

A fenntartható energetika villamos rendszerei

FELKÉSZÜLÉST SEGÍTŐ KÉRDÉSEK

2016. tavaszi félév

Feszültség alatti munkavégzés

[FAM technológiák](#)

[FAM élettani hatásai](#)

Ismertesse a FAM elvét, technológiáit, munkamódszereit, a betartandó távolságokat!

Ismertesse a FAM műszaki és gazdasági előnyeit és hátrányait!

Melyek a FAM főbb dokumentumai és azok miket tartalmaznak?! Mi a különleges üzemviteli állapot, mikor és miért kell alkalmazni?

Ismertesse egy Ön által kiválasztott FAM eszköz vizsgálati eljárását!

Ismertesse a szakszemélyzetet érő erőtereket és az ellenük való védekezési módokat!

Dinamikus távvezeték terhelhetőség

[DLR előadás](#)

Ismertesse a távvezeték terhelhetőségének meghatározási elvét!

Milyen átviteli-kapacitásnövelési lehetőségeket lehet felsorakoztatni távvezeték esetén?

Mutassa be a távvezeték dinamikus terhelhetőségének számítását végző rendszer felépítését!

A öregedésmenedzsment alapjai, hálózati elemek állapotának ellenőrzése, minősítése

[Öregedésmenedzsment alapjai; a jövő hálózata; top-down megközelítés](#)

[Down-top megközelítés, diagnosztika](#)

Hogyan kell hozzájárulnia az eszközszintnek a jövő villamosenergia hálózatával kapcsolatos elvárásokhoz?

Mi az asset management célja és milyen beavatkozásokról, stratégiákról dönt? Milyen eszköz fenntartási stratégiák lehetségesek? Hogyan alkalmazzuk az eszközökről rendelkezésre álló diagnosztikai információkat?

Hogyan lehet alkalmazni a statisztikai hibaelemzést? Milyen lépései, módszerei és nehézségei vannak?

Melyek az online diagnosztika előnyei és hátrányai?

Melyek a kábeleken alkalmazható főbb diagnosztikai módszerek? Mi a specialitása kábeleknél diagnosztika szempontjából? Milyen módszereket alkalmaznak kábeldiagnosztikára?

Soroljon fel transzformátor diagnosztikai eljárásokat! Ismertesse a transzformátor hibagáz analízis elvét, kivitelezését és a kimutatható hibákat! Soroljon fel néhány jellemző hibagázt!

Diagnosztikai esettanulmányok

[Diagnosztika előadás](#)

Ismertesse a nagytranszformátor főbb részeit, lehetséges meghibásodásukat!

Ismertesse a transzformátor korrózív kén problémakört! Ismertesse milyen eljárással lehetséges a problémakör diagnosztizálása és megszüntetése!

Milyen transzformátor meghibásodási módokat ismer, ismertesse a karbantartási technológiákat! Sorolja fel mik az előnyei és hátrányai a helyszíni és a gyári javításnak, karbantartásnak!

Ismertesse az átvezető szigetelő felépítését, alkalmazható diagnosztikai eljárásokat és meghibásodási lehetőségeket!

Ismertesse a távvezeték hálózat felépítését, meghibásodási lehetőségeit!

Meghatározások – Dokumentációk 1.

- A dokumentumokat a FAM tevékenységet végző szervezet telephelyén, hozzáférhetően kell tárolni. A FAM tevékenység engedély a FAM munkavégzés helyszínén kell rendelkezésre álljon.
- **Munkavégrehajtási Feltételek (a továbbiakban: MVF):**
 - Egy-egy feszültség szinten (KiF, KöF vagy NaF) a FAM tevékenység előkészítését, lebonyolítását, műszaki és környezeti feltételeit részletesen szabályozó dokumentáció.
 - Tartalma:
 - a feszültség szintet meghatározó betűcsoport,
 - a tartalomra utaló cím és szám,
 - a dokumentáció jóváhagyásának kelte,
 - a tennivalók a munkák előkészítése és lebonyolítása során.



Meghatározások – Dokumentációk 2.

- **Átvételi és periodikus vizsgálatok gyűjteménye (a továbbiakban: ÁPVGY)**
 - A FAM eszközök első használatbavételét megelőző, illetve a használat során időszakonként szükséges vizsgálat módszereinek leírását tartalmazza.
 - Tartalma:
 - a feszültség szintet meghatározó betűcsoport,
 - a tartalomra utaló cím és szám,
 - a dokumentáció jóváhagyásának kelte.
- **Műszaki Lap (a továbbiakban: ML)**
 - A technológiákhoz használt FAM eszközök főbb műszaki adatait, vizsgálatának, ellenőrzésének, tárolásának, szállításának, karbantartásának feltételeit tartalmazó dokumentáció.
 - Tartalma:
 - a FAM eszköz megnevezése, jelzőszáma, fényképe vagy rajz (szükség szerint több nézetből), jellemző adatai,
 - az eszköz ellenőrzési, tárolási, szállítási és karbantartási feltételei (előírásai),
 - az eszközzel elvégezhető műveletek,
 - a dokumentáció jóváhagyásának kelte,
 - egyéni védőeszköz esetén annak tájékoztatója és abba beépítve vagy külön megjelenítve az EK megfelelőségi nyilatkozat, illetve az EK típus tanúsítvány másolata.



Meghatározások – Dokumentációk 3.

- **FAM Minősítő Lap (a továbbiakban: FAM MinL)**

- A FAM eszközök vizsgálatainak eredményét tartalmazó dokumentum.
- Tartalma:
 - a FAM eszköz megnevezése, gyártója, gyártási éve, gyári száma,
 - a vonatkozó Műszaki Lap száma,
 - az átvételi vizsgálat kelte, helye, végzője, eredménye,
 - az időszakos felülvizsgálat oka, ideje és helye, végzője, eredménye és naplószáma, javításra vonatkozó adatok,
 - egyéni védőeszköz esetén a külön jogszabály szerinti EK megfelelőségi nyilatkozat.

- **Műveleti Mód (a továbbiakban: MM)**

- Adott FAM eszközök használatát, kezelését meghatározó előírás-gyűjtemény.
- Tartalma:
 - a FAM eszköz megnevezése, jelzőszáma, fényképe vagy rajza (szükség szerint több nézetből),
 - az eszközzel végezhető műveletek, műveleti folyamatok részletes leírása,
 - az eszköz alkalmazásához szükséges létszám,
 - a dokumentáció jóváhagyásának kelte.



Meghatározások – Dokumentációk 4.

- **Típustechnológia (a továbbiakban: TT)**
 - Adott berendezésen feszültség alatt végezhető munka részletes, minden mozzanatra kiterjedő leírását tartalmazó dokumentáció.
 - Tartalma:
 - a berendezés feszültség szintjét és jellegét meghatározó betűcsoport,
 - a berendezés típusa,
 - az elvégzendő feladat meghatározása,
 - az alkalmazandó eszközök felsorolása,
 - a munka végrehajtásának részletes leírása,
 - a dokumentáció jóváhagyásának kelte.



Meghatározások – Dokumentációk 5.

- **FAM feljogosítási igazolvány**

- FAM tevékenység szakképzésében részt vett és eredményes vizsgát tett személy részére a munkáltató által kiállított, FAM tevékenység végzésére feljogosító igazolvány.
- Tartalma:
 - az igazolvány száma, kiállítója,
 - a feljogosított neve,
 - a vizsgatétel időpontja,
 - a feljogosítás feszültség szintje és foka,
 - a végrehajtható munkák jellege,
 - az igazolvány érvényességi határnapja,
 - az igazolvány kiállításának kelte,
 - meghosszabbítási rovatok.



Meghatározások – Dokumentációk 6.

- **FAM tevékenység engedély**

- Meghatározott berendezés felelős üzemeltetője által kiadott, a FAM tevékenység végzésére vonatkozó írásbeli meghatalmazás.
- Tartalma:
 - a meghatározott munkavezető neve és feljogosítási fokozata,
 - a berendezés pontos meghatározása,
 - a FAM tevékenység pontos meghatározása,
 - alkalmazandó technológiák,
 - KÜÁ meghatározása,
 - az üzemeltető és a munkahely közötti távközlési kapcsolat,
 - a munkacsoport tagjainak neve és feljogosítási fokozata,
 - az engedély érvényességi időtartama,
 - az engedély kiadásának időpontja.



SWOT:

	Segítik a célok elérését	Gátolják a célok elérését
Belső tényezők	Erősségek (Strengths) • Biztonságos, bevizsgált eljárás • Csökkenthető a baleseti kockázat és a balesetek száma • A hibák azonnal kijavíthatók, továbbterjedésük megakadályozható • Nincs fogyasztói zavartatás, a hálózati elemek rendelkezésre állása nő • Alkalmazható vegyesen a hagyományos technológiával • Kevesebb zöldkár (technológiától függő)	Gyengeségek (Weaknesses) • Feladattól és technológiától függően akár magas beruházási, szolgáltatás igénybevételi költség • Az átlagosnál magasabb fenntartási költségek • Megnövekedett adminisztratív feladatok • A bevezetés gazdaságosságának összetett elemzési igénye
Külső tényezők	Lehetőségek (Opportunities) • Szigorodó energiahivatali szabályozások a fogyasztói zavartatásra vonatkozóan • Országosan egységes oktatási rendszer, mely a folyamatos magas színvonalat garantálja • Egy modern, konzisztens technológia mellett nagyban egyszerűsíthető a FAM adminisztráció	Veszélyek (Threats) • A FAM tevékenységet kiszolgáló hazai vállalkozói szféra bizonytalansága • Változó politikai környezet pl. ágazati különadók miatti beruházáscsökkenés • Kellő megfontolás nélküli döntés egyes technológiák vásárlására



Védőtávolságok

Legkisebb szigetelési távolság

MSZ EN 50110

Legkisebb biztonsági távolság

MSZ EN 61472

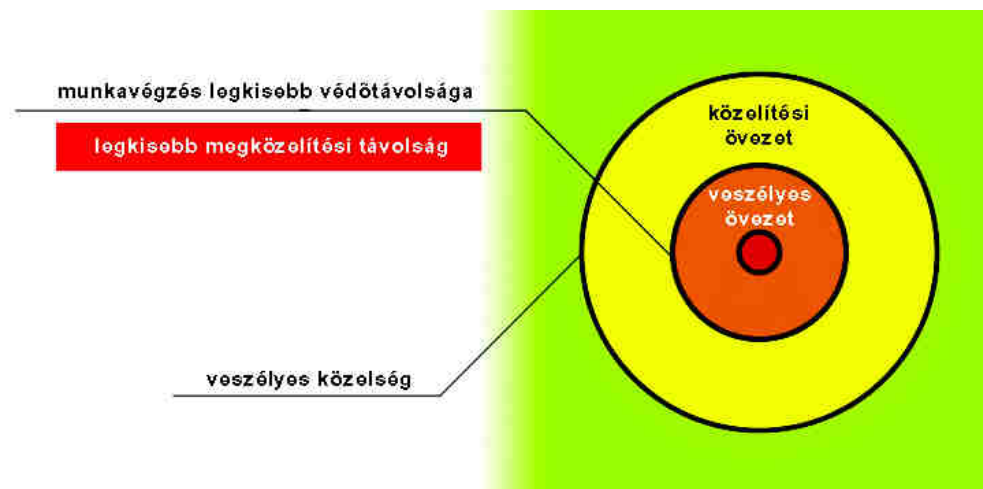
IEC 60060

A feszültség alatti rész közelítési övezetének határa

MSZ ENV 50196

MSZ 1585

A feszültség alatti rész veszélyes övezetének határa

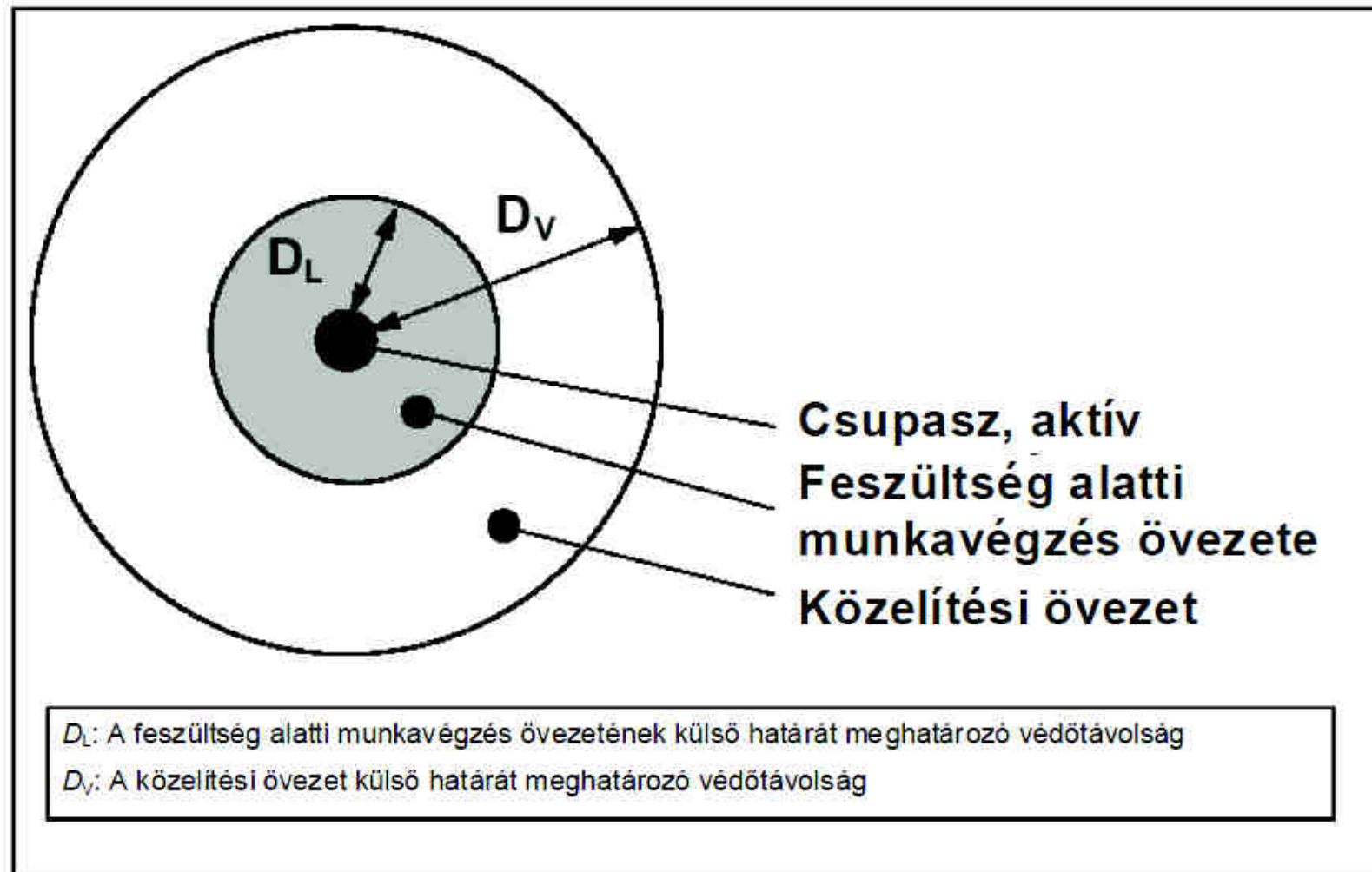


MSZ 1585 módosítás

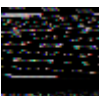
- Régi elnevezések:
 - Veszélyes övezet
 - Közelítési övezet
 - Besorolás: prEN50179, ENV50196
- Új elnevezések:
 - Feszültség alatti munkavégzés övezete
 - Közelítési övezet
 - Besorolás: „irányelvek”, nemzeti előírás



Védőtávolságok



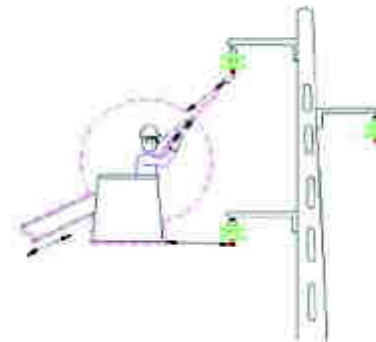
Betartandó védőtávolságok

BETARTANDÓ TÁVOLSÁGOK TÁBLÁZATA  		Szerelő szigeteletlen testrészei		Szigetelt kosár, gém, segédkar		Vezető gémrész	
		1Kv ≤ 22Kv	22Kv ≤ 35Kv	1Kv ≤ 22Kv	22Kv ≤ 35Kv	1Kv ≤ 22Kv	22Kv ≤ 35Kv
Csupasz feszültség alatti rész		30 cm	45 cm	30 cm	45 cm	120 cm	120 cm
Burkolt feszültség alatti rész		15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	30 cm	45 cm
Csupasz második érintési pont	KÖF vezető	30 cm	45 cm	30 cm	45 cm	120 cm	120 cm
	KIF vezető					90 cm	90 cm
	Földpotenciálú rész					90 cm	90 cm
Burkolt második érintési pont	KÖF vezető	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	30 cm	45 cm
	KIF vezető						
	Földpotenciálú rész						



A FAM munkamódszerei

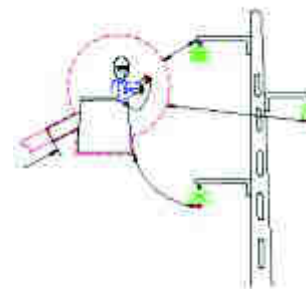
- Távolból végzett munka:



- Érintéssel végzett munka:



- Potenciálón végzett munka:



Szigetelő rúd

- Csípőfogós rúd
- Egyetemes rúd
- Horgos rúd
- Kihorgonyzó rúd
- Kötéskészítő rúd
- Műanyagfogós rúd
- Ollós rúd
- Racsni rúd
- Satus rúd
- Satus vonórúd
- Sodronyvágó ollós rúd
- Sodronyvágó ollós rúd racsnis
- Vezeték eltávolító rúd
- Vezeték tartó rúd
- Vezető függesztő rúd



Szigetelő rúd

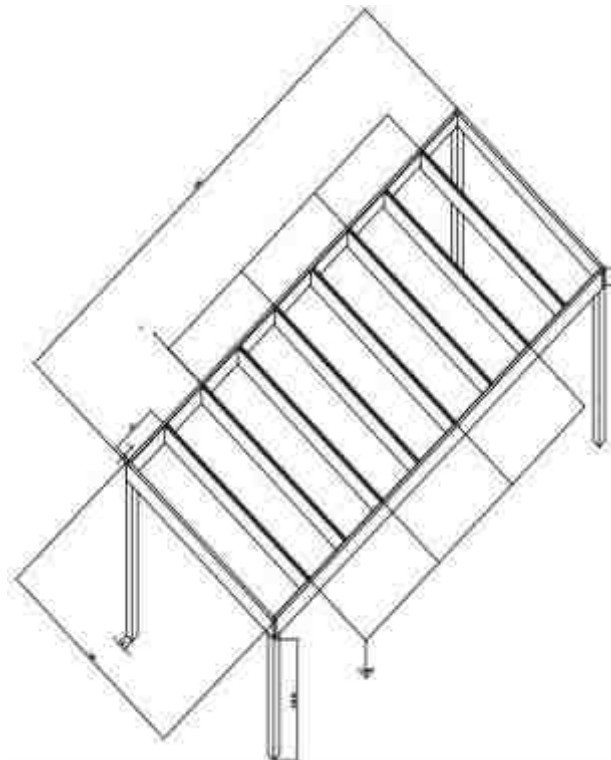
- **Vonatkozó szabvány: MSZ EN 60832**

Névleges feszültség (U_n)	Frekvencia (f)	Időtartam (t)
100 kV	50 Hz	1 min



Szigetelő rúd

- Mérési elrendezés



Szigetelő rúd

A mérés menete:

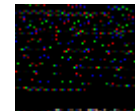
- A szigetelő rúdra két elektródot kell elhelyezni, egymástól 30 cm távolságra
- A két elektród közti szivárgási áramot a földágba sorosan kötött árammérővel kell mérni
- A hőmérsékletet a mérés során hőkamerával folyamatosan ellenőrizni kell
- Az egyik elektródot földelni kell, a másikra 100 kV nagyságú, 50 Hz frekvenciájú feszültséget kell kapcsolni 1 perc időtartamra
- A mérést a rúd teljes hosszában el kell végezni



Szigetelő rúd

Értékelés:

A szigetelő rúd megfelelő, ha nem történt átütés, átívelés, helyi kisülés, szikrázás, vagy jelentős melegedés és a szivárgó áram értéke nem növekedett



A különleges üzemviteli állapot (KÜÁ)

Egy közép- és nagyfeszültségű berendezés akkor van KÜÁ-ban, ha

- a rendszer csillagpontja ohmos ellenálláson keresztül földelt (a kompenzált hálózatokat a KÜÁ időtartamára ohmos ellenálláson keresztül földeltté kell átalakítani)
- a berendezés szelektív védelmeinek késleltetése önállóan van állítva
- a berendezés mindenfajta önműködő visszahívása békésen van.



A Feszültség Alatti Munkavégzés Biztonsági Szabályzata – tárgy és hatály

A Szabályzat

- **tárgya**

- olyan tevékenység szabályozása, melynek során a munkát végző személy a villamos hálózat vagy berendezés feszültség alatt álló szerkezeti részein munkát végez, miközben *a feszültség alatt álló berendezésnek feszültség alatt álló részeit testével közvetlenül, vagy szigetelt vagy szigeteletlen munkaeszközével, egyéni védőeszközével közvetve vagy munkadarabbal közvetve a munkamódszerektől függően megérinti, átütési (átívelési) távolságon belül megközelíti* létesítési, üzembe helyezési, üzemeltetési, üzemzavar-elhárítási és -megelőzési, javítási és karbantartási feladatok végrehajtása céljából (a továbbiakban: FAM tevékenység);

- **hatálya**

- kiterjed a FAM tevékenységet végző gazdálkodó szervezetekre [Ptk. 685. §., c) pont], a FAM tevékenység szakképzésére feljogosított szervezetekre;
- nem terjed ki a Szabályzat hatálya olyan egyszerű feszültség alatti műveletekre, melyekről más szakmai biztonsági szabályzatok és előírások rendelkeznek;
- a FAM technológiákat alkalmazók szempontjából a jelen keretszabályozás csak a Szabályzat 2.8 és 2.9 pontjaiban meghatározott dokumentációkkal, igazolvánnyal és engedéllyel együtt alkalmazható.



Meghatározások 2.

- **FAM tevékenység munkamódszerei**

- **Távolból végzett munka:** a feszültség alatti munkavégzésnek az a módja, amikor a dolgozó a feszültség alatt lévő résztől *meghatározott távolságból* (a legkisebb szigetelési távolságon kívül) *szigetelő rudak segítségével* végzi a munkáját.
- **Érintéssel végzett munka:** a feszültség alatti munkavégzésnek az a módja, amikor a dolgozót a környezetében lévő, tőle eltérő potenciálú részekkel szemben elektrotechnikai gumikesztyű, szükség esetén karvédő és egyéb szigetelő eszközök védik, miközben a munkája során (a legkisebb szigetelési távolságon belül) *közvetlenül mechanikai érintkezésbe kerül a feszültség alatt lévő részekkel*.
- **Potenciálon végzett munka:** a feszültség alatti munkavégzésnek az a módja, amikor a dolgozó *közvetlen villamos kontaktusban van azzal a feszültség alatt lévő résszel*, amelyen dolgozik, és így a dolgozó teste a feszültség alatt lévő rész potenciáljára kerül, emellett *a tőle eltérő potenciálú környezettől megfelelő módon el van szigetelve*.



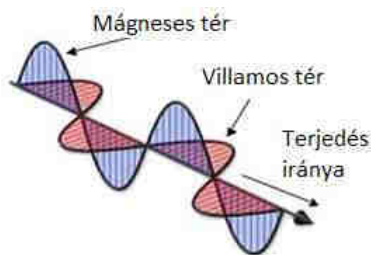
Villamos és mágneses erőter

$$\vec{H} = \vec{j} + \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \vec{A}$$

$$\vec{E} = -\frac{1}{\epsilon_0} \nabla \times \vec{A}$$

Frekvenciára vonatkozó korlát
(tipikusan 10^{17} Hz körül)

Hullámhosszra vonatkozó
korlát



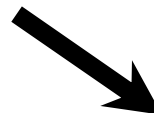
Forrás: <http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/862.06/students/alki/GA.html>



ELEKTROMÁGNESES KÖRNYEZETVÉDELEM



Biológiai hatások



EMC

KiF FAM

Napjainkban a leggyakoribb KiF FAM műveletek:

- Csatlakozó szerelés és bontás
- Közvilágításhoz kapcsolódó munkálatok
- Mérőhelyi munkák



KöF FAM - példa



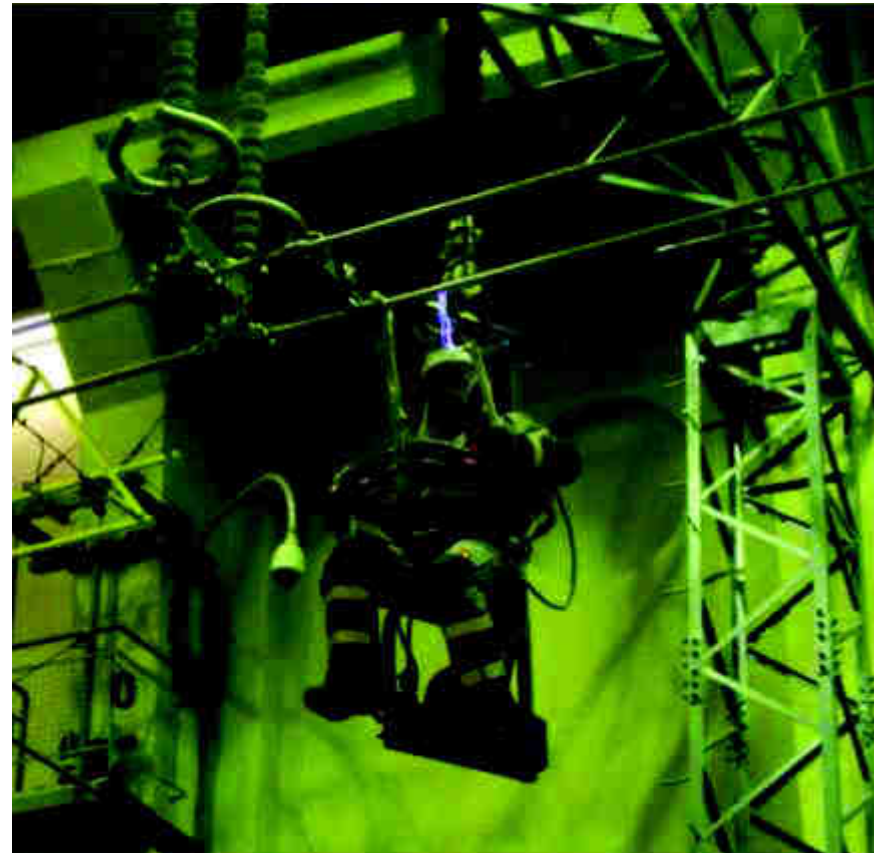
Vezetőképes öltözetek

- Vezetőképes öltözetek: az elv régóta ismert
- Nagy szórás a védelem hatékonysága alapján
- Villamos paraméterek
 - ellenállás
 - áramvezető képesség
 - ernyőzés hatékonysága
 - **vezetőképes öltözet hatékonysága**



Vezetőképes öltözetek 1.

- Faraday-kalitka
- „Faraday-lyukak”
- Archáló
- NaF FAM
 - Villamos tér
 - Mágneses tér



Határértékek

	Villamos télerősség, 2010-ig [kV/m]	Villamos télerősség, hatályos [kV/m]	Mágneses indukció, 2010-ig [μ T]	Mágneses indukció, hatályos [μ T]
Lakosság	5	5	100	200
Szak- személyzet	10	10	500	1000

(ICNIRP)

Vezetőképes öltözetek 1.

- Faraday-kalitka
- „Faraday-lyukak”
- Archáló
- NaF FAM
 - Villamos tér
 - Mágneses tér



Mágneses térrel szembeni árnyékoló képesség

- nagyáramú mérések: ~ 2 kA
- távolság több lépcsőben
- a mágneses indukció értéke a kísérletek során gyakran **határérték feletti**
- az összes vizsgált vezetőképes öltözet árnyékoló hatása a mágneses térrel szemben **elhanyagolható**

Távvezetékek terhelhetősége

Véges terhelhetőség:

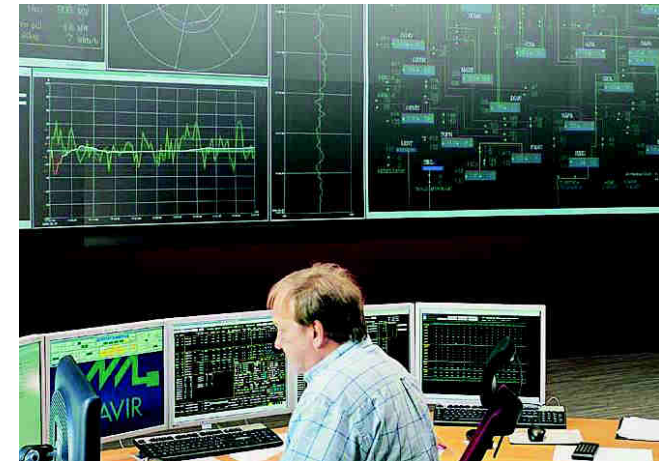
- Mechanikai korlátok
 - Villamos korlátok
 - Jogi korlátok
- Túlmelegedő vezeték
 - Anyagfáradás
 - Sodronyok elemi szálainak súrlódása azok hőtágulása során
 - Élettartam csökkenés
 - Túlzott belógás

Távvezetékek Dinamikus Terhelhetősége

- Távvezetékek terhelhetősége
 - Legnagyobb áramterhelés
 - Sodronyok termikus viselkedése
 - Erősen limitált a sodrony megengedett legnagyobb hőmérséklet által
 - Normál esetben statikus terhelhetőség számítása
- Dinamikus Terhelhetőség - DLR
 - Valós idejű terhelhetőségszámítás a mindenkori körülmények alapján
 - A statikus terhelhetőség leváltása

A DLR előnyei

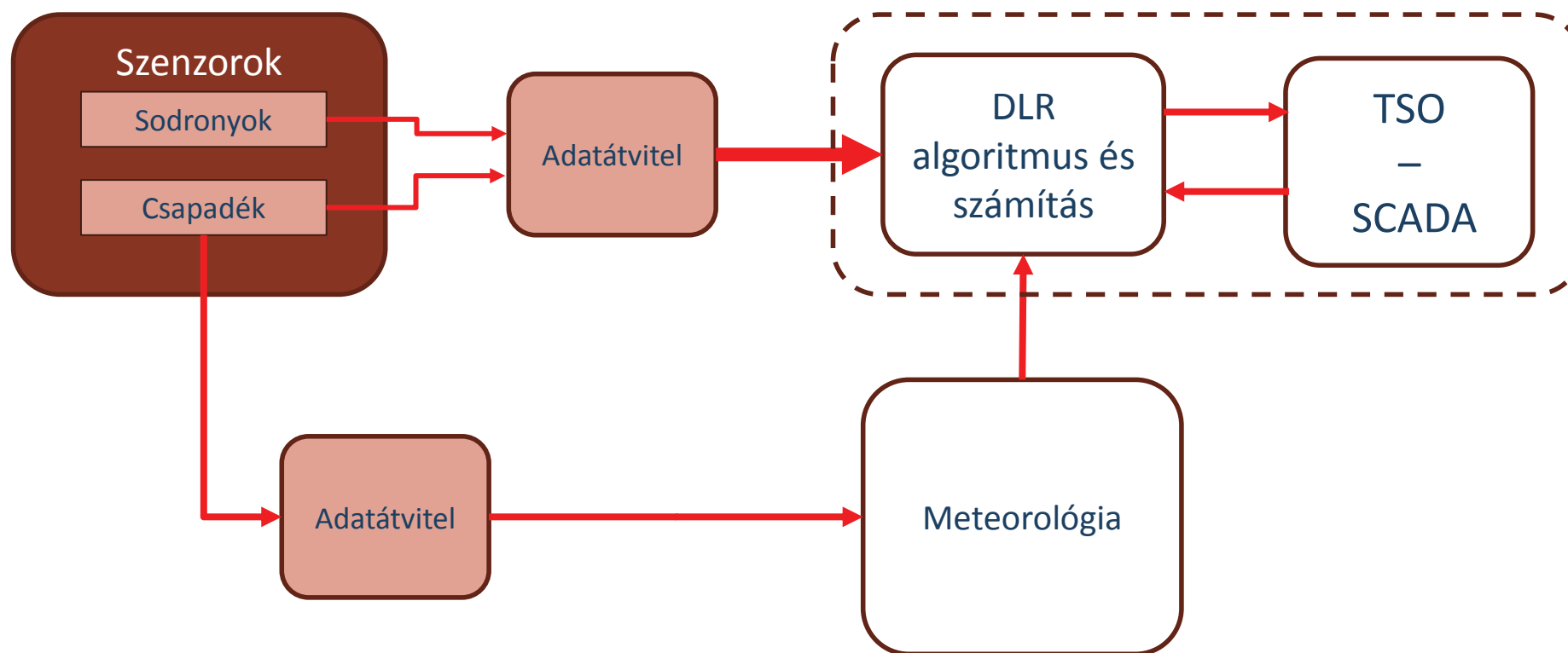
- Távvezetékek terhelhetőségének növelése
- Valós idejű terhelhetőség számítás
- Átviteli kapacitás előrejelzése
- Üzembiztonság és megbízhatóság növelése
- Extrém időjárási körülmények által okozott kockázat csökkentése



DLR számítására alkalmas rendszer elemei

1. Sodronyok termikus modelljének előállítása
2. A számítást végző rendszer modelljének előállítása
3. A DLR lehetséges hatásainak elemzése, a távvezeték előkészítése
4. A valósidejű adatgyűjtést célzó és elősegítő eszközök kiválasztása
5. A rendszer kiépítése

A DLR rendszerszintű működése



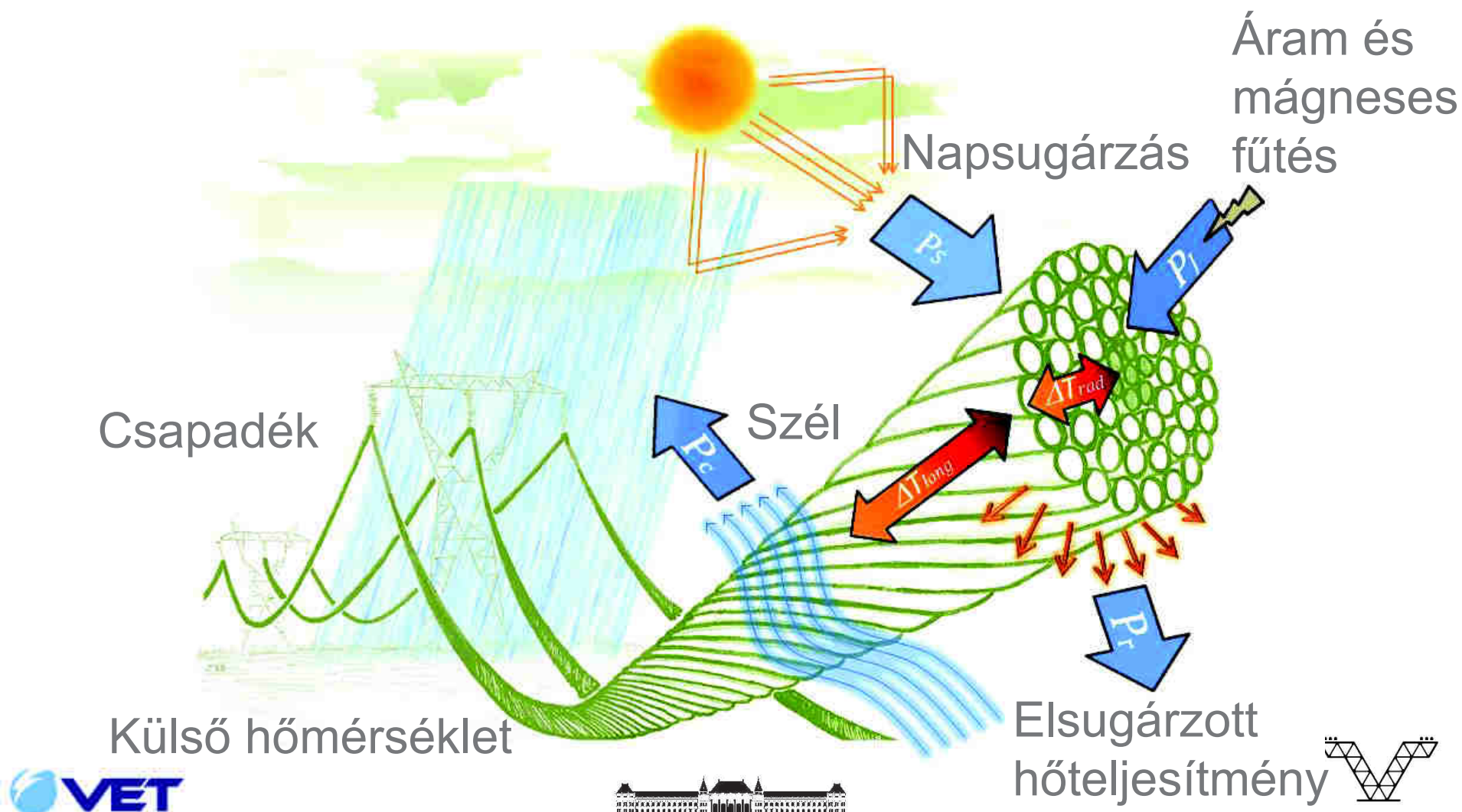
A terhelhetőség növelésének lehetőségei

- Új távvezeték építése
- Régi sodronyok cseréje - oszlopcsere
- Dinamikus terhelhetőség számítása
- Vezetékek túlterhelése
- Szezonális statikus terhelhetőség számítása

A DLR számítása

- A dinamikus terhelhetőség számítása a távvezeték sodronyainak termikus viselkedésén alapul
- A sodronyok mindenkori hőmérséklete nem haladhatja meg a *megengedett maximális sodronyhőmérsékletet*
- A dinamikus terhelhetőség számítását elméletben minden olyan paraméter befolyásolja amely hat a sodronyok termikus viselkedésére
- A cél a valós idejű áramterhelhetőség számítása az egyes befolyásoló paraméterek függvényében

A sodronyt érő elsődleges hatások



A sodrony termikus viselkedését befolyásoló egyéb hatások

- Koronakisülés – fűtés
 - Feszültség szint és görbületi sugár függvénye
 - Sodrony melegedés
 - Sodrony felület erodáció
- Áram mágneses hatása – fűtés
 - Áramsűrűség változó eloszlása a sodrony keresztmetszete mentén – Skin-hatás
 - Áramsűrűség és frekvenciafüggő
- Csapadék – hűtés
 - Jelentős hűtő hatás
 - Sodrony felületen történő lerakódás, összegyűlés

A hőegyensúlyi egyenlet egyszerűsített alakja

A vezeték terhelhetősége a hőegyensúlyi egyenlet alapján számolható:

$$P_j + P_s = P_R + P_C$$

mivel $P = I^2 \cdot R(T_v)$

$$I = \sqrt{\frac{P_R + P_C - P_s}{R(T_v)}}$$

$T_v = T_{max}$ esetén

$$I_R = \sqrt{\frac{P_R(T_{max}) + P_C(T_{max}) - P_s}{R(T_{max})}}$$

Az asset management definíciója

- Az asset management célja
 - Egy teljes eszközcsoportra az elvárt megbízhatósági szint figyelembe vételével meghatározni a szükséges ráfordításokat és ezen belül meghatározni a karbantartások és beruházások hosszútávon fenntartható egyensúlyát
- Egymásnak ellentmondó szándékok
 - Költségek (eszközök, csere, karbantartás)
 - Hatékonyság, megbízhatóság, biztonság
 - Kockázatok (meghibásodások)



A jövő hálózata

- Többféle lehetséges út, általánosan smart gridként definiáljuk
- A modern infokommunikációs technológiákban rejlő lehetőségek kiaknázásával a jövő hálózatának kiépítése
 - Gazdaságos
 - Környezetkímélő
 - Fenntartható
 - Megbízható
 - Öngyógyító képesség
 - Javuló energiaminőséget biztosít
 - Megújulók integrálására alkalmas
 - Fogyasztói befolyásolásra alkalmas
 - Energiapiac kezelésére alkalmas
 - ...



A jövő hálózata

- Smart grid-re általában rendszerszinten gondolunk
- Ugyanakkor a legtöbb szempont közvetlenül vagy közvetetten tartalmaz eszköz szintű elvárásokat
- Ennek megfelelően az eszközgazdálkodás megkerülhetetlen
- Miért nem elég a rendszerszintű megközelítés smart grideknél?
 - Mindig ott van mögötte a fizika...
 - Kidőlt oszlopon a self-healing sem tud energiát szállítani



Az eszközszint szerepe a jövő hálózatában

- Hogyan és mit lehet eszköz szinten, eszközgazdálkodási módszerekkel hozzá tenni a jövő energiahálózatához?
 - Gazdaságos:
 - Csak költséghatékonyan üzemeltethető elemekből lehet elképzelni
 - A rendelkezésre álló információk segíthetnek a kihasználtság vagy az élettartamra vonatkozó költségek megállapításában
 - Környezetkímélő
 - Növényi olajok, biológiai úton lebomló szigeteléseket tartalmazó vagy SF₆-mentes berendezések felvétele az eszközstratégiába
 - Fenntartható
 - Műszaki fenntarthatóság
 - Gazdasági fenntarthatóság
 - Környezeti fenntarthatóság
 - Megbízható
 - Karbantartás menedzselési módszerek, avultatás kezelése
 - Különleges körülményeknek is ellenálló berendezések (pl. nanobevonat a sodronyokon, ami megakadályozza a jég lerakódását)



Az eszközzint szerepe a jövő hálózatában

- Hogyan és mit lehet eszköz szinten, eszközgazdálkodási módszerekkel hozzá tenni a jövő energiahálózatához?
 - Öngyógyító képesség
 - Olyan eszközök (pl. TMOK, recloser) kiválasztása, amelyek ezt lehetővé teszik rendszerszinten
 - Olyan megoldások alkalmazása, amelyeknek köszönhetően fizikailag regenerálódnak pl. szigetelések
 - Javuló energiaminőség
 - Jobb állapotú, megfelelően méretezett hálózat kevésbé van kitéve pl. feszültségletöréseknek
 - Az új és részletes információk alapján kizárni az igényeknek nem megfelelő megoldásokat
 - Megújulók integrálására alkalmas
 - Néha hirtelen nagymennyiségű energia szállítása: Állapotinformációk bevonásával az üzemeltetésbe meg tudom mondani, hogy melyik hálózati elemeket lehet adott esetben túlterhelni (DLR)



Az eszközzint szerepe a jövő hálózatában

- Elég-e az infokommunikációs technikák kiterjedt alkalmazása?
 - A rendszerek, a kialakítás költségeit is figyelembe véve minimalizáljunk (előzetes modellek ehhez is kellenek)
 - Fogyasztói elégedettségre gyakorolt hatás nélkül mit sem érünk
 - Példa: 1980-as években már USA-ban elkezdtek ún. „smart alállomásokat” építeni
 - Rengeteg valós idejű adatgyűtés
 - Részletes kiesési statisztika
 - Hőmérséklet mérések stb.
 - MÉGIS: miután beleöltek rengeteg pénzt és időt, rájöttek, hogy gyakorlatilag a felhasználók számára, a szolgáltatás minősége tekintetében gyakorlatilag semmilyen hatás nem volt!
 - Ezzel sikerült bemutatni, hogy az, hogy smart, nem feltétlenül jelenti azt, hogy hatékony vagy optimális – valószínűleg ez a tapasztalat vezethetett oda, hogy a mai smart grid definíció tartalmazza a hatékonyságot



Az eszközzint szerepe a jövő hálózatában

- Interoperabilitás műszaki és vállalati rendszerek között
 - Smart grid és asset management is elképesztő mértékű infokommunikációs fejlesztéseket implicál
 - A duplikált funkciók elkerülése, a meglévő funkciók hatékony kihasználása érdekében elkerülhetetlen, hogy egy-egy rendszert, adatbázisokat, kommunikációs csatornákat több funkcióra is használjunk
- Önmagukban is költséghatékony módszerek alkalmazása állapotértékelésre
 - Ne kelljen többet költeni diagnosztikára, állapotfelmérésre
 - Használjuk ki, hogy több adat van



Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- Adatgyűjtés, adatbányászat
 - Weibull-eloszlást követő meghibásodásokhoz görbét illesztünk és előre jelezzük a meghibásodások számát
- Hatékonyabb és Online diagnosztika
 - A fontos kábelszakaszokon online részletörés mérés
 - Trafókon online diagnosztika
 - Elosztóhálózati transzformátorok: diagnosztika általában nem, online diagnosztika különösen felesleges lehet, viszont ha már van kommunikáció, akkor az egyik legnagyobb probléma az olajlopás könnyebben felderíthető
 - Asset health segíthet azon döntések megalapozásában, hogy hova kell esetleg tartalék ellátási lehetőséget kiépíteni, hova érdemes pl. self-healing rendszereket kiépíteni
 - → arra számíthatunk, hogy nem egyszerre, teljes hálózatok tekintetében fog megvalósulni a smart grid kiépítés



Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- Állapotinformációk kihasználása

Döntéstámogató rendszer a beavatkozások optimalizálásához (fenntartható, költséghatékony stratégia kialakítása)	Modellszintű ismeretek az eszköz állapotokról és a beavatkozásokról, pénzügyi optimalizálási ismeretek
Szakértői rendszer a berendezésről ismert adatokból, mérési eredményekből az állapot megállapításához	Komplex műszaki ismeretek a berendezésről
Adott mérés kiértékelése	Műszaki ismeretek az adott módszer alkalmazásáról a konkrét berendezésre
Fizikai mérések	Méréstechnikai ismeretek



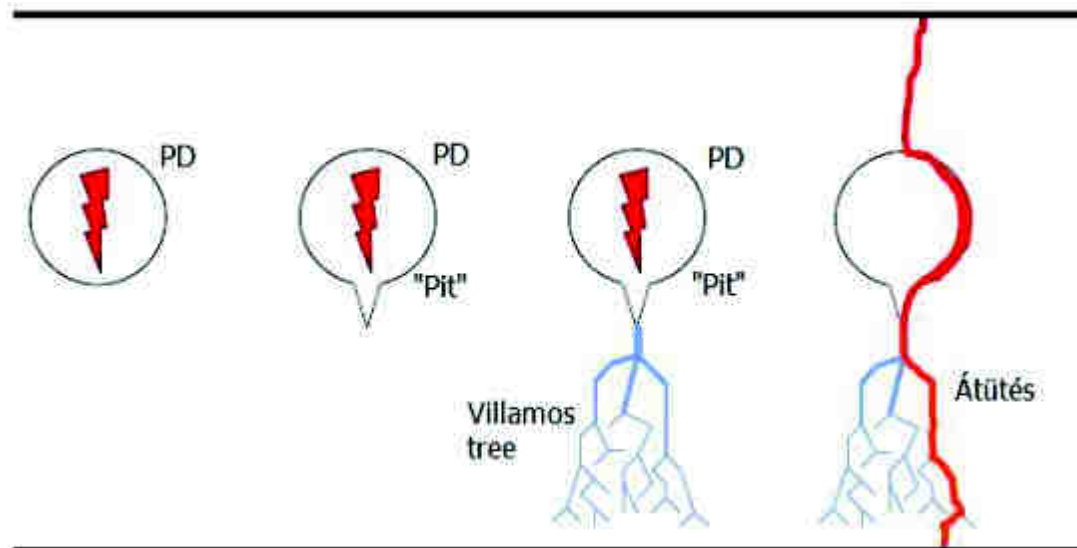
Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- A kommunikáció, online diagnosztika sokkal jobb diagnosztikai lehetőségeket nyújt:
 - Az, hogy van 25 pC nagyságú részletörés egy kábelben, az még önmagában olyan túl sokat nem mond, ennyivel akár évekig is üzemelhet
 - Ugyanakkor ha tegnapelőtt 10 pC volt, tegnap 15 pC ma pedig 25 pC, akkor még üzemzavar előtt kiveszem üzemből és kimegyek egy részletesebb diagnosztikára
 - DE: emögött is ott kell lennie a fizikai modellnek
 - Mi van, ha tegnapelőtt 10 pC volt, tegnap 10,5 pC, ma pedig 10,8 pC? Ez már probléma? Ha igen, akkor mennyi időn belül?
 - Ehhez ismerni kell azt, hogy részletörésből hogyan lesz átütés
 - Tudni kell, hogy a részletörés pl. HFCT sávszélsségek esetén értelmezhető-e pC-ban? (nem, a mV kezd terjedni; de kell érteni a mögöttes fizikát, hogy értelmezni tudjuk)



Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- Ahhoz, hogy valóban előny legyen az információ rendelkezésre állása, ismerni kell a mögöttes folyamatokat
- Konkrét példa: kábelek online részleges kisülés mérése
 - Ahhoz, hogy asset döntésekhez tudjuk használni a rendelkezésre álló mérési eredményeket, ismernünk kell a mögöttes fizikai folyamatokat
 - Üregkisülés átmenete átütésbe:
 - Először csak kisülés
 - Aztán kialakul egy „akna” (pitting)
 - Ebből indul ki a villamos tree
 - Ettől a ponttól tud nagyon gyorsan átütésbe átmenni a folyamat



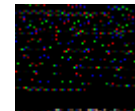
Eszköz szintű és rendszer szintű fejlesztések

- Mind a Smart Grid, mind az Asset Management komplex fogalmak, a hatékony kialakításukhoz komoly fizikai, kutatói háttérre van szükség
- Önmagában az, hogy van adat és van kommunikáció, semmit sem fog megoldani
- Mind az SG, mind az AM a teljes vállalati működést átfogó, nagy volumenű projektek keretében kerülhet kialakításra
 - Költséghatékony és műszakilag jól teljesítő rendszerek kiépítése érdekében legfelső szintű koordinációt igényelnek

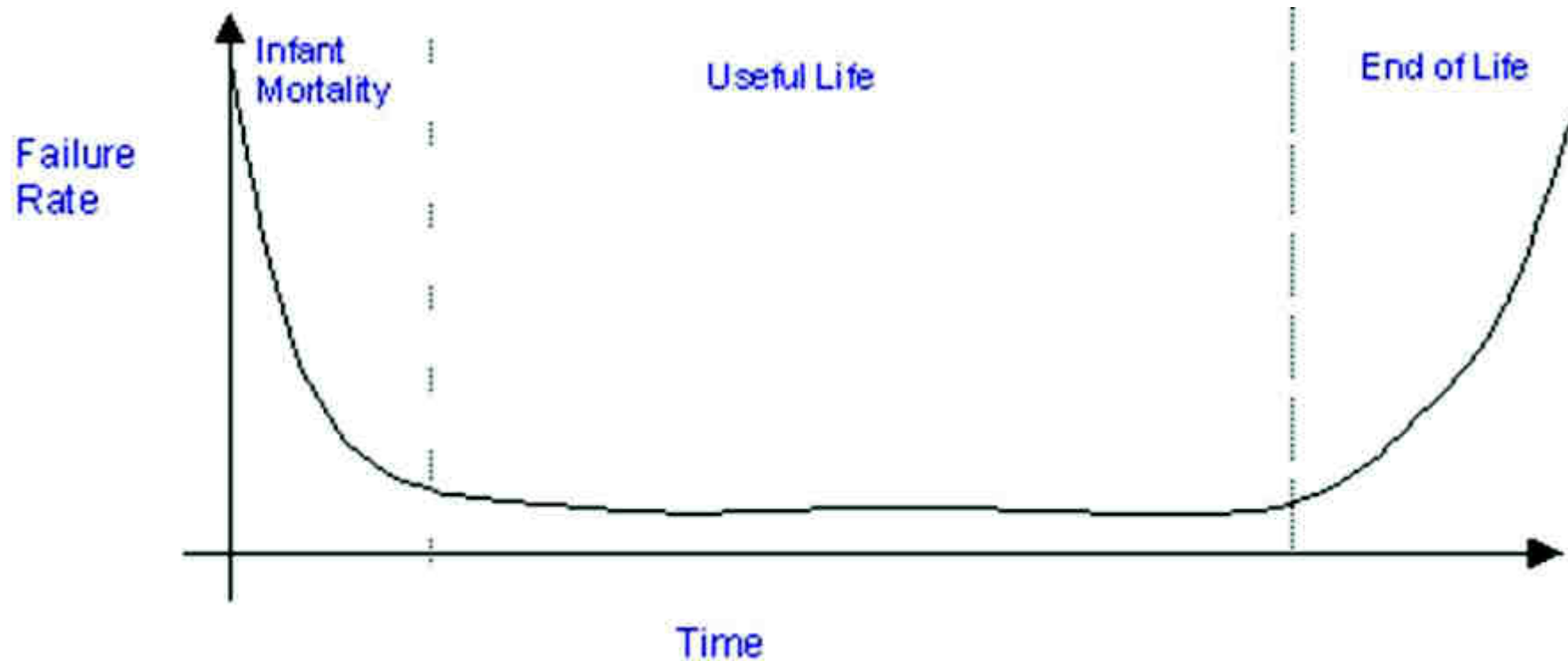


Eszköz szintű és rendszer szintű fejlesztések

- Eddig elszeparáltan működő területek sokkal összehangoltabban tudnak majd működni
- Nem csak az a nyereség, hogy sok adat fog rendelkezésre állítani, hanem a vállalati működést is át fogja formálni
- Asset management a jövő hálózatán
 - Öregedő hálózatok kezelése
 - Növekvő és komplexebb elvárások
 - A valódi cél egy optimális rendszer kiépítése, ami egyensúlyoz a műszaki hatékonyság, fogyasztói elégedettség és a vállalat üzleti sikere között

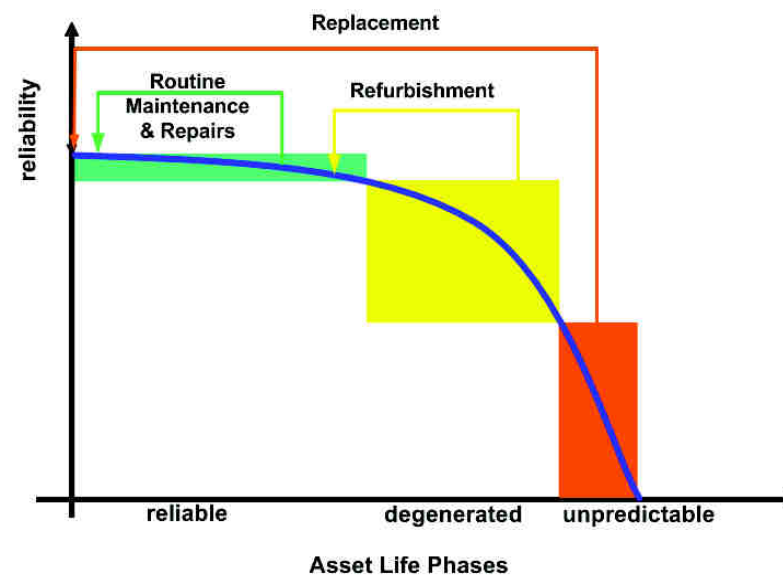


Statisztikai hibaelemzés



Statisztikai hibaelemzés célja

- Előrejelzés által segíteni a rövid, közép és hosszú távú karbantartás és beruházás tervezést
 - Mennyi eszközön?
 - Milyen beavatkozást hajtsunk végre?
 - Nincs beavatkozás
 - Karbantartás
 - Felújítás
 - Csere
- Nagy számban üzemeltetett eszközök esetében alkalmazható

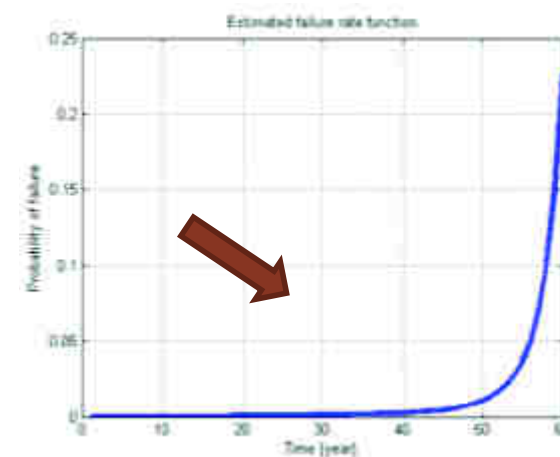


CIGRÉ Working Group C1.1: Asset management of transmission system and associated Cigre activities, 2006

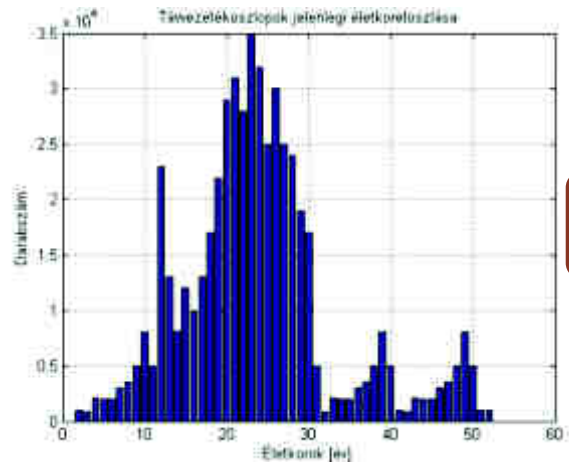


Statisztikai hibaelemzés célja

- Felülről lefelé megközelítés, nem a konkrét esetek érdeklik, hanem egy populáció viselkedése
- Nem (alap)célja kijelölni a konkrét eszközt, amin beavatkozást kell végre hajtani
 - Állapotfelmérés (diagnosztika, szemrevételezés)
 - Korreláció bizonyos tényezőkkel
- Mit nyerhetünk vele?
 - Optimális pillanatban megindított sorcserék
 - Szűk keretek között a fontosabb beavatkozások kiválasztása
 - Üzembiztonsági tartalékok, cserealkatrész igények pontos előrejelezhetősége

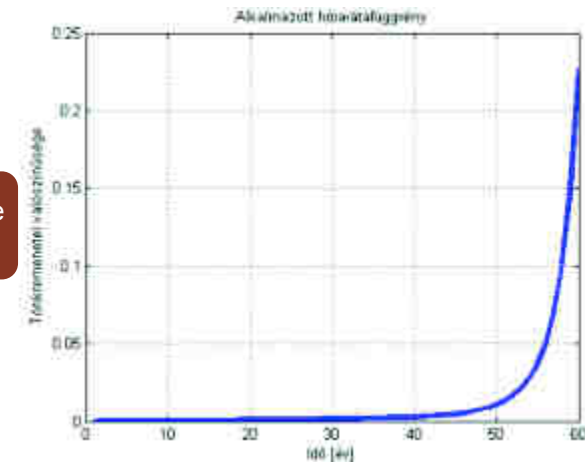


Statisztikai hibaelemzés – hogyan?

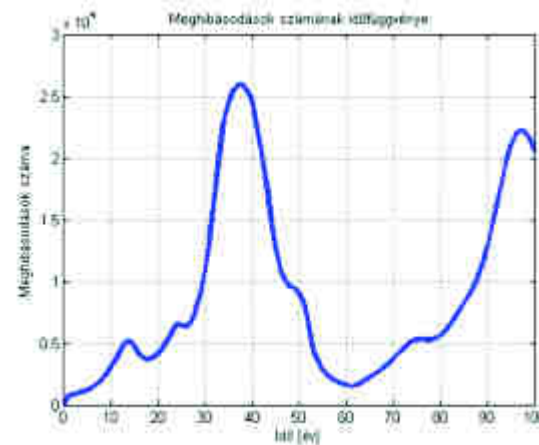


Berendezések
korának eloszlása

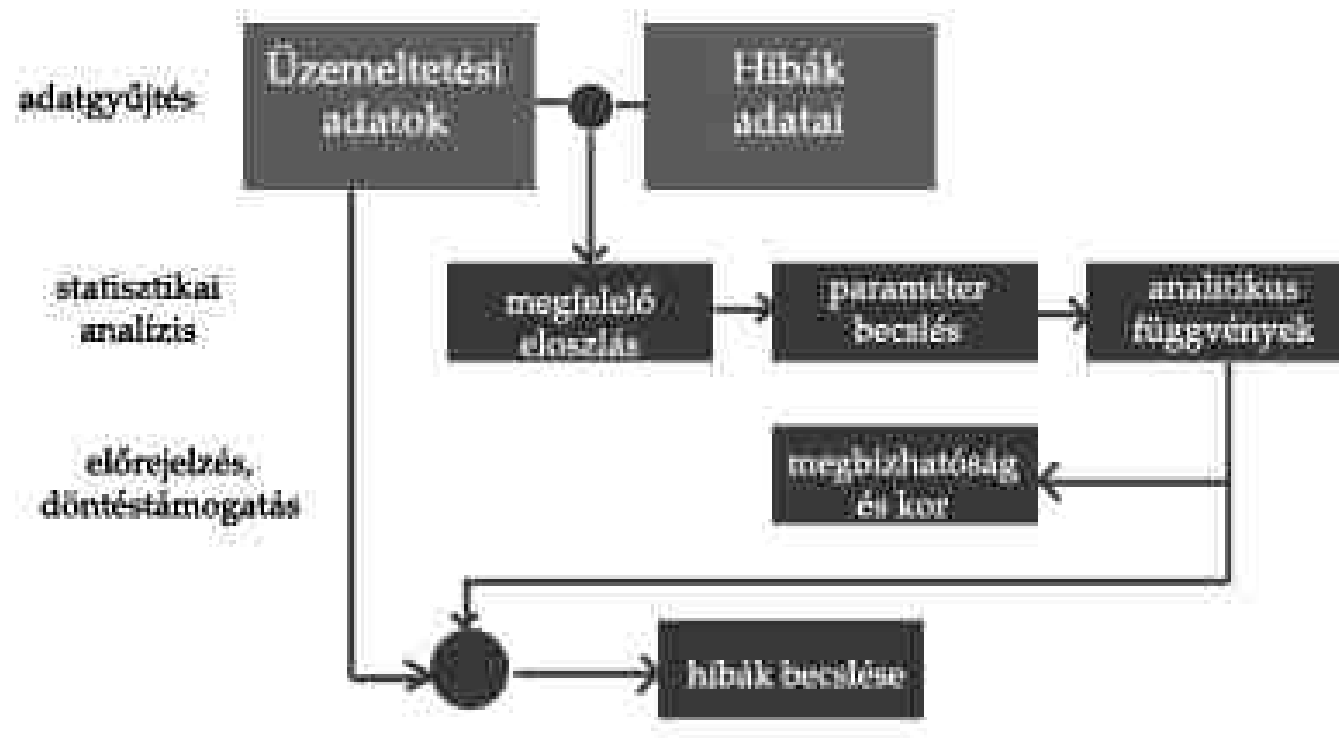
Hibaráta a berendezése
korának függvényében



Meghibásodások
számának előrejelzése



Statisztikai hibaelemzés – hogyan?



Statisztikai hibaelemzés alapjai

- Lépések:
 - Adatgyűjtés
 - Megfelelő eloszlás kiválasztása
 - Görbeillesztés, predikció
- Adatgyűjtés
 - Adatbázis felépítése az eszközállományról: típus, kor stb.
 - Meghibásodások rögzítése
 - Pontosan mit értünk itt alatta?
 - Milyen részletességgel kell rögzíteni?

Meghibásodásig eltelt idő [óra]	Hiba sorszáma
16	1
34	2
53	3
75	4
93	5
120	6



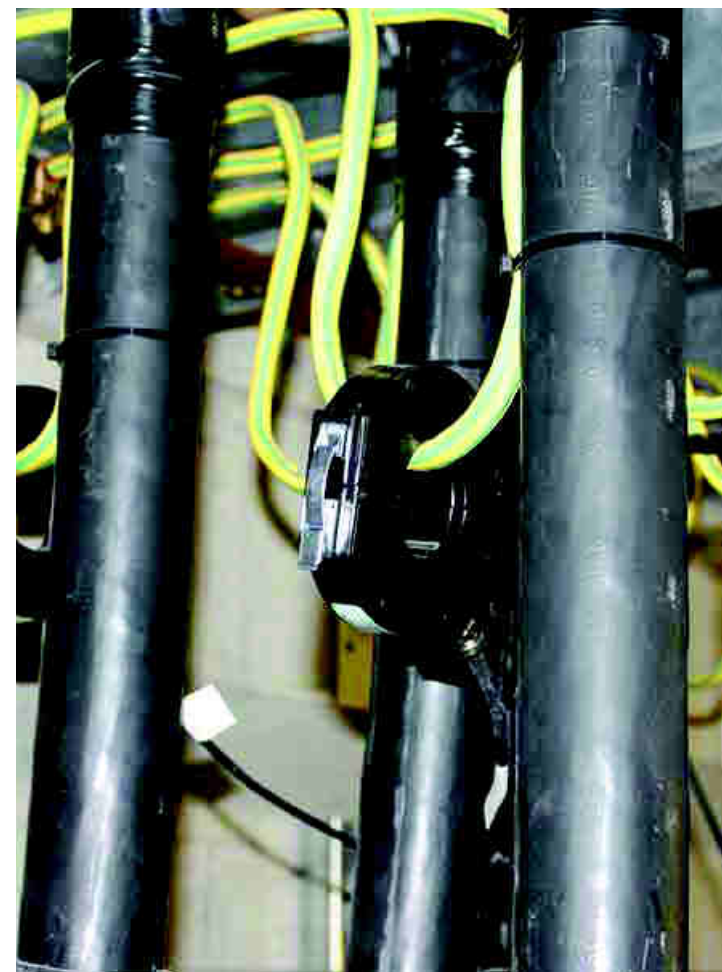
Statisztikai hibaelemzés alapjai

- Alkalmazható eloszlások, modellek
 - Hány öregedési folyamat van? Van-e domináns?
 - Poisson eloszlás: kortól független meghibásodások
 - Weibull eloszlás: akkor alkalmazható, ha van domináns hibamód
 - Crow AMSAA: több hibamódra is működik, de nagy mennyiségű bemenő adatra van szüksége
 - Cox féle arányos kockázati modell: kockázati faktorok és hibamódok közötti összefüggést tudja feltárni
- Milyen görbeillesztési módszert alkalmazunk?
 - Maximum valószínűség becslés (maximum likelihood method)
 - Rang mediánja (median rank)
 - Grafikus görbeillesztés



On-line mérések és monitoring rendszerek

- Online mérés: az üzem fenntartása mellett történik
- + nincs fogyasztói zavartatás
- + nem kell külön gerjesztőberendezés
- + valós körülmények között vizsgálható a berendezés
- + pillanatszerű mérések helyett folyamatok vizsgálata is lehetséges



On-line mérések és monitoring rendszerek

- Online mérés: az üzem fenntartása mellett történik

- FAM tevékenységet igényelhet

- esetenként kiküszöbölhető (akkor is feszültség közeli munkavégzés)

- Magas zaj- és zavarsszintek

- kifinomult feldolgozástechnikát igényel

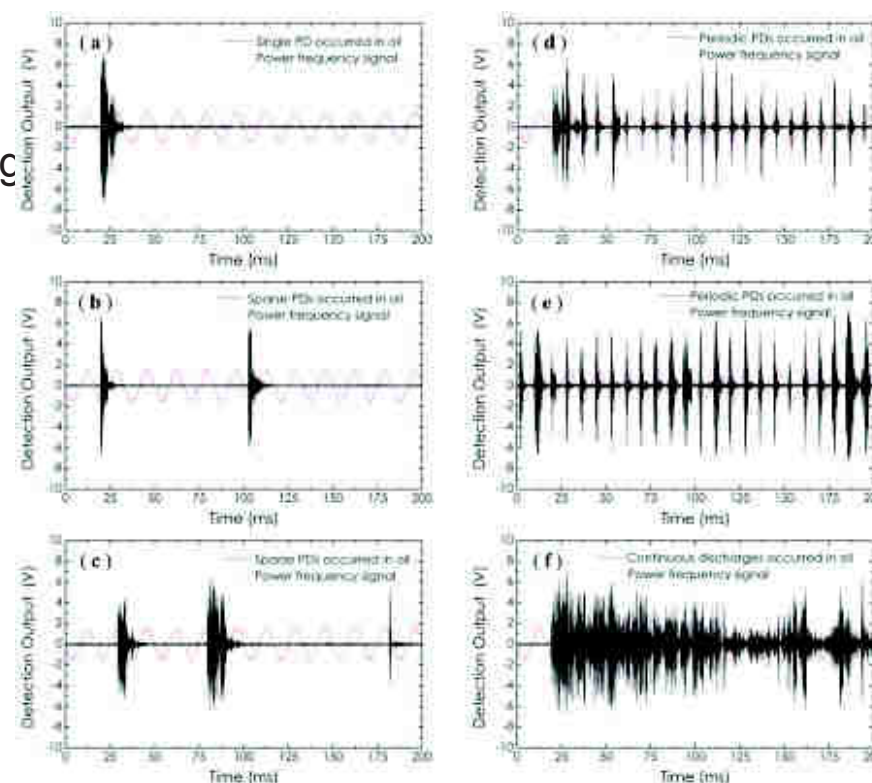
- Nem választható meg a próbafeszültség

- aktuális hálózati feszültség; változással korrigálni kell

- Bizonyos jellemzők nem mérhetők

- Szigetelési ellenállás, veszteségi tényező...

- Mérés időközönként ↔ monitoring



<http://www.mdpi.com/>



On-line mérések és monitoring rendszerek

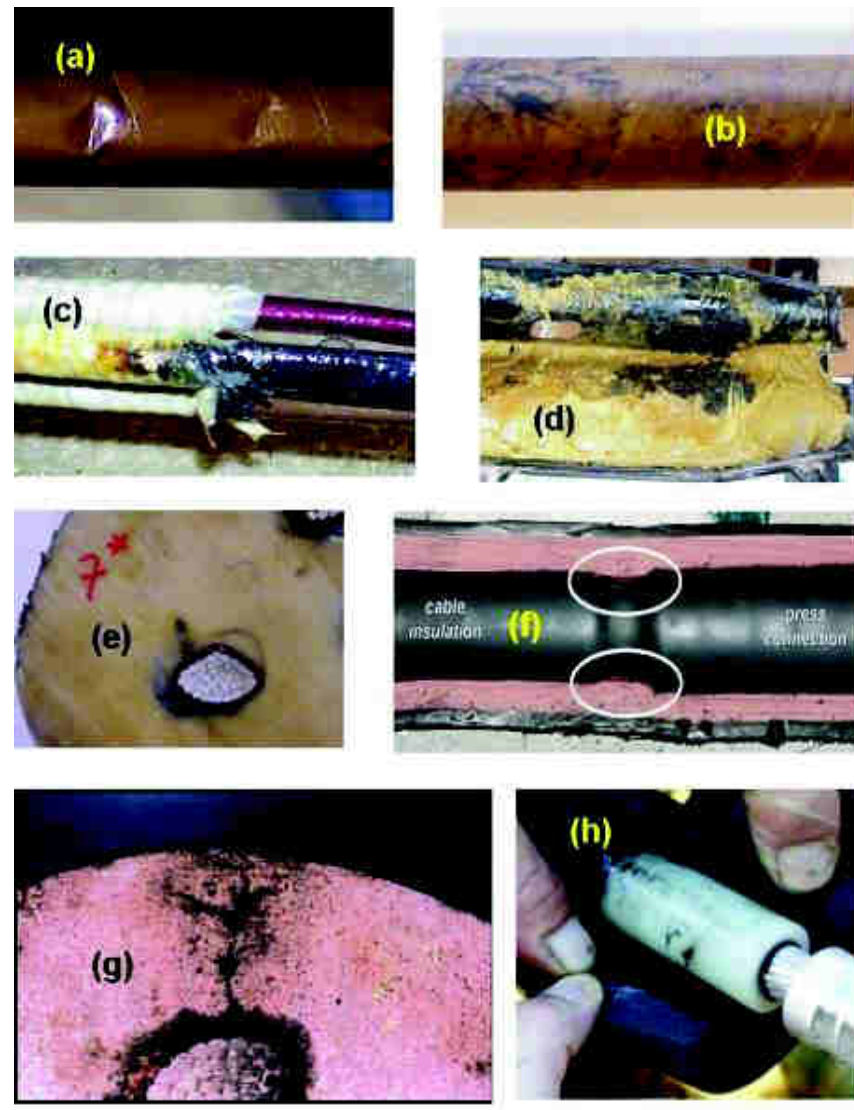
- Hátrány: magasabb induló ár
- Költségek csökkenthetők, ha a helyszínen csak mérés és adatgyűjtés történik, a feldolgozást központi egységek végzik
 - Elosztott intelligencia alkalmazása nem költséghatékony és nehezzé teszi az új ismeretek interpretálását
 - Akkor igazán hatékony, ha már rendelkezésre áll valamilyen kommunikációs csatorna az adatok továbbítására
- Telepítése kritikus helyekre ajánlott



A kábelek meghibásodása

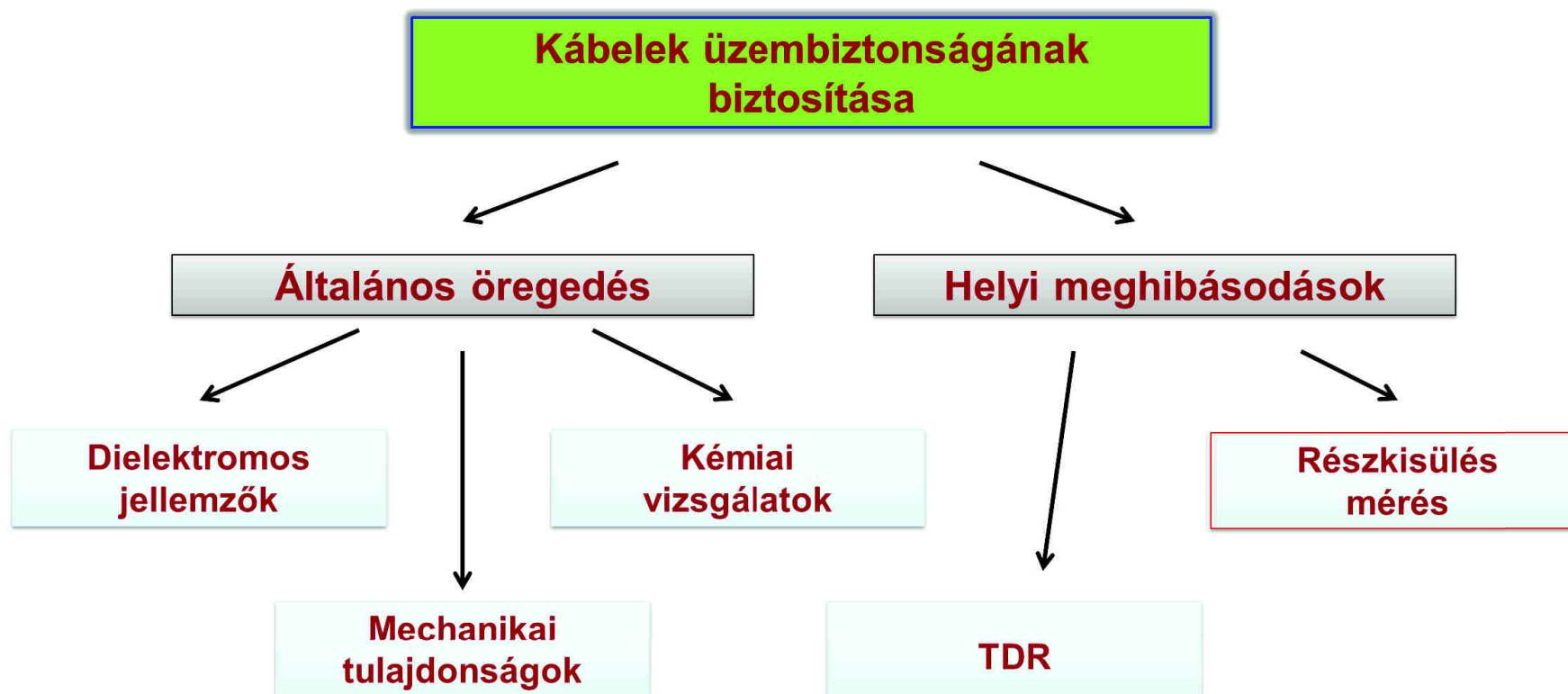
A hibaelhárítás folyamata (avagy miért szeretnénk NAGYON elkerülni):

- Meghibásodott kábelszakasz behatárolása (szakasz)
- Meghibásodás pontos helyének megtalálása (remélhetőleg pontos)
- Szükséges lehet engedély a feltáráshoz (útburkolat, díszburkolat...)
- Feltárás
- Javítás
- Ellenőrzés
- Visszatemetés...



Kábeldiagnosztikai lehetőségek

- Kábeleken alkalmazható főbb módszerek



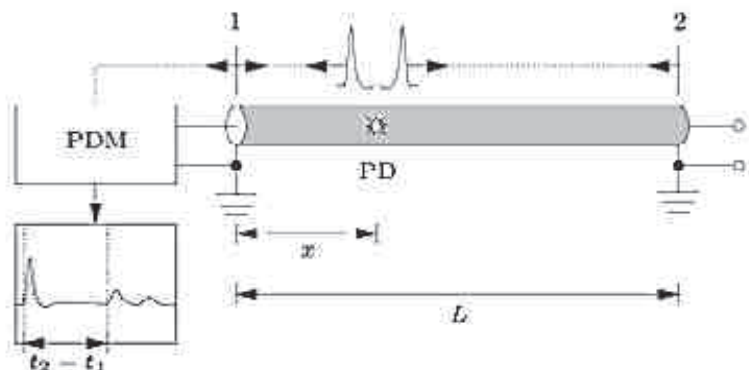
Kábeldiagnosztikai lehetőségek

- Kábeldiagnosztika legfőbb jellemzője, hogy egyszerre vannak jelen pontszerű és a kábel mentén megjelenő problémák
- Általános öregedés kimutatása dielektromos módszerekkel lehetséges:
 - szigetelési ellenállás
 - kapacitás, veszteségi tényező
 - spektrum módszerek...
- Feszültségpróbák
 - érszigetelés
 - burkolat



Kábeldiagnosztikai lehetőségek

- Helyi hibák kimutatása: részletörés mérés
 - lehet online végezni
 - Magyarországon leggyakrabban OWTS műszerrel végzik
 - mérhető jellemzők:
 - begyújtási és kialvási feszültség
 - eloszlás fázisszög szerint
 - eloszlás a kábel mentén $\rightarrow$ nagyon fontos!!!



Részleges kisülések

- Részleges kisülés (részleges letörés): az elektródok közt lévő szigetelőanyag villamos szigetelőképességének olyan helyi megszűnése, amely nem hidalja át a teljes elektródaközt
- A részkisülés lehet:
 - Koronakisülés: gázokban és folyadékokban az erősen inhomogén terek legnagyobb térerősségű pontjain keletkezik.
 - Belső- vagy üregkisülés: szilárd szigetelőanyag gázzal töltött üregeiben vagy folyadékokban lévő gázbuborékokban jelenik meg.
 - Felületi- vagy kúszókisülés: különböző halmazállapotú szigetelőanyagok határfelületén, az egyik elektróda körül alakul ki.



Részleges kisülések

Jellemző mennyiségek

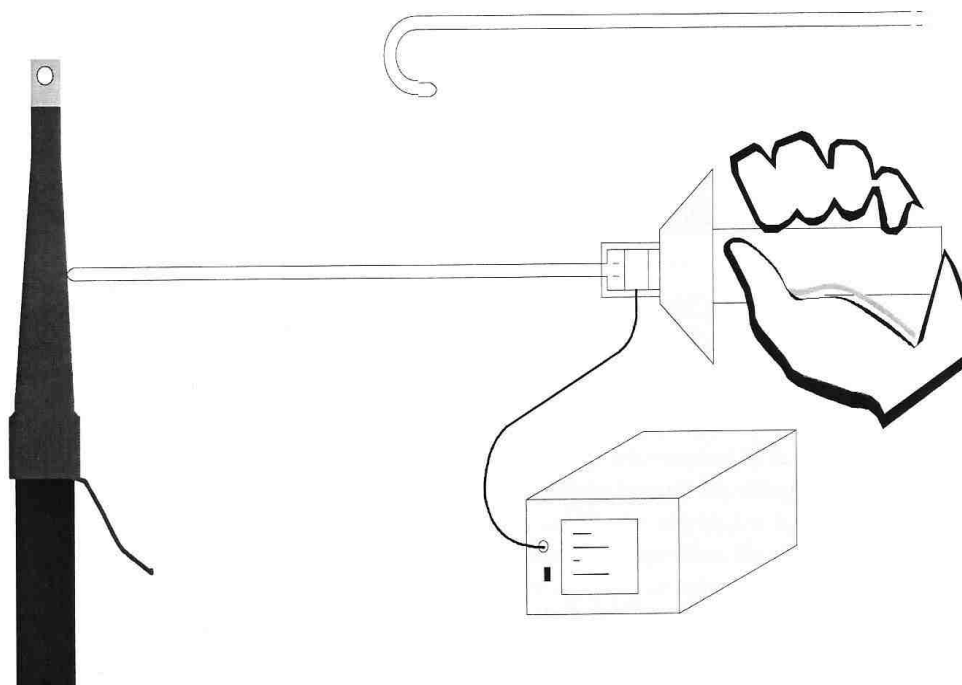
- Látszólagos töltés [pC]
- Látszólagos impulzusenergia [Ws]
- Átlagos impulzusgyakoriság [s⁻¹]
- Látszólagos átlagos kisülési áram [pC/s]
- Látszólagos átlagos részletörés teljesítmény [W]
- Gyújtási feszültség
- Kialvási feszültség
- HF, RF, UHF mérési tartományban [mV]



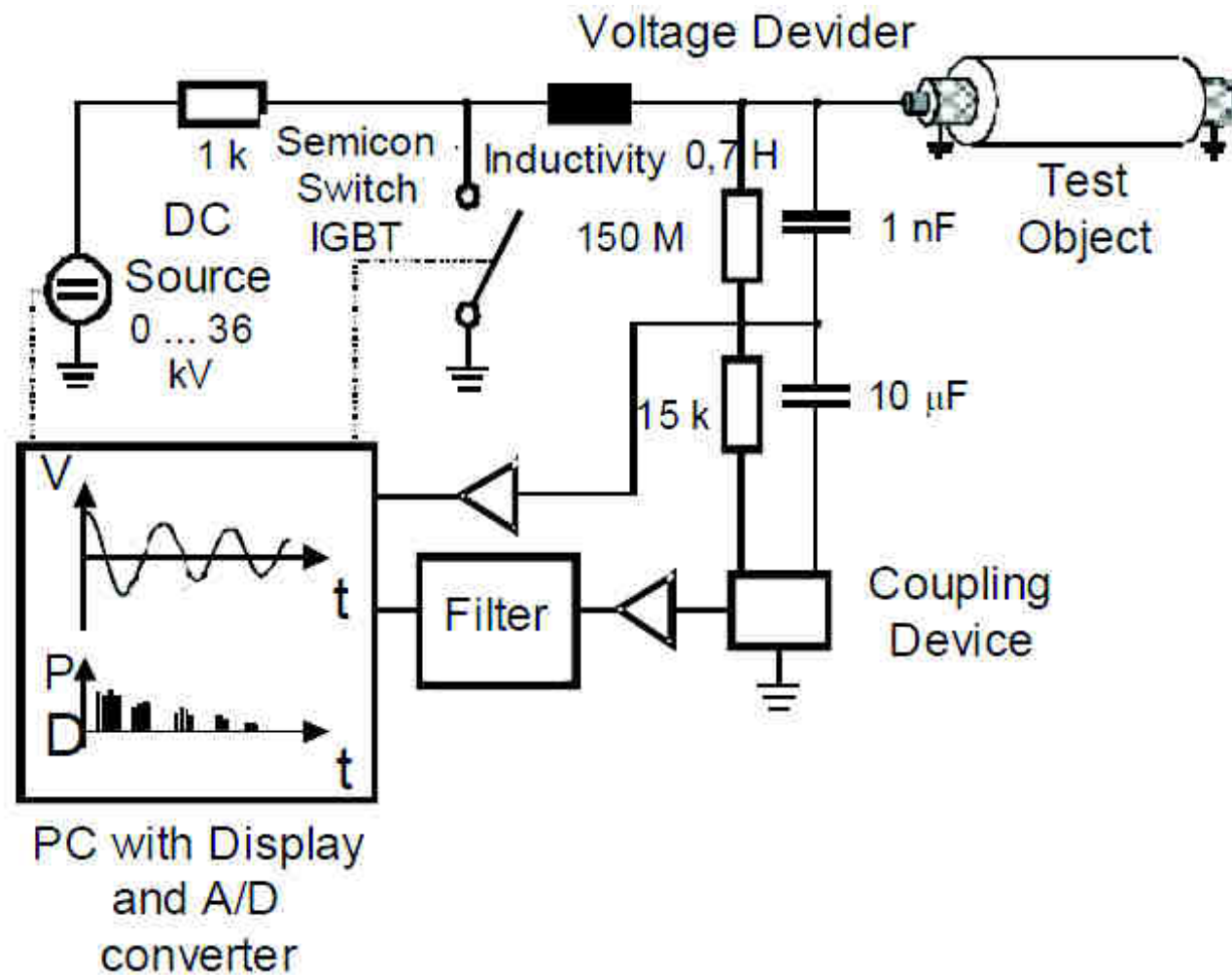
Részleges kisülések

Mérési módszerek

- Villamos
 - konvencionális (integráló erősítő)
 - HFCT
 - RF antenna
 - UHF antenna (trafó)
- Nem villamos
 - Optikai
 - Látható fény
 - UV
 - Akusztikus

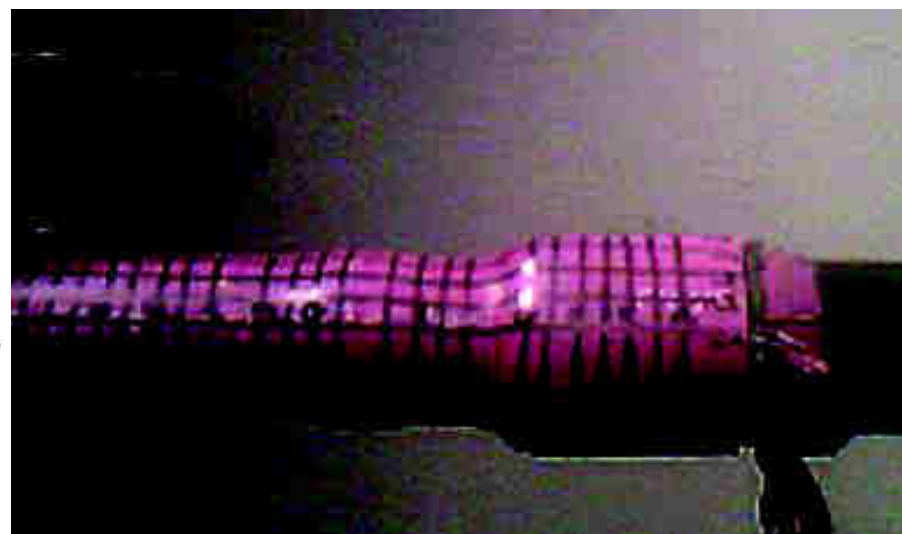
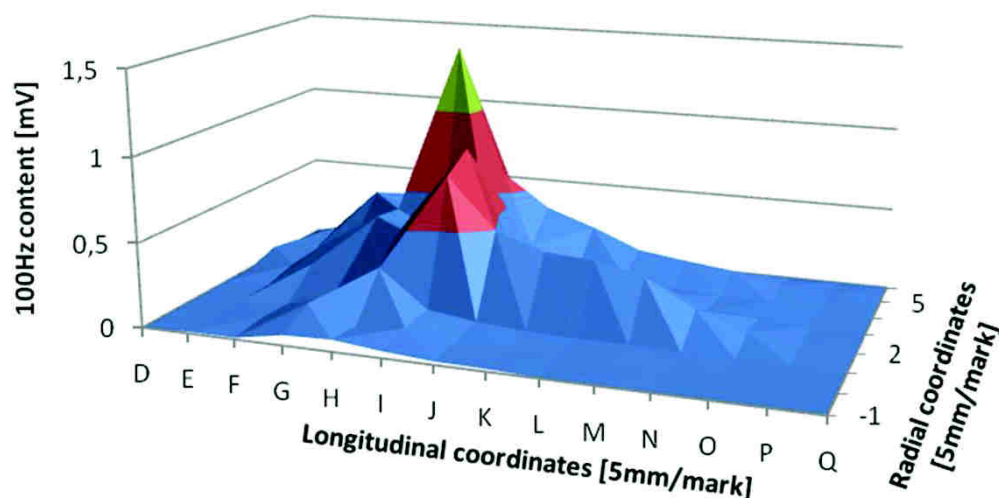


Részleges kisülések



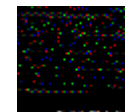
Akusztikus részletörés-mérés alkalmazhatósága kábelvégelezárók vizsgálatára

- Előnyök:
 - Online végezhető
 - Inherensen képes helymeghatározásra
 - Roncsolásmentes
- Nehézségek
 - Túlzott térbeli szelektivitás
 - Névleges feszültséget jelentősen meghaladó feszültségre van szükség a mérésekhez



Kábel online monitoring

- Kábelek esetén legfontosabb hátrány, hogy kizárólag a **részletörések** mérhetők online (míg pl. transzformátoránál online HGA, rezgésanalízis stb. is lehetséges)
- Részletörés mérés nem tudja közvetlenül kimutatni a water tree megjelenését
 - burkolat sérülése esetén a behatoló víz a villamos térrel együtt a nedvesség behatolását eredményezi az érszigetelésbe
 - (korábban jelen lévő részletörések hirtelen eltűnése magyarázható a víz behatolásával → online előny!!)
- Ki tudja mutatni a rossz szerelés és a gyenge minőségű gyártmányok okozta tipikus hibákat, mert ezek legtöbbször részletörés formájában jelennek meg



Transzformátordiagnosztika

- legértékesebb berendezés a hálózaton
- az elvégzett diagnosztika és az üzemeltetési stratégia nagyban függ a feszültségszinttől
 - NaF/NaF: beruházási értékük milliárd Ft-os nagyságrend, gyakorlatilag nincs diagnosztika, ami drága lenne...
 - NaF/KöF: „csak” százmilliós nagyságrend, monitoring általában nem, de rendszeres ellenőrzések igen
 - KöF/KiF: konstrukció sokkal egyszerűbb, általában csak szemrevételezés; javítás egyszerűbben kivitelezhető



Transzformátordiagnosztika

Lehetséges mérési módszerek

- Hibagáz analízis
- Olajvizsgálat
- Furántartalom
- Termovízió
- Terhelési adatok
- Szigetelési ellenállás
- RVM
- Veszteségi tényező és kapacitás
- Rövidzárási impedancia mérés
- FRA

Mindegyik konkrét romlási
folyamathoz kapcsolható!



Transzformátor hibagáz analízis

- HGA ki tudja mutatni:
 - a szigetelés általános öregedését
 - helyi hibákat
- Hogyan lehet végrehajtani?
 - Mintavétel:
 - mintavevő csapon keresztül vagy online HGA berendezéssel
 - fokozott gondosságot igényel: gázok elpárolgása!!
 - Hogyan keletkeznek oldott gázok az olajban?
 - Villamos, villamos-termikus, termikus igénybevételek
 - Természetes bomlás (olaj, cellulóz)
 - Atmoszférából való beoldás



<http://4.bp.blogspot.com/>

Transzformátor hibagáz analízis

- Az olajban oldott gázok (HGA) vizsgálatával kimutatható jellemző hibatípusok
- részkisülés
- kis energiájú kisülés, ív
- nagy energiájú kisülés, ív
- melegpont
 $T < 300^{\circ}\text{C}$
- melegpont
 $300^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$
- melegpont
 $700^{\circ}\text{C} < T$



Transzformátor hibagáz analízis

Jellemző gázok

- Részkisülés: hidrogén (H_2), szénmonoxid (CO), metán (CH_4), etán (C_2H_6)
- Olaj természetes bomlás: hidrogén (H_2), metán (CH_4), etán (C_2H_6)
- Melegpont ($T < 300^\circ C$): hidrogén (H_2), szénmonoxid (CO), metán (CH_4), etán (C_2H_6), etilén (C_2H_4), propán és propilén ($C_3H_8 + C_3H_6$)



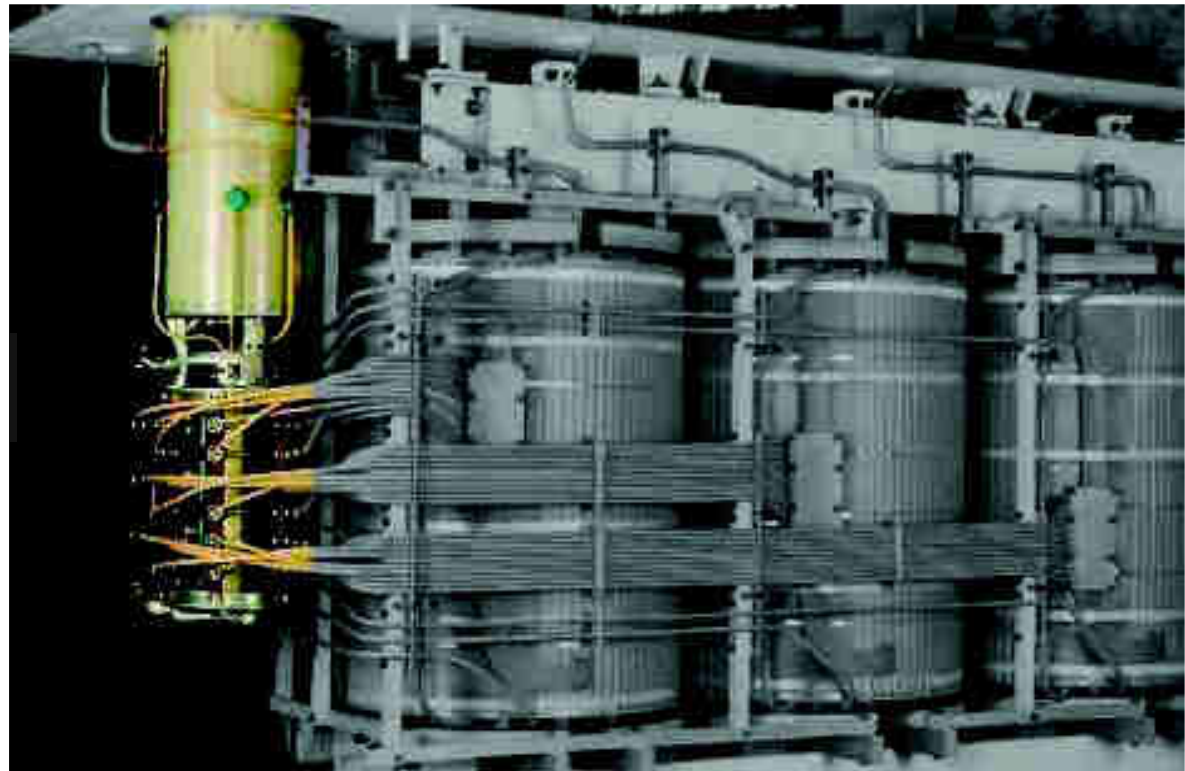
Transzformátor részei

- Transzformátor ház
- Fedél
- Kivezetések
 - Átvezető szigetelők –
puttonyos kialakítás
- Konzervátor (más néven kiegyenlítő
tartály, lélegző típusú
transzformátoroknál)
- Szorító és összehúzó szerkezetek



Transzformátor részei

- Vasmag
- Oszlop
- Járom
- Tekercsek kivezetései
- Terhelés alatti fokozatkapcsoló (OLTC)
- Hűtőcsatornák
- Szigetelőolaj





KORRÓZÍV KÉN A TRANSZFORMÁTORBAN

Transzformátor diagnosztikai vizsgálatok

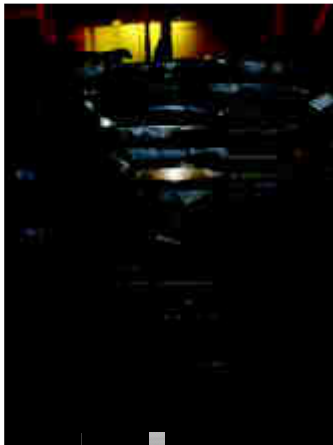
Szigetelési olaj vizsgálata:

- Általános olajvizsgálatok (az olaj fizikai-kémiai vizsgálata, pl.: villamos szilárdság, határfelületi feszültség, veszteségi tényező, stb.)
- Hibagáz analízis (HGA) – Olajban oldott gázokhoz fűződő vizsgálat
- Furán tartalom vizsgálat – Olaj vizsgálat, de a papír állapotára vonatkozik

Papír vizsgálata

- Visszatérő feszültség mérés (RVM)
- Veszteségi tényező ($\tan \delta$)
- Szigetelési ellenállás
- Abszorpciós tényező
- Degree of polymerization (DP)

Korrozív kén okozta meghibásodás - Anglia



1994-ben Üh., Olaj típus: 10GB, 400/275 kV, 1000 MVA

2007-ben meghibásodott

2008-ban gyárban szétbontották

- a felső 18 tárcsa károsodott legnagyobb mértékben
- mesterséges olaj áramoltatás mellett néhány tárcsa nem volt megfelelően hűtve
- valószínűleg néhány tárcsa hőmérséklete meghaladta a 100°C-ot

Következtetés

- a meghibásodás súlyos papír szigetelés öregedés és S korrózió következménye
- a hőmérséklet intenzív emelkedésének eredménye az öregedés és a korrózió, amely
- a nem megfelelő hűtés
- az olaj csatornák elzáródásának eredménye.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Nagyfeszültségű Laboratórium



A kén szerepe az olajban

Oxidációs stabilitás, néhány kén vegyületnek jelenléte segíti a stabilitást egyéb inhibitor adagolás nélkül

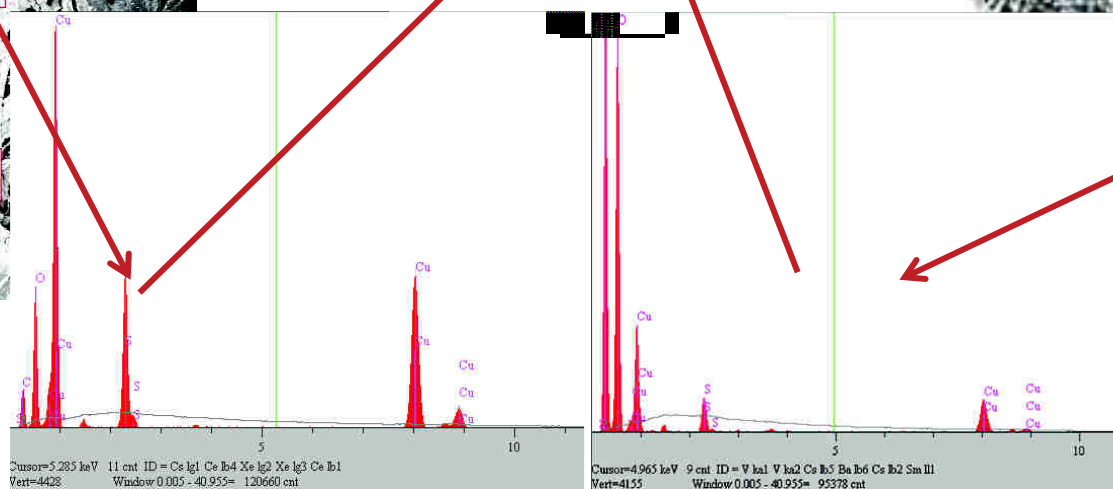
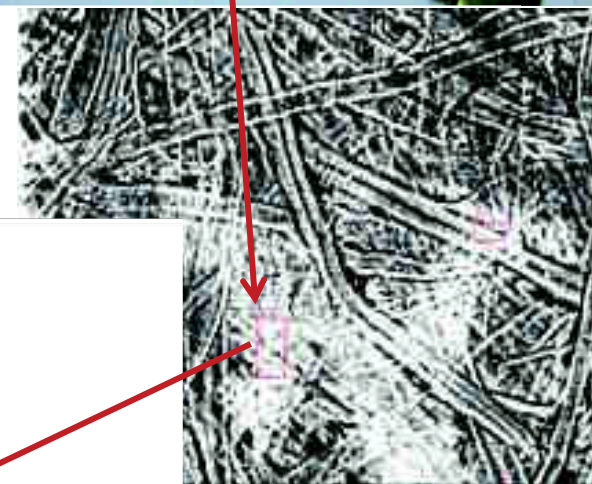
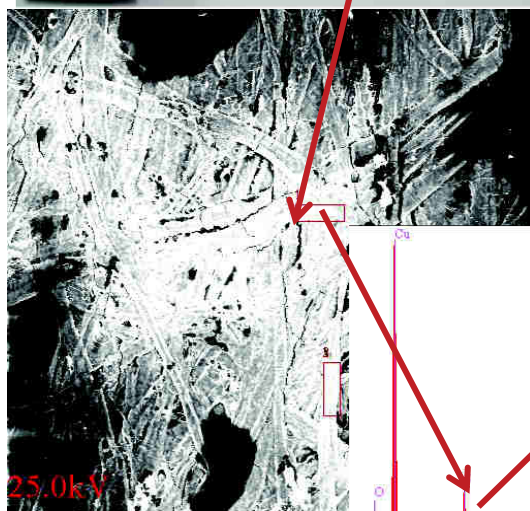
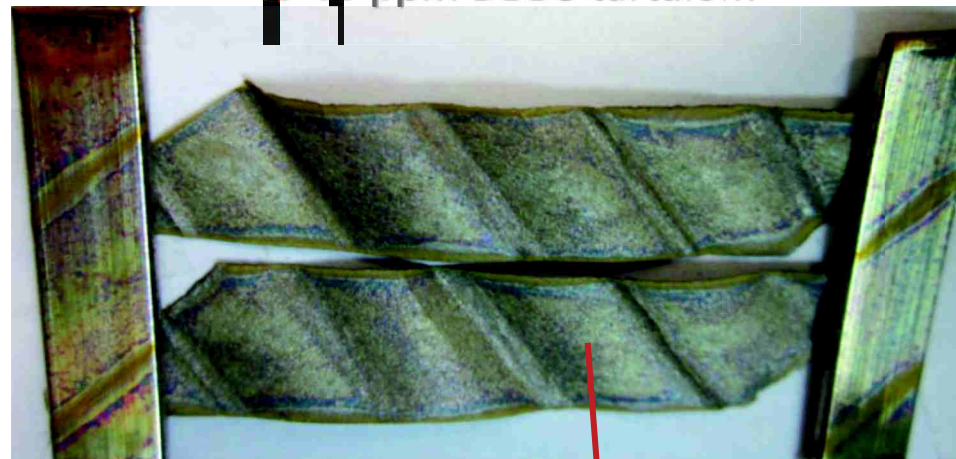
- Az olaj oxidációja savasodást és üledékképződést idéz elő
- A nagy oxidációs stabilitás csökkenti:
 - Üledék lerakódást
 - Villamos veszteséget, hibákat
 - Fémkorróziót
 - Növeli a szigetelés élettartamát
- A korrózív ill. reaktív szerves kén vegyületeknek nagy az affinitása a fémekhez, Cu_2S keletkezik (fekete, szürke, barna)

Alacsony kén tartalom savasodást, üledékképződést idézhet elő
Magas kén tartalom korróziót idézhet elő

IEC 62535 szabvány korrózív kén teszt eredménye:

200-250 ppm DBDS tartalom

40-60 ppm DBDS tartalom



A probléma előfordulása

- **Inhibitálatlan, vagy csak nyomokban inhibitált olaj**
 - Magasabb kén tartalom az oxidációs stabilitás növelésére
 - Oxigén hiány és magas működési hőmérséklet mellett a stabil kén vegyületek aktiválódnak, mely réz-szulfid kialakulásához vezet
- **Inhibitált olaj**
 - Szintén tartalmaz bizonyos mennyiségű ként, arra az esetre ha az inhibitor elfogy
- **Alacsony finomítású olaj**
 - Magasabb merkaptán- és egyéb reaktív kén tartalom
 - Magasabb a nitrogénvegyületek és a korai oxidációs termékek mennyisége
- **Készülékek**
 - Generátor transzformátor
 - HVDC transzformátor
 - Sönt fojtó
 - Egyéb meghosszabbított periódus alatt működő készülék teljes vagy közel teljes terhelés alatt

Diagnosztika / Korrozív kén detektálása

- **Olaj vizsgálatok**

- **Minőségi (kvalitatív) meghatározás – IEC 62535**
- **Mennyiségi (kvantitatív) meghatározás – összes S tartalom, DBDS tartalom meghatározás**
- **HGA (hibagáz analízis) – nincs összefüggés Cu_2S képződéssel**

- **Egyéb vizsgálatok**

- **RVM (Return Voltage Measurement)**
- **FDS (Frequency Domain Spectroscopy)**

Trafó hibák:

Sérült parafatömítés olajszivárgást eredményezhet

Üzem közben fellazult csavarok

Átvezető szigetelő törés

Transzformátorház meghibásodása

Tekercsek között lévő prespán szigetelő henger törése

Égett papírszigetelés, deformálódott tekercs, olvadt vezető

Tekercs menetek közötti átütés

Tekercs deformációja zárlati áramok hatásai miatt, átütés, papírszigetelő égése

Papír szigetelőhenger szakadása, zárlati erőkből adódó tekercsmozgások, deformációk hatására

Belső tekercszárlat, vizsgálathoz a külső tekercsek el vannak távolítva

Leszorító törés – A zárlatkor jelentkező tekercsmozgásokból, deformációkból adódóan

Tekercs deformáció

Menetek deformációja

Átvezető szigetelők (Bushing)

- Transzformátor elengedhetetlen része
- Értékük több is lehet, mint a transzf. teljes árának 10%-a
- Az átvezetők meghibásodása viszonylag magas
- Egy transzformátor elég sok átvezetővel rendelkezik,
meghibásodási rátájuk 5-50 %,
átlag 25 %
- Átvezető hibák gyakran
okoznak tüzet



Átvezető szigetelő részei

Trafó átvezetők legfőbb típusai a szigetelő anyag szerint:

- **OIP:** Oil Impregnated Paper, olajjal impregnált papír,
- **RIP:** Resin Impregnated Paper, gyantával impregnált papír
- **RBP:** Resin Bonded Paper. Gyantával ragasztott papír
- Potenciál vezérlő fóliák,

Főbb diagnosztikák

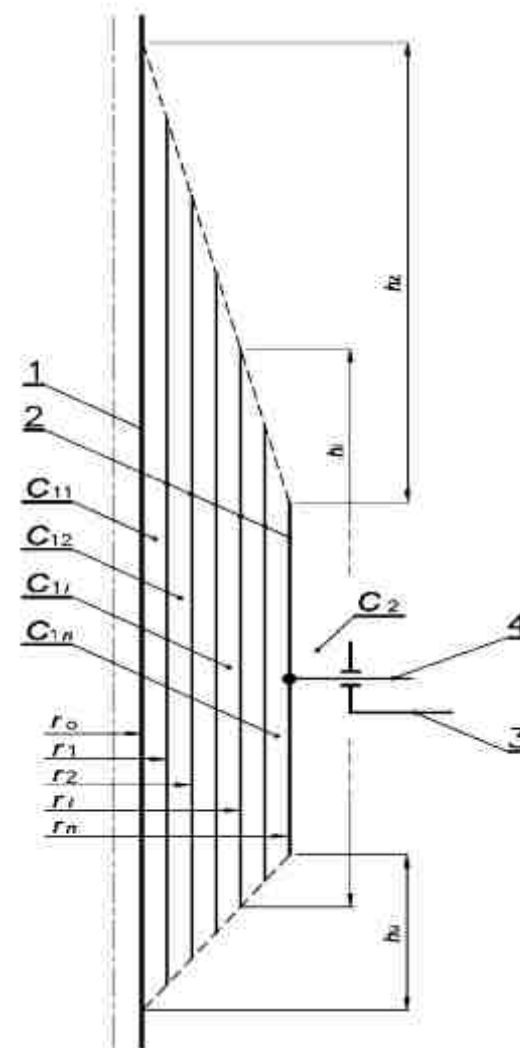
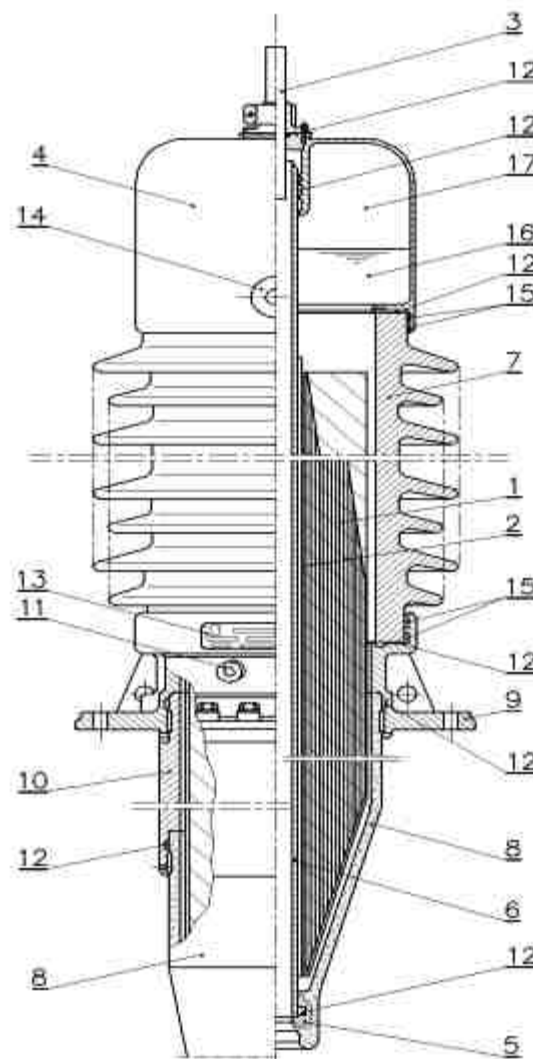
PD,

Tg δ /C

On-line Tg δ /C mérés

Polarizációs mérések:

FDS, RVM, PDC



NaF kompozit szigetelőlánc törés – Brittle fracture

- Kompozit szigetelőlánc – széleskörűen használt szigetelőtípus
 - NaF hálózatok esetén
 - Műszaki és gazdasági előnyök
 - – Könnyű
 - – Nincsenek fém alkatrészek a szigetelő mentén
- Világszerte megnövekedett a kompozit szigetelők meghibásodása
 - Veszélyezteteti a távvezeték, a távvezeték környezetét, az üzemvitelt → jelentős kockázat

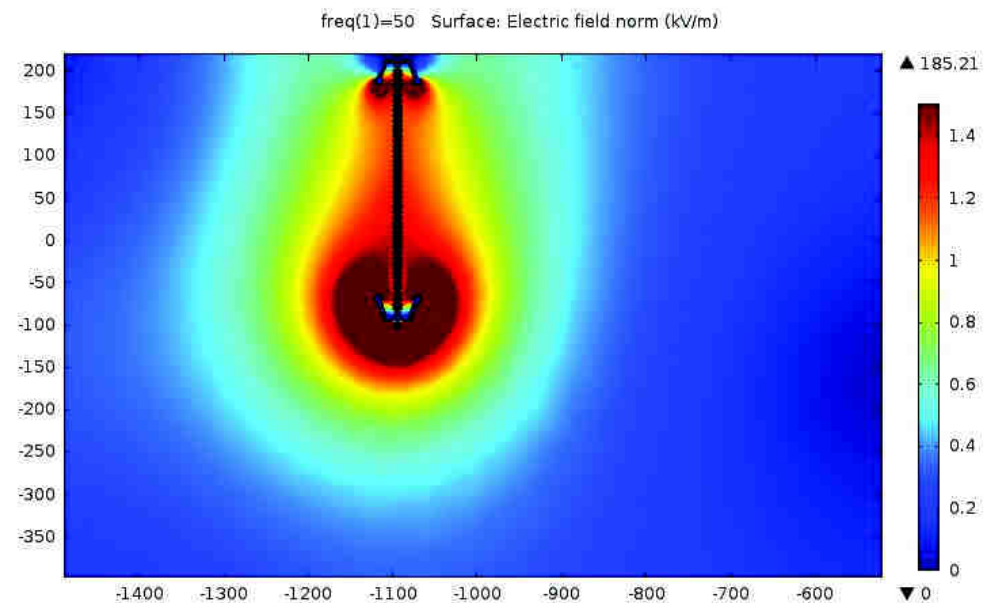
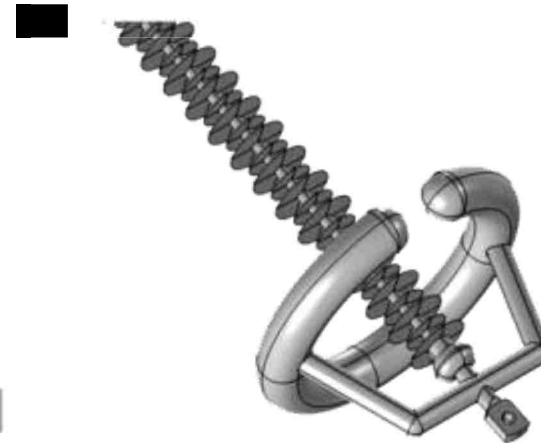
Vizsgálati módszerek:

- – Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat (SEM)
- – Energiadisziperzív spektroszkópia (EDX)
- – Röntgen fotoelektron-spektroszkópia (XPS)
- – Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR)

NaF kompozit szigetelőlánc törés – Brittle fracture

További vizsgálati módszer:

- Véges elem módszer
 - 3D CAD modell
 - Számítás
 - Szimuláció véges elem módszerrel
 - Potenciáeloszlás
 - Villamos tér



Rideg törés tipikus helye:

- Fázivezető felőli szigetelővég
- Villamos térerősség csúcsértéke
- Normál üzemi körülmények között elszineződés látható

Nagy villamos térerősség

— + —

Nedvesség



Brittle fracture

