villamos berendezések. Irányelvek az oldott és a szabad gázok vizsgálatának kiértékeléséhez (IEC 60599:1999/A1:2007)
- [13] **Bálint Németh, Csaba Vörös, Richárd Cselkó, Gábor Göcsei**: *New Method for Improving The Reliability Of Dga*, CEIDP 2011 (Conference On Electrical Insulation And Dielectric Phenomena), Cancun, Mexico, 2011

Ábrajegyzék

1. ábra Alállomási és erőművi transzformátorok hibaokainak százalékos megoszlása.....	17
2. ábra Beavatkozási lehetőségek a Condition és Criticity Index figyelembe vételével	18
3. ábra Eszközmenedzsment folyamata	23
4. ábra Hiba okok százalékos megoszlása egy transzformátor populációban	23
5. ábra Health index csökkenése egy populációban	24
6. ábra Új kiértékelés metódus eredményei a populáció százalékára vetítve	31
7. ábra Besorolási érték-fizikai érték pár kialakítása.....	35
8. ábra Éves átlagos középhőmérséklet besorolási értékei a fizikai értékek függvényében.....	36
9. ábra Szemléltetés a leggyengébb láncszem effektuson alapuló kiegészítő funkcióhoz	49

Táblázatok

1. táblázat HI számításra használ statikus és dinamikus paraméterek	14
2. táblázat TERNA vizsgálatokon alapuló határértékek	14
3. táblázat CIGRE szabvány határértékei	15
4. táblázat	15
5. táblázat Példa a súlyozási faktorok használatára	17
6. táblázat Transzformátor olaj állapotjellemező mérései, súlyozási értékek.....	20
7. táblázat Állapotok kategóriái és pontszámok	21
8. táblázat Health Indexek határértékei és ehhez rendelt javasolt mérések listája	21
9. táblázat Állapotjellemezők százalékos megoszlása.....	24
10. táblázat Asset Health Index értékeinek állapotinformációi.....	26
11. táblázat Pontszámnak megfelelő AHI értékek.....	27
12. táblázat Dielektromos állapotok szempontrendszere	27
13. táblázat Termikus állapotok szempontrendszere	27
14. táblázat Mechanikus állapotok szempontrendszere	28
15. táblázat Környezeti és biztonsági tényezők figyelembe vétele	28
16. táblázat AHI és kritikussági paraméterek összevetése.....	29
17. táblázat Kilenc transzformátor állapotjellemező az állapotfelméréshez.....	29
18. táblázat A transzformátor állapotjellemezői és azok súlyozása	34
19. táblázat Hibagázok határértékei és súlyai	40
20. táblázat Éghető gázok értékelése	40
21. táblázat Értékelés a gázarányok alapján.....	41
22. táblázat Olajvizsgálat határértékei és súlyozás	42
23. táblázat	44
24. táblázat	44

25. táblázat A vizsgált fizikai (P_i) értékek és a hozzá tartozó besorolási értékek (S_i) és súlyozás (W_i)	45
26. táblázat Rövidzárási impedancia határértékek	46
27. táblázat Furán tartalom határértékei.....	46