



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék

A fenntartható energetika villamos rendszerei

**A öregedésmenedzsment alapjai, hálózati elemek
állapotának ellenőrzése, minősítése**



Cselkó Richárd

Villamos Energetika Tanszék

Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

cselko.richard@vet.bme.hu

Öregedésmenedzsment

- Mi az, hogy öregedés?
- Asset management definíció
- Minek az öregedését menedzseljük?
 - 3651km átviteli hálózati távvezeték
 - 30 átviteli hálózati alállomás
 - 6359km 120kV
 - ~70000km 1-35kV
 - ~85000km <1kV
- Lehetséges megközelítések
 - down-top: eszköz szintű megfigyelésekből döntünk
 - top-down: rendszer szintű megfigyelésekből döntünk

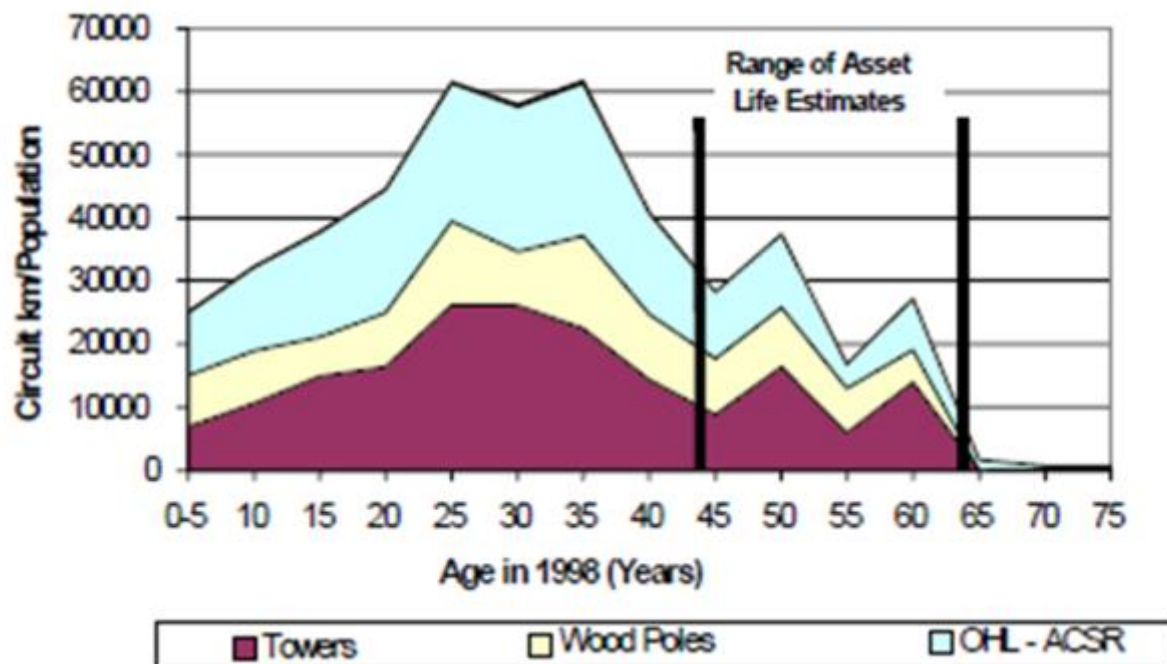


Öregedésmenedzsment

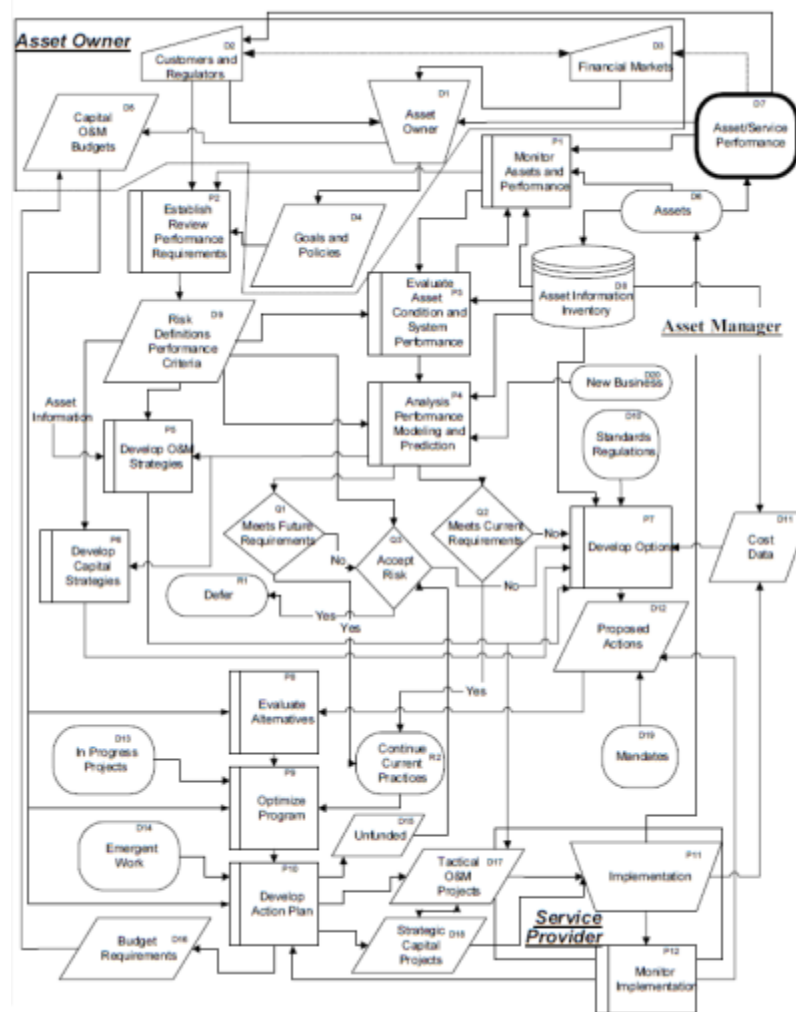
- Mit támogatunk? Mit is jelent, hogy menedzselünk? Miről döntünk?
 - Lehetséges stratégiák és beavatkozások:
 - új beruházás
 - csere
 - felújítás
 - karbantartás
 - üzemben hagyás beavatkozás nélkül
 - Feladat: kiválasztani a céljainknak leginkább megfelelő mixet

Öregedésmenedzsment

- Gyakorlati helyzet: a DSO-k és TSO-k nagy része a közelmúltban kezdett tényleges és részletes hibastatisztika és állapotadat gyűjtésbe
- Ennek oka:



Öregedésmenedzsment



Tartalom

- Mit várunk el a jövő hálózatától?
- Top-down megközelítés:
 - statisztikai hibaelemzés
- Down-top megközelítés
 - diagnosztika és célja
 - online és offline diagnosztika
 - példa: kábeldiagnosztika
 - példa: közép feszültségű szabadvezetéki hálózat
 - példa: transzformátorok

BEVEZETÉS

Mit várunk el a jövő hálózatától és hogyan üzemeltessük?

Eszköz szint és rendszerszint

- Miért fontos, mik a célok?
- Hogy lesz egységes és teljes a megközelítés?
- Az asset management definíciója
- A jövő hálózatának célkitűzései
- Az eszköz szint szerepe a jövő hálózatában
- Milyen eszköz szintű módszerekkel aknázhatók ki az előnyök?

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 eszközszt szint 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
 - Megújuló integrálására alkalmas
 - Néha hirtelen nagymennyiségű energia szállítása: Állapotinformációk bevonásával az üzemeltetésbe meg tudom mondani, hogy melyik hálózati elemeket lehet adott esetben túlterhelni (DLR)

Az eszközszint 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)
 - Fogasztói 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 eszközszint szerepe a jövő hálózatában

- Interoperabilitás műszaki és vállalati rendszerek között
 - Smart grid és asset management is elképesztő mértékű infokommunikációs fejlesztéseket implikál
 - 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

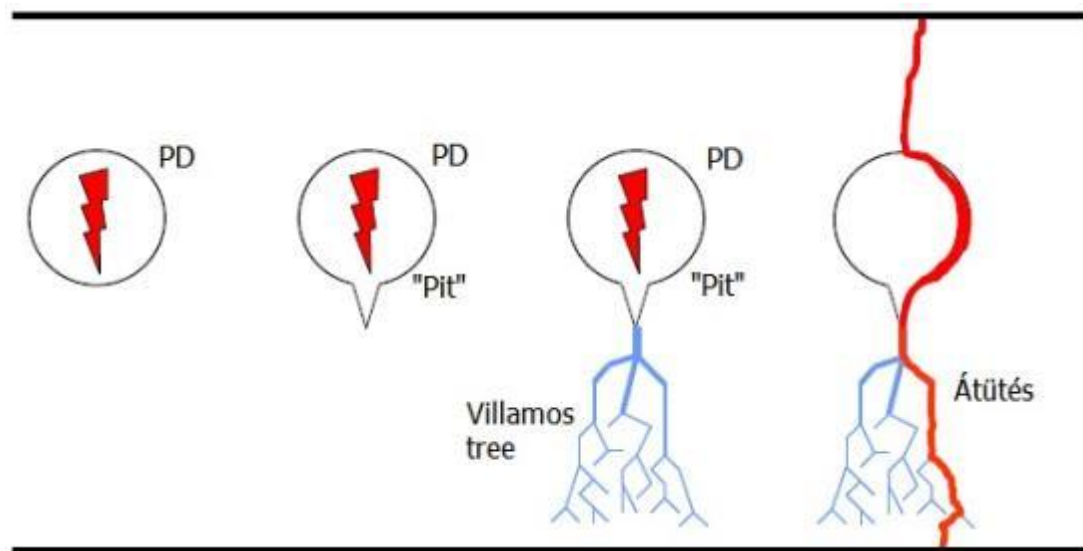


Eszköz szinten alkalmazandó módszerek a jövő hálózatán

- 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

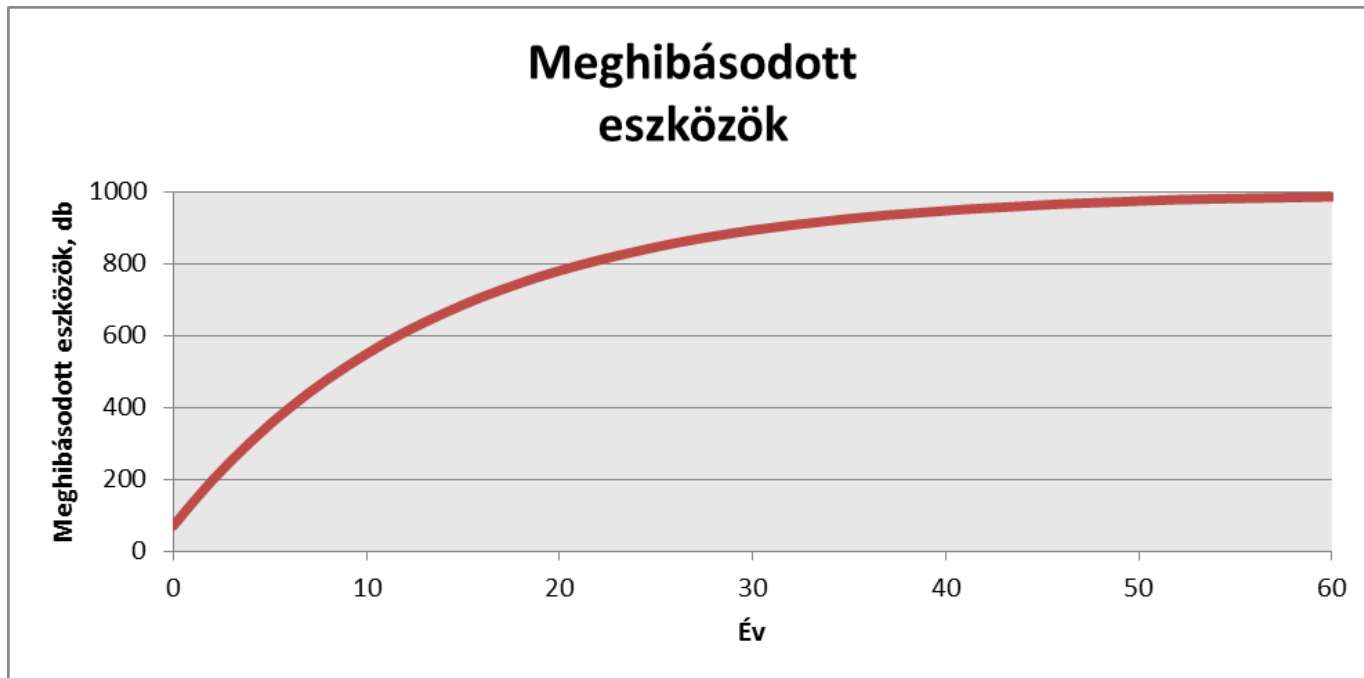
- Eddig elszeparáltan működő területek sokkal összehangoltabban tudnak majd működni
- Nem csak az a nyereség, hogy sok adat fog rendelkezésre állítani, hanem a vállalati működést is át fogja formálni
- Asset management a jövő hálózatán
 - Öregedő hálózatok kezelése
 - Növekvő és komplexebb elvárások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

TOP-DOWN MEGKÖZELÍTÉS

Rendszerszintű információkból eszköz szintű döntések
Hogyan látszik meg a rendszer viselkedésén az
öregedés?

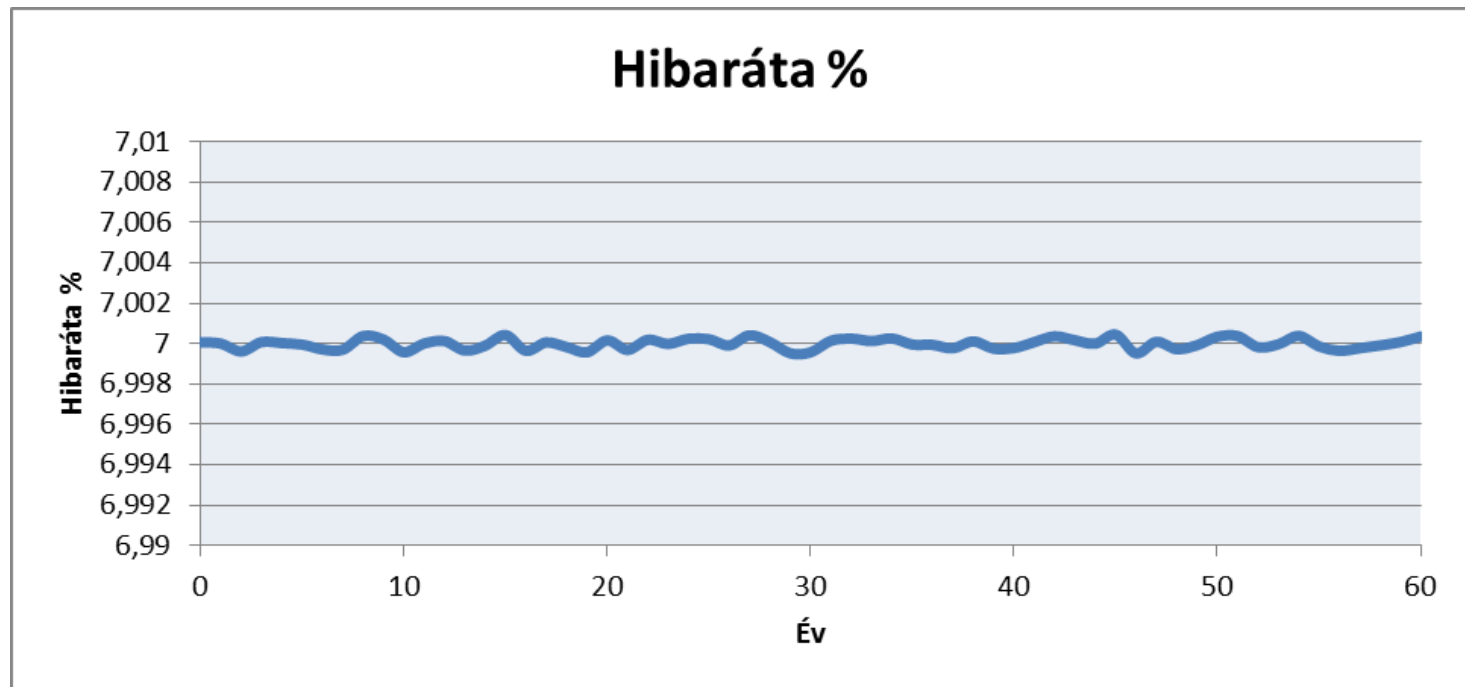
Közvéleménykutatás

- Alábbi hibastatisztika szerintetek öregedő rendszert mutat?

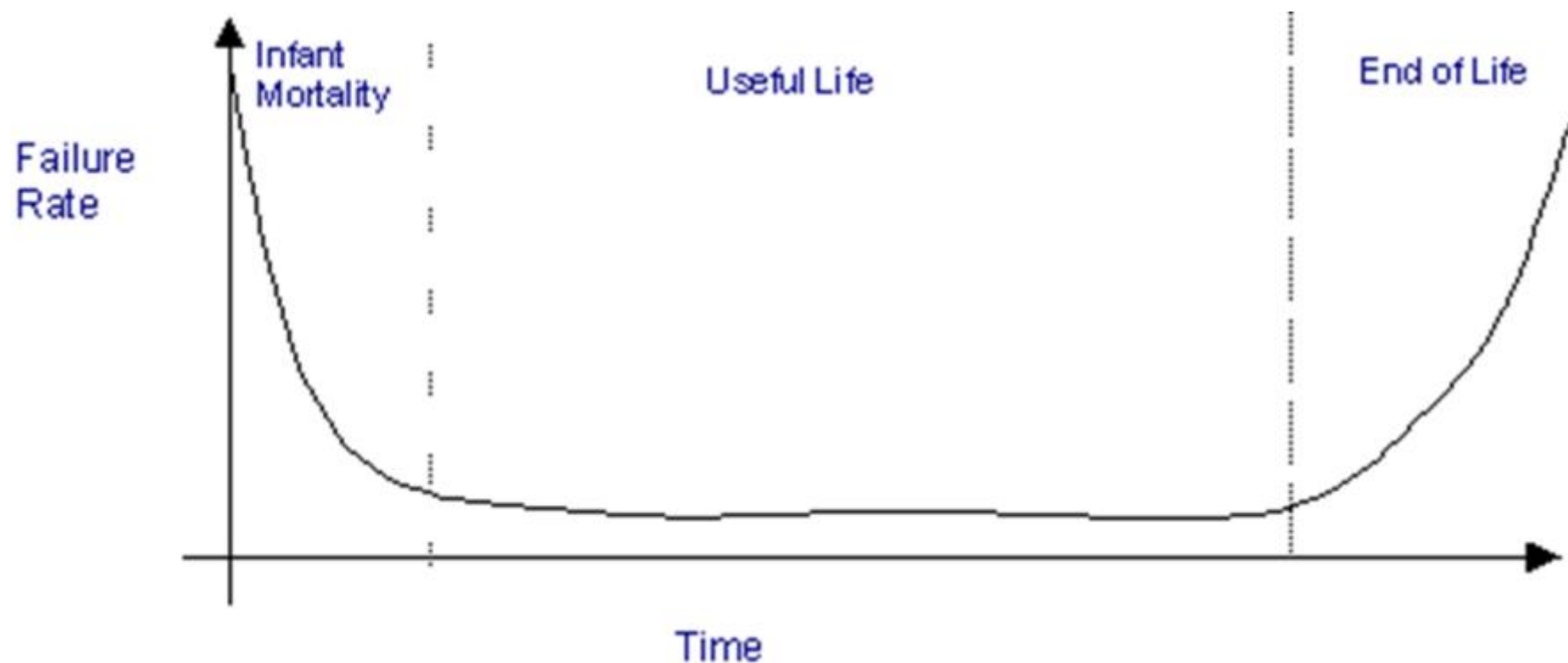


Közvéleménykutatás

- Alábbi hibastatisztika szerintettek öregedő rendszert mutat?
- Ez a hibarátaja (évről-évre hány % hibásodik meg):

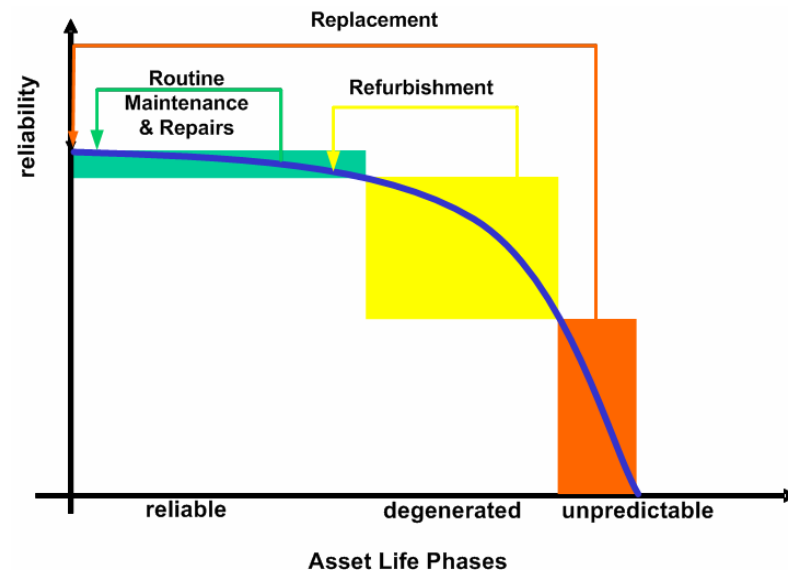


Statisztikai hibaelemzés



Statisztikai hibaelemzés célja

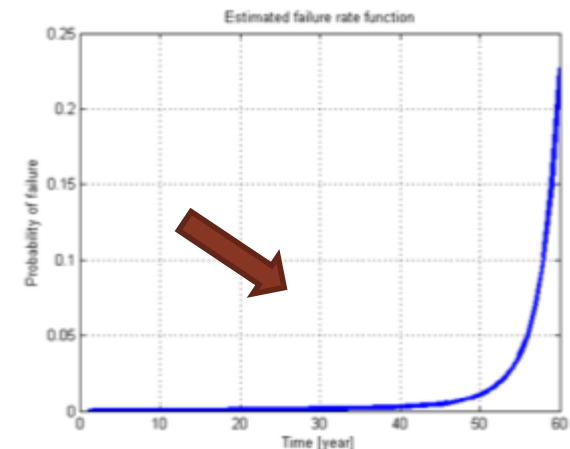
- Előrejelzés által segíteni a rövid, közép és hosszú távú karbantartás és beruházás tervezést
 - Mennyi eszközön?
 - Milyen beavatkozást hajtsunk végre?
 - Nincs beavatkozás
 - Karbantartás
 - Felújítás
 - Csere
- Nagy számban üzemeltetett eszközök esetében alkalmazható



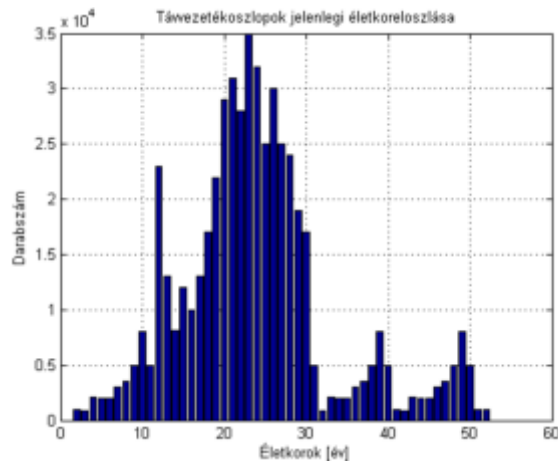
CIGRÉ Working Group C1.1: Asset management of transmission system and associated Cigre activities, 2006

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



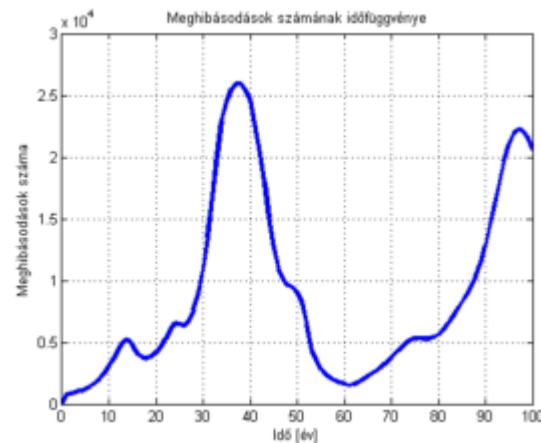
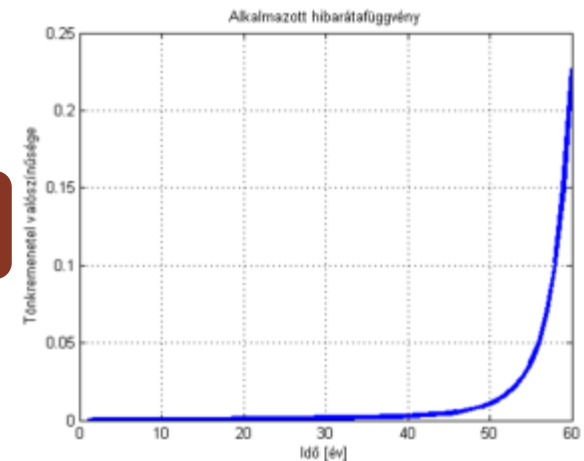
Statisztikai hibaelemzés – hogyan?



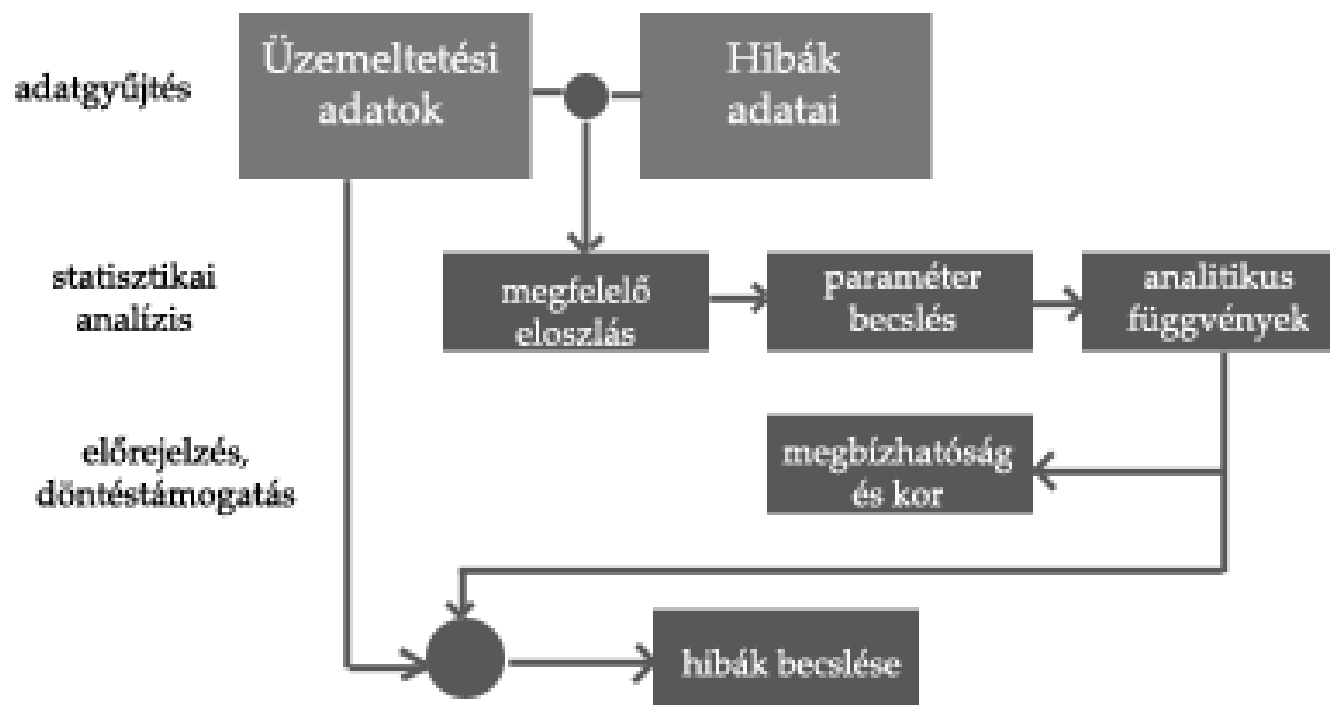
Berendezések
korának eloszlása

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

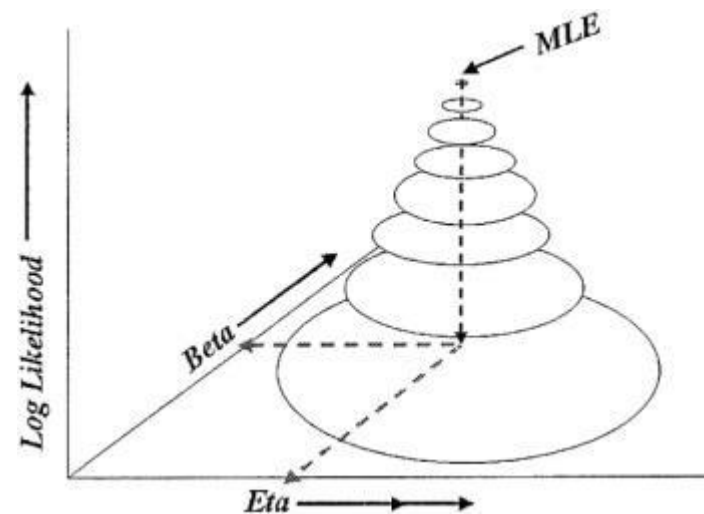
Statisztikai hibaelemzés alapjai

- 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

Görbeillesztési módszerek

Maximum Likelihood Estimation

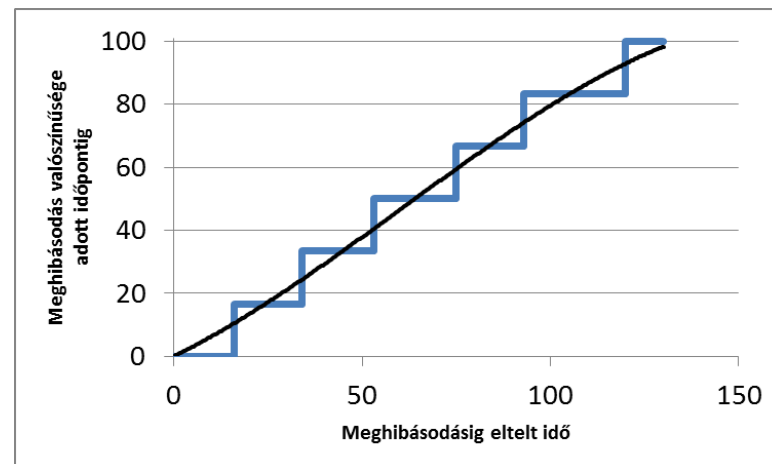
- A módszer célja, hogy egy ismert valószínűségi modell paramétereit megállapítsa
- Alapelve szerint azokat a paramétereket adja ki, amelyekkel a lehető legnagyobb valószínűsége van annak, hogy a gyakorlatban kapott mintasor adódjon
- Kivitelezése: az ún. likelihood function maximalizálásával – ez jelképezi a modell és a megfigyelések közötti összhangot
- Weibull-eloszlás esetén két paraméterről, a skála és az alakparaméterről van szó
- Ennek megfelelően e két paraméter függvényében igyekszik a likelihood függvényt maximalizálni



Dr. Robert B. Abernethy: The new Weibull handbook

Görbeillesztési módszerek: Median Rank Becslés

- Mit próbál megfogni?
 - Az igazi eloszlásfüggvény nem mérhető, mert véges számú mintából számolunk, véges időtartamból
 - Akkor kell alkalmazni, ha viszonylag kevés meghibásodási adat áll rendelkezésre (<100)
- Egyszerű számítási mód:
 - $MR \sim \frac{i-0,3}{N+0,4}$
- Számos összetettebb számítási mód is létezik



Meghibásodásig eltelt idő [óra]	Medián rang %	„Lépcsős” megközelítés
16	10,91	16,67
34	26,44	33,33
53	42,14	50
75	57,86	66,66
93	73,56	83,33
120	89,1	100

Görbeillesztési módszerek

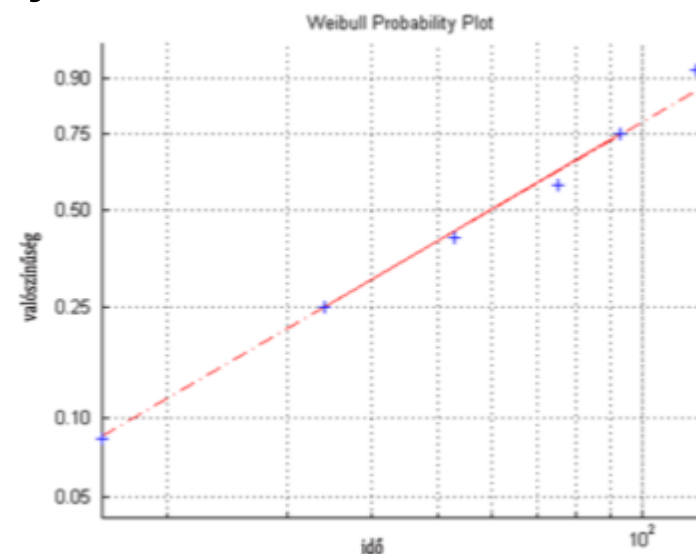
Grafikus görbeillesztés (Weibull-plot)

- A kétparaméteres Weibull-eloszlás sűrűségfüggvénye:

- $$f(t) = \frac{k}{\lambda} \left[\frac{t}{\lambda} \right]^{k-1} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^k}, \text{ ha } t \geq 0 \text{ és } f(t)=0, \text{ ha } t < 0$$

- Olyan transzformált koordinátarendszer, amiben a Weibull-eloszlást egyenes reprezentálja

- $$\hat{F}(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$$
- $$-\ln\left(1 - \hat{F}(x)\right) = \left(\frac{x}{\lambda}\right)^k$$
- $$\ln\left(-\ln\left(1 - \hat{F}(x)\right)\right) = k \ln x - k \ln \lambda$$
- $$y = mx - c$$



Görbeillesztési módszerek

Grafikus görbeillesztés (Weibull-plot)

- A két

- $f(t)$:

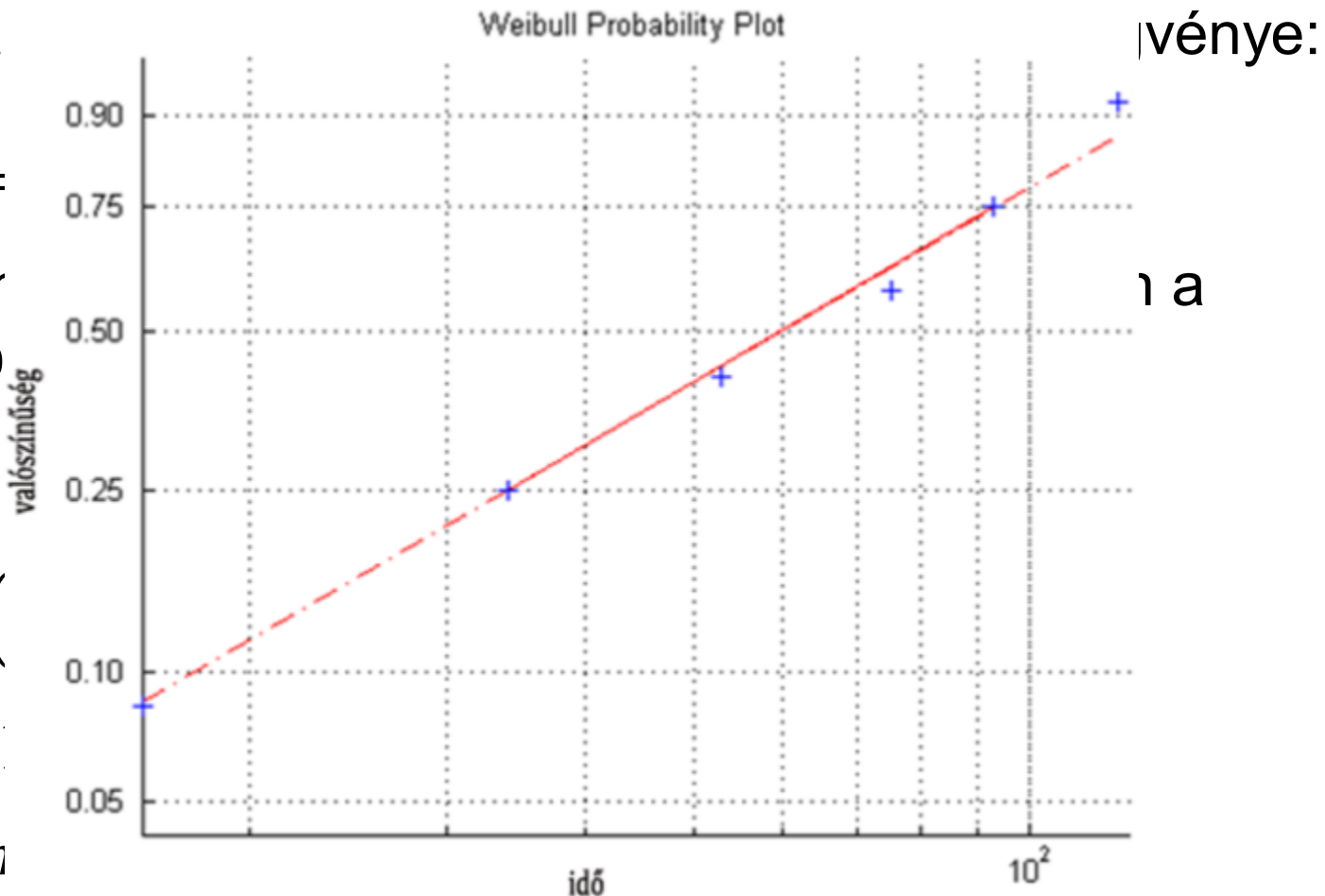
- Olyan Weib

- $\hat{F}(x)$

- $-\ln(-$

- $\ln(-$

- $y = n$

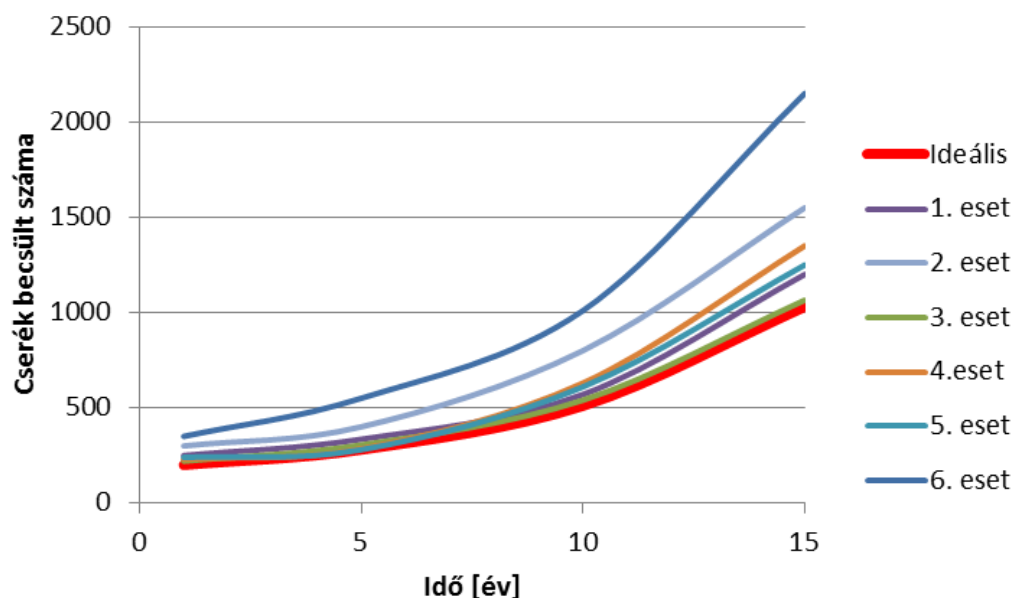


A statisztikai hibaelemzés nehézségei

- Nem megfelelően ismert vagy túl összetett öregedési folyamatok
 - Nem biztosított a megfelelő eloszlás kiválasztása
 - Probléma: a matematikai eljárások ennek ellenére végre hajthatók, de a becslés pontossága megkérdőjelezhető lesz!
- Meghibásodott berendezések kora hiányzik
- Hiányzó, pontatlan koreloszlás
- Külső hatások („suspension”) nem különülnek el

Hiányzó korok meghibásodáskor

- Nincs pontos kor → szakértői tudással helyettesítsük
- Típus, technológia, gyártmány alapján intervallum becslés, hogy mikor kerülhetett üzembe az adott eszköz
- Szimuláció 1 millió darabos populációra

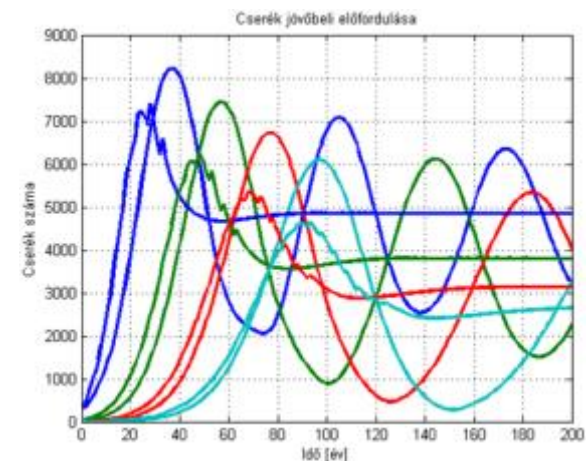
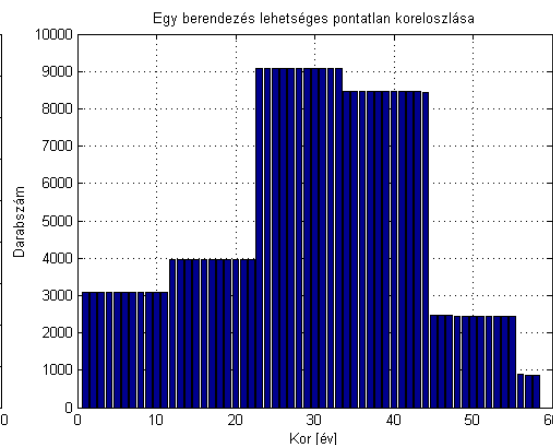
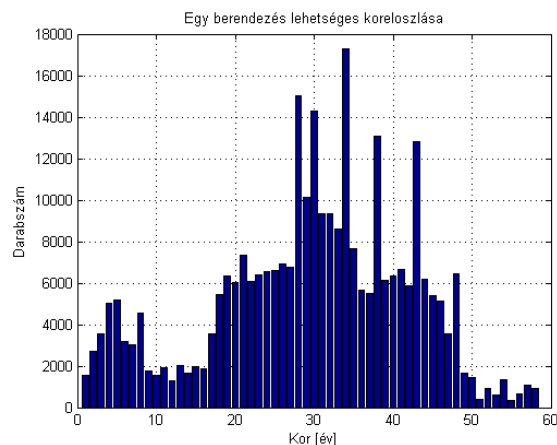


Eset száma	Kor	Tévedési intervallum
1.	becsült	+/- 5 év
2.	becsült	+/- 10 év
3.	50% becsült	+/- 10 év
4.	25% becsült	+/- 10 év
5.	50% becsült	+ 15 év
6.	50% becsült	- 15 év

Fazekas Tibor: Adathiány kezelése az öregedő villamosenergia-rendszer élettartam analízise során, 2013

Hiányzó, pontatlan koreloszlás

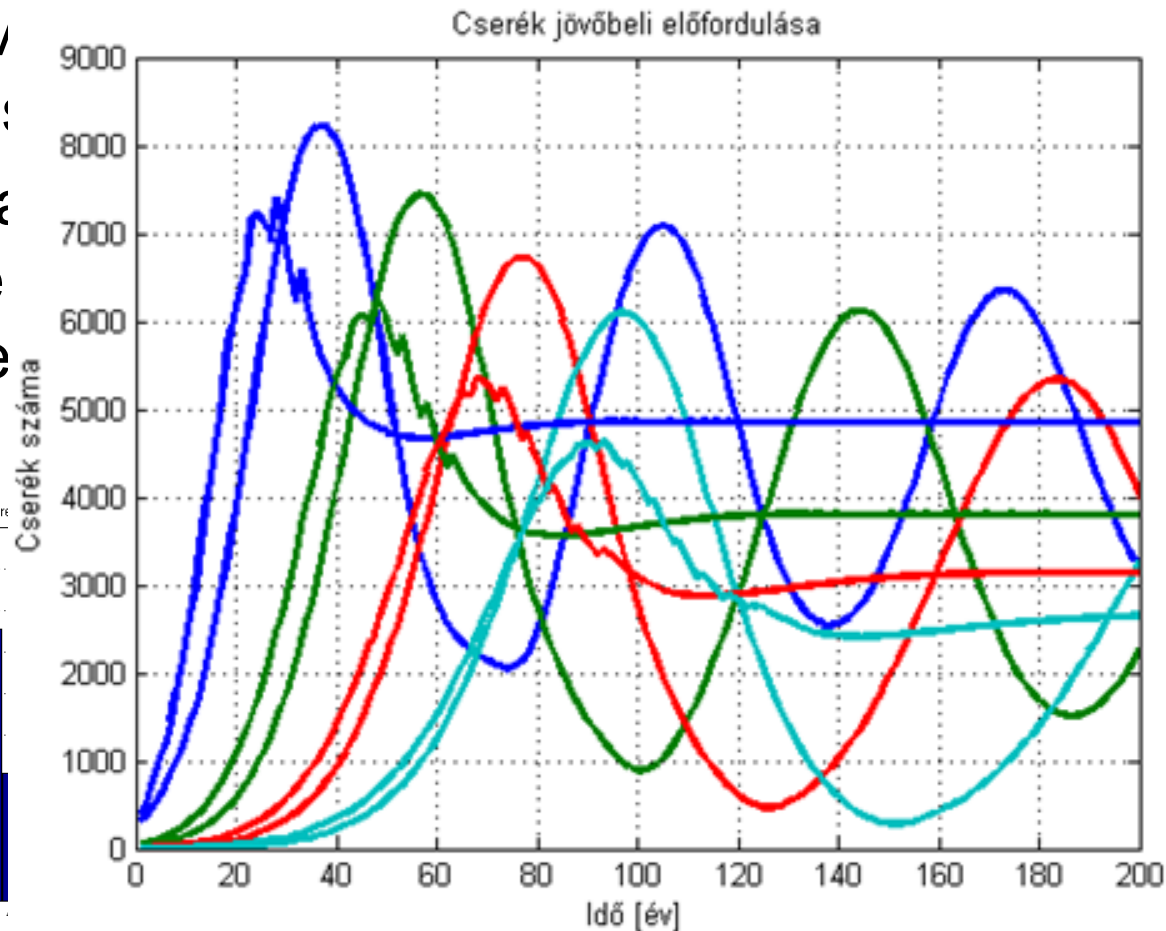
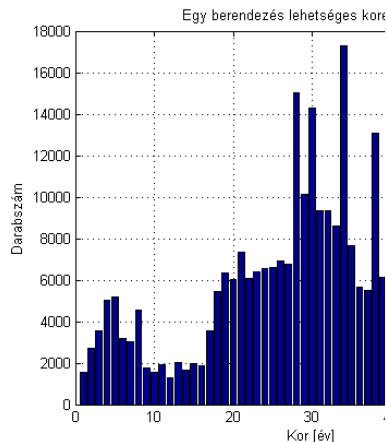
- Cserék jövőbeli előfordulása pontos és pontatlan koreloszlás esetén változtatott skála paraméterrel
- Kiemelve a számunkra fontos szakaszt elmondható, hogy az első néhány éves viszonylag pontos eredmények után nagyobb eltéréseket kapunk



Fazekas Tibor: Adathiány kezelése az öregedő villamosenergia-rendszer élettartam analizise során, 2013

Hiányzó, pontatlan koreloszlás

- Cserék jövőbeli koreloszlása
- Kiemelve az az első négy nagyobb eseményt



, hogy
k után

Fazekas Tibor: Adathiány kezelése az öregedő villamosenergia-rendszer élettartam analizise során, 2013

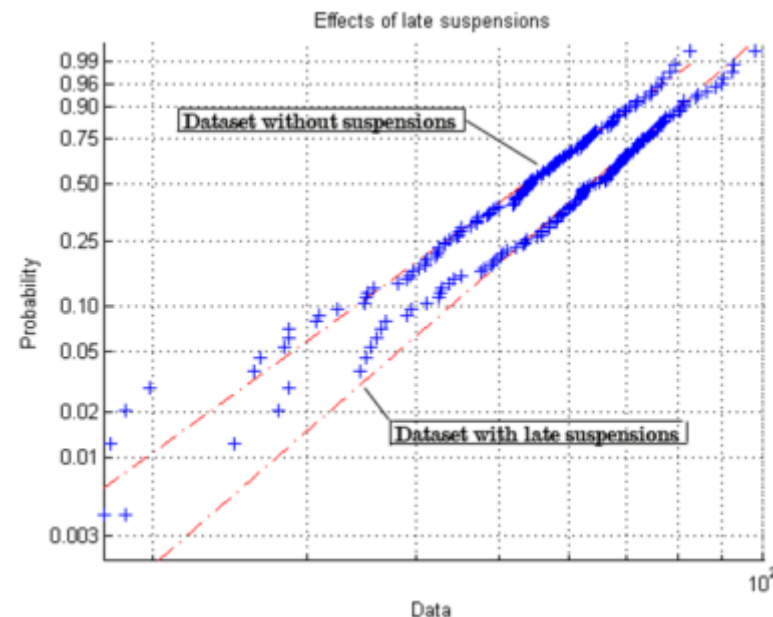
A kombájn nem tudja a matekot!

- A hibastatisztikának meg kell felelnie egy fontos kritériumnak: el kell tudni különíteni a külső, véletlen behatásból eredő meghibásodásokat („suspension”) a ténylegesen meghibásodott („failed”) elemektől



A kombájnnal nem tudja a matekot!

- Early suspension:
 - Ha az élettartam elején következik be
 - Nem rontják el az eloszlás paramétereinek becsült értékét
- Late suspension:
 - Az élettartam öregedési szakaszában bekövetkező véletlen hibák
 - Eltolják a Weibull egyenest, így a Weibull eloszlás skála paraméterét nagyban befolyásolják.
- Szerencsés helyzet, mert a korai, régebbi hiányos adatbázis kevésbé van negatív hatással a becslés pontosságára

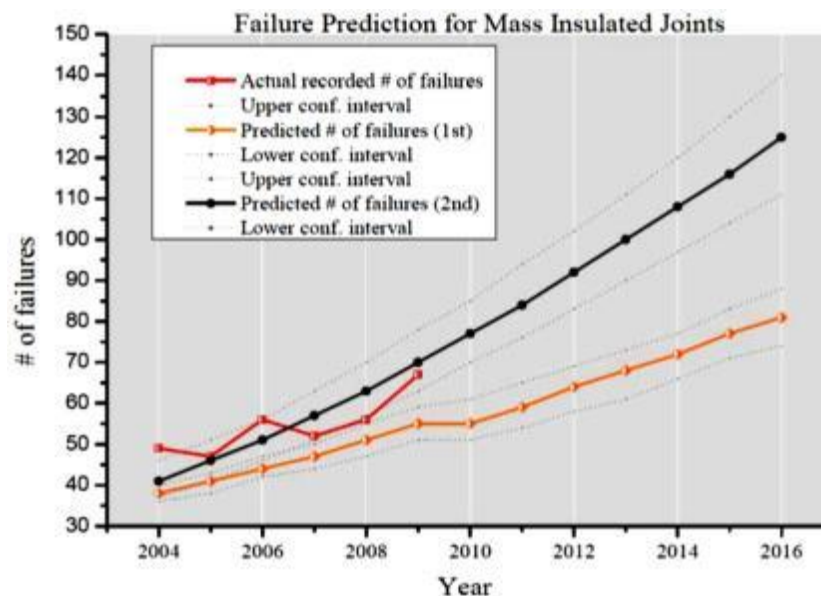


További nehézségek említés szintjén

- Eltérő időszakokban eltérő karbantartási stratégiák
 - A karbantartásoknak egyértelműen meghibásodás megelőző funkciójuk van, tehát jelentős a befolyásuk a vizsgált adatokra
- Karbantartással megelőzött „majdnem hibák”
 - Nem a konkrét hibaesemény az igazán érdekes, hanem az, hogy van-e olyan állapotú berendezés a hálózaton, amit mindenképpen cserélni kell
- Alkomponensek külön - kábel és szerelvény nem keverhető össze
 - Ha túl egyszerűsített a hibastatisztika
- Kilógó elemek („outliers”)
 - Egy-egy nem jellemző folyamat eredményeként születhet és elronthatja a becslés pontosságát

Esettanulmány – olajos kábelösszekötők

- Összekötők 60%-ának a kora nem ismert
 - 1. becslés: nem ismert korú eszközök elosztása egyenletesen a kategóriák között
 - 2. becslés: szakértői tudással kiegészített becslés, a valósághoz vélhetően közelebbi koreloszlás alkalmazása
- A becslés 90%-os konfidencia intervallumán belüli eredmények adódtak hibaszám tekintetében
- Validáció: múltbeli adatok alapján



Ravish P.Y. Mehairjan, Dhiradj Djairam, Qikai Zhuang, Johan J. Smit, Arjan M. van Voorden: Statistical Approach to Establish Failure Behaviour on Incomplete Asset Lifetime Data

A statisztikai hibaelemzés

- Statisztikai hibaanalízis alkalmazható sikeresen, de lépéseket kell tenni a buktatók elkerülésére
- „Big data” igazi alkalmazhatóságához a „Dirty data” alkalmazhatósága kell
 - Ehhez nagyban hozzájárul, ha a „favágó” matematikai módszereket kiegészítjük szakértői tudással és megtanuljuk az együttes alkalmazásukat
- További olvasnivaló:
 - CIGRÉ WG D1.39: Guidelines for the Use of Statistics and Statistical Tools on Life Data
 - IEEE 930-2004 (IEC 62539:2007) „Guide for the Statistical Analysis of Electrical Insulation Breakdown Data”

Köszönöm a figyelmet!

BME Nagyfeszültségű Laboratórium
Cselkó Richárd
cselko.richard@vet.bme.hu



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék

A fenntartható energetika villamos rendszerei

**A öregedésmenedzsment alapjai, hálózati elemek
állapotának ellenőrzése, minősítése**



Cselkó Richárd

Villamos Energetika Tanszék

Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

cselko.richard@vet.bme.hu

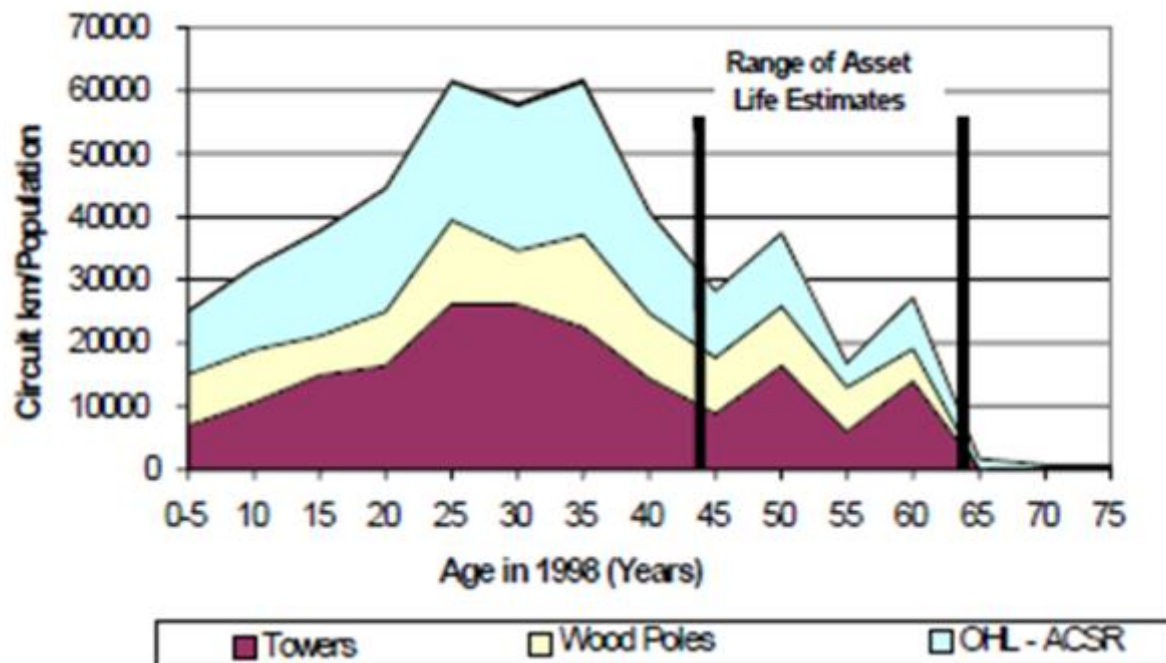
AZ ELŐZŐ ÓRÁN...

Öregedésmenedzsment

- Mit támogatunk? Mit is jelent, hogy menedzselünk? Miről döntünk?
 - Lehetséges stratégiák és beavatkozások:
 - új beruházás
 - csere
 - felújítás
 - karbantartás
 - üzemben hagyás beavatkozás nélkül
 - Feladat: kiválasztani a céljainknak leginkább megfelelő mixet

Öregedésmenedzsment

- Gyakorlati helyzet: a DSO-k és TSO-k nagy része a közelmúltban kezdett tényleges és részletes hibastatisztika és állapotadat gyűjtésbe
- Ennek oka:



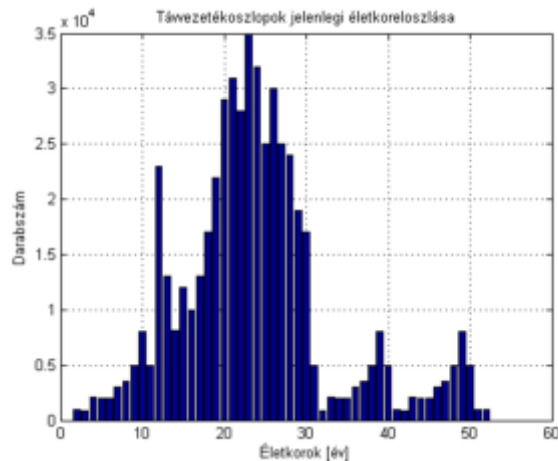
Az asset management definíciója

- 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
 - ...

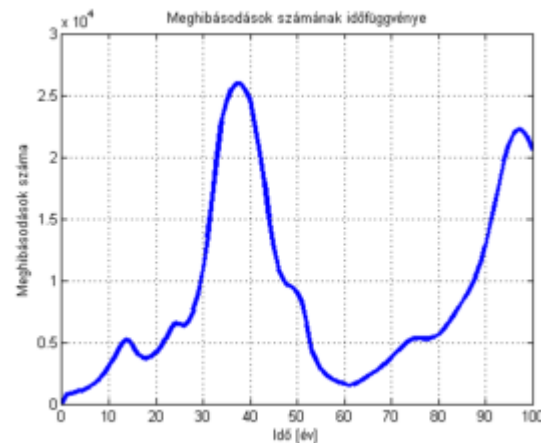
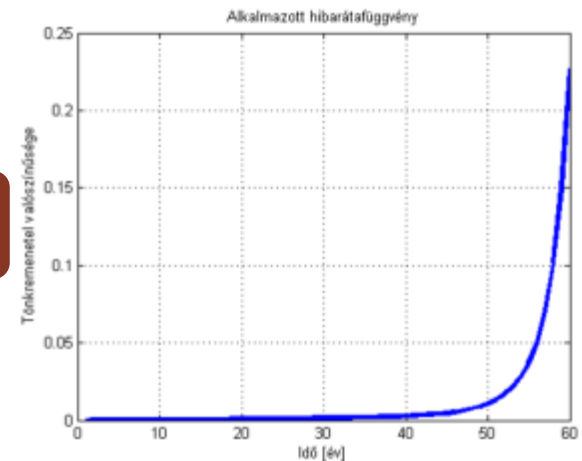
Statisztikai hibaelemzés – hogyan?



Berendezések
korának eloszlása

Hibaráta a berendezése
korának függvényében

Meghibásodások
számának előrejelzése



A MAI ÓRÁN...

DOWN-TOP MEGKÖZELÍTÉS

Eszközsztű információk rendszerbe illesztése

Ebben a gyárban most nem termelnek...



Eszköz szintű információk

- Forrásai

- szemrevételezések
- diagnosztikai mérések
 - online-offline összehasonlítás
 - nehézségek:
 - kontrollált körülmények között is nehézkes a korreláció megtalálása

- Mikor alkalmazzuk

- minden berendezésre alkalmazzuk, de a mélysége attól függ, hogy mi az információ megszerzésének ára és a berendezés ára/fontossága közötti arány
- ha a berendezés nagy értékű (pl. NaF/NaF transzformátor, NaF megszakító), akkor részletes diagnosztika, monitoring, szakértői rendszer...
- ha a berendezés kisebb értékű (pl. KöF szabadvezeték hálózat), akkor csak a „kötelező minimum”, pl. időszakos szemrevételezések

Eszköz szintű információk

- Fenntartási stratégiák az állapot figyelembevételének függvényében
- Ebben a megközelítésben: a diagnosztika az állapotfüggő és megbízhatóság alapú stratégia információforrása

Állapot	Figyelembe véve	<i>Állapotfüggő</i> - folyamatos vagy alkalmi monitorozás - karbantartás igény szerint	<i>Megbízhatóság alapú</i> - prioritási lista - állapot és meghibásodás közötti kapcsolat - kockázatkezelés
	Mellőzve	<i>Korrektív</i> nincs diagnosztika, sem karbantartás meghibásodás bekövetkeztéig	<i>Időalapú</i> meghatározott időközönként vizsgálat és karbantartás
		Mellőzve	Figyelembe véve
Fontosság			

Eszköz szintű információk

- Hogyan alkalmazzuk?
 - Itt is a cél annak eldöntése, hogy melyik berendezésen és hogyan (ne) avatkozzak be
 - Az egyes eszközöket a rendelkezésre álló információk alapján állapot szerint sorba rendezzük
 - Az állapot mellett a rendelkezésre álló források és az eszközök fontosságának figyelembe vételével születik döntés a beavatkozásokról



Eszköz szintű információk

- Hogyan alkalmazzuk?
 - Akkor jó egy diagnosztikai módszer és alkalmazása, ha
 - a mért paraméter vagy paraméterek egy csoportja képes **előre jelezni a tipikus meghibásodási** folyamatokat
 - lehetővé teszi annak meghatározását, hogy melyik alegységben, **pontosan hol** van jelen a meghibásodás
 - segítségével meg lehet határozni a lehetséges és szükséges **beavatkozásokat**

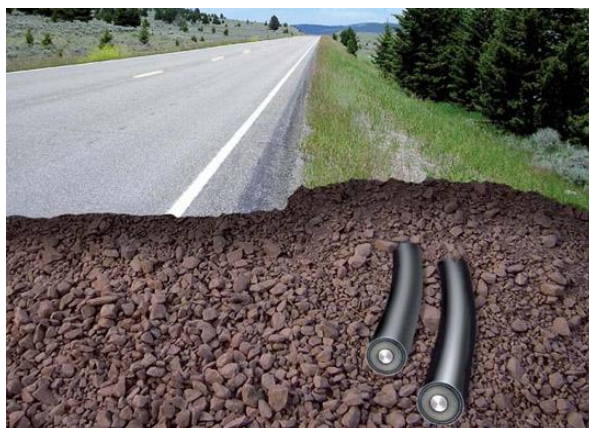


abb.com



<http://www.electricalsolutions.net.au/>

ON-LINE DIAGNOSZTIKA ÉS MONITORING

Előnyök és korlátok

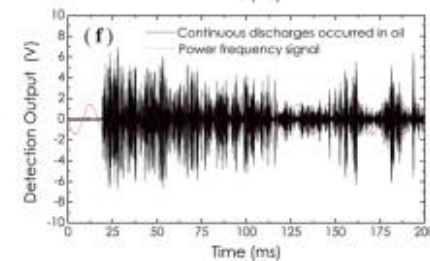
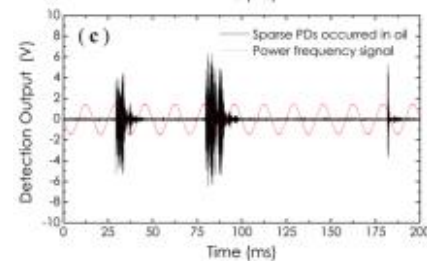
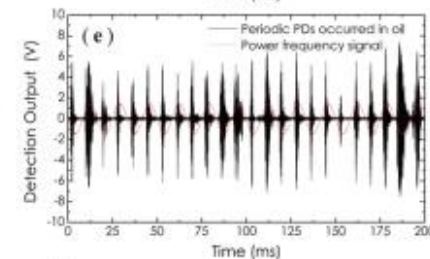
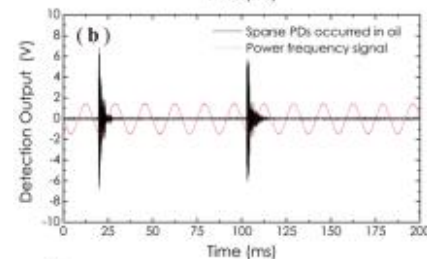
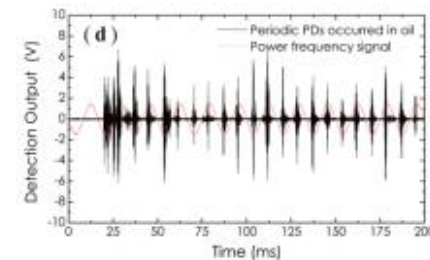
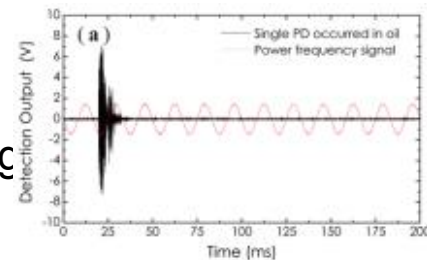
On-line mérések és monitoring rendszerek

- 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

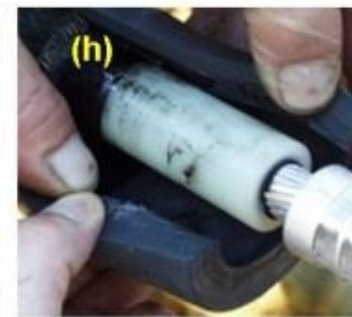
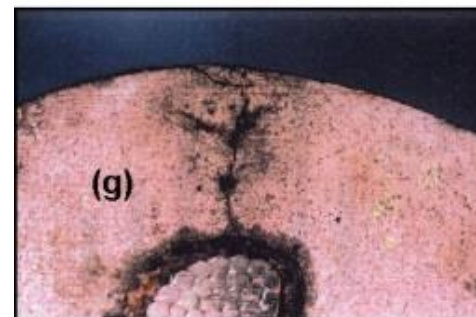
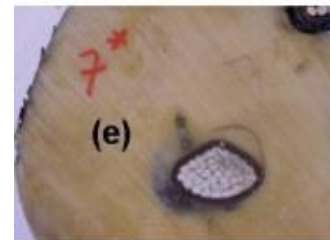
- Hátrány: magasabb induló ár
- Költségek csökkenthetők, ha a helyszínen csak mérés és adatgyűjtés történik, a feldolgozást központi egységek végzik
 - Elosztott intelligencia alkalmazása nem költséghatékony és nehezzé teszi az új ismeretek interpretálását
 - Akkor igazán hatékony, ha már rendelkezésre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

KÁBELEK

A kábelek meghibásodása

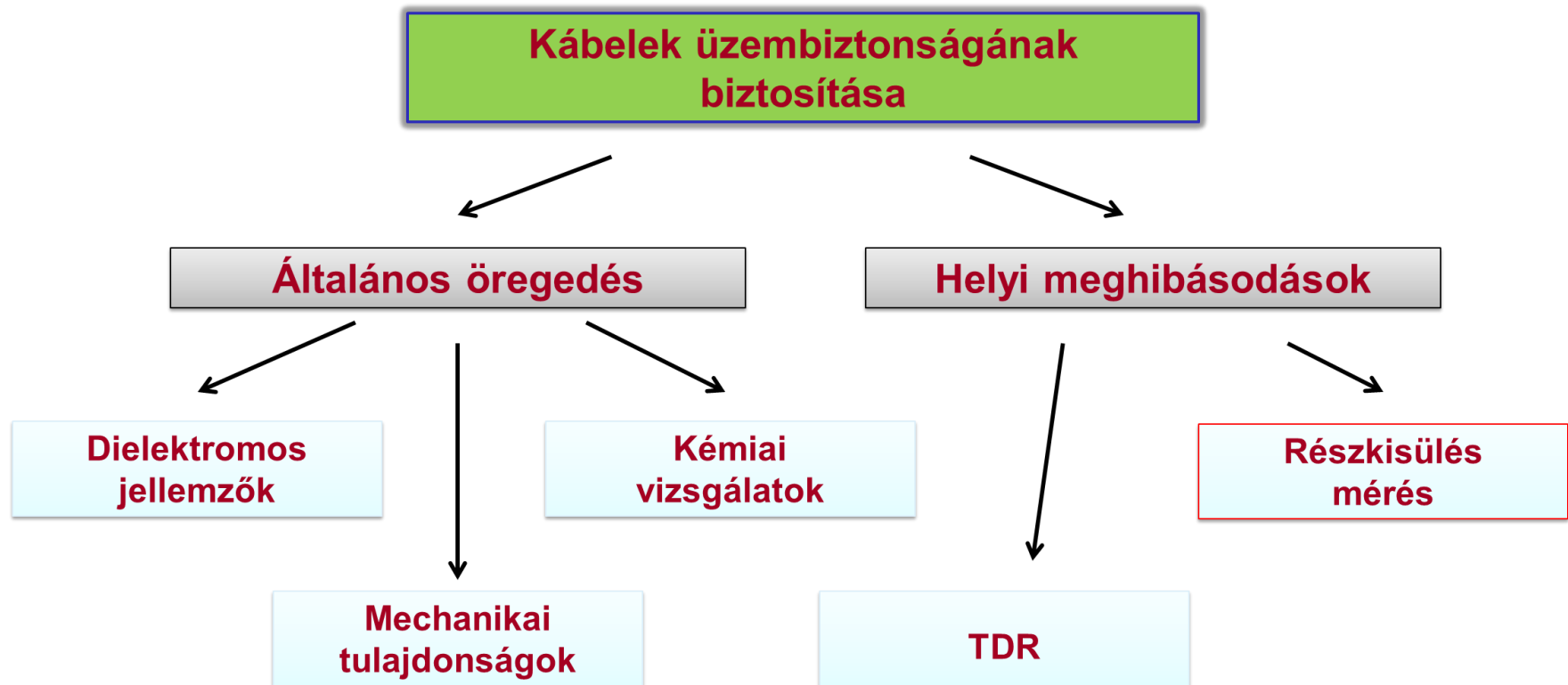
A hibaelhárítás folyamata (avagy miért szeretnénk NAGYON elkerülni):

- 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



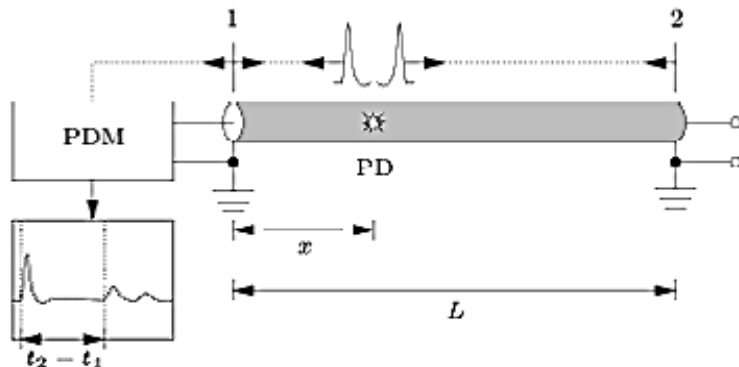
Kábeldiagnosztikai lehetőségek

- 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 → 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

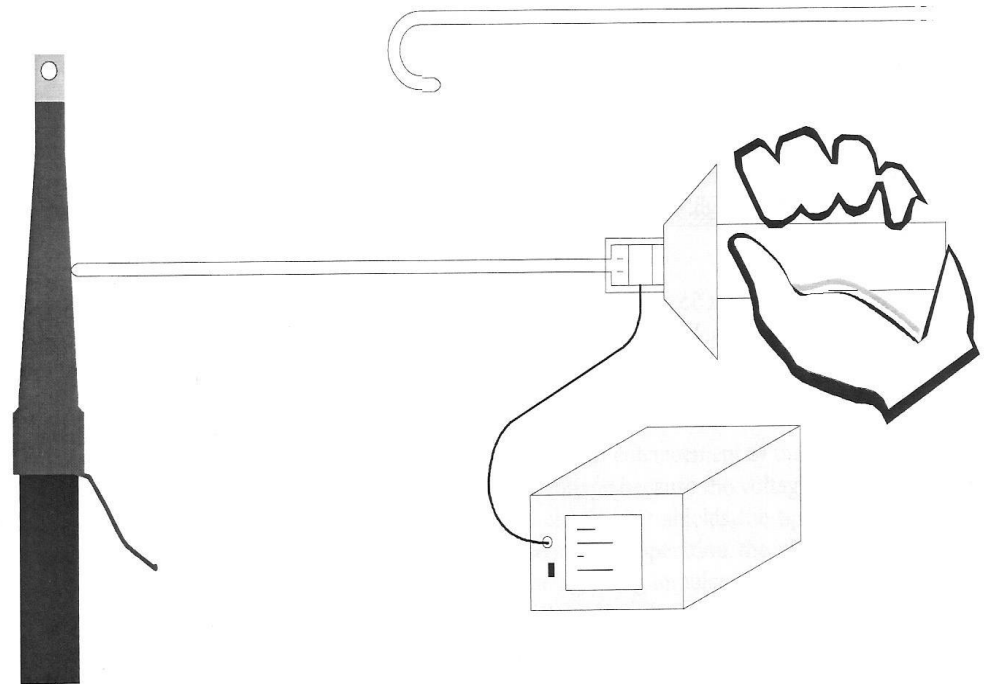
Jellemző mennyiségek

- 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]

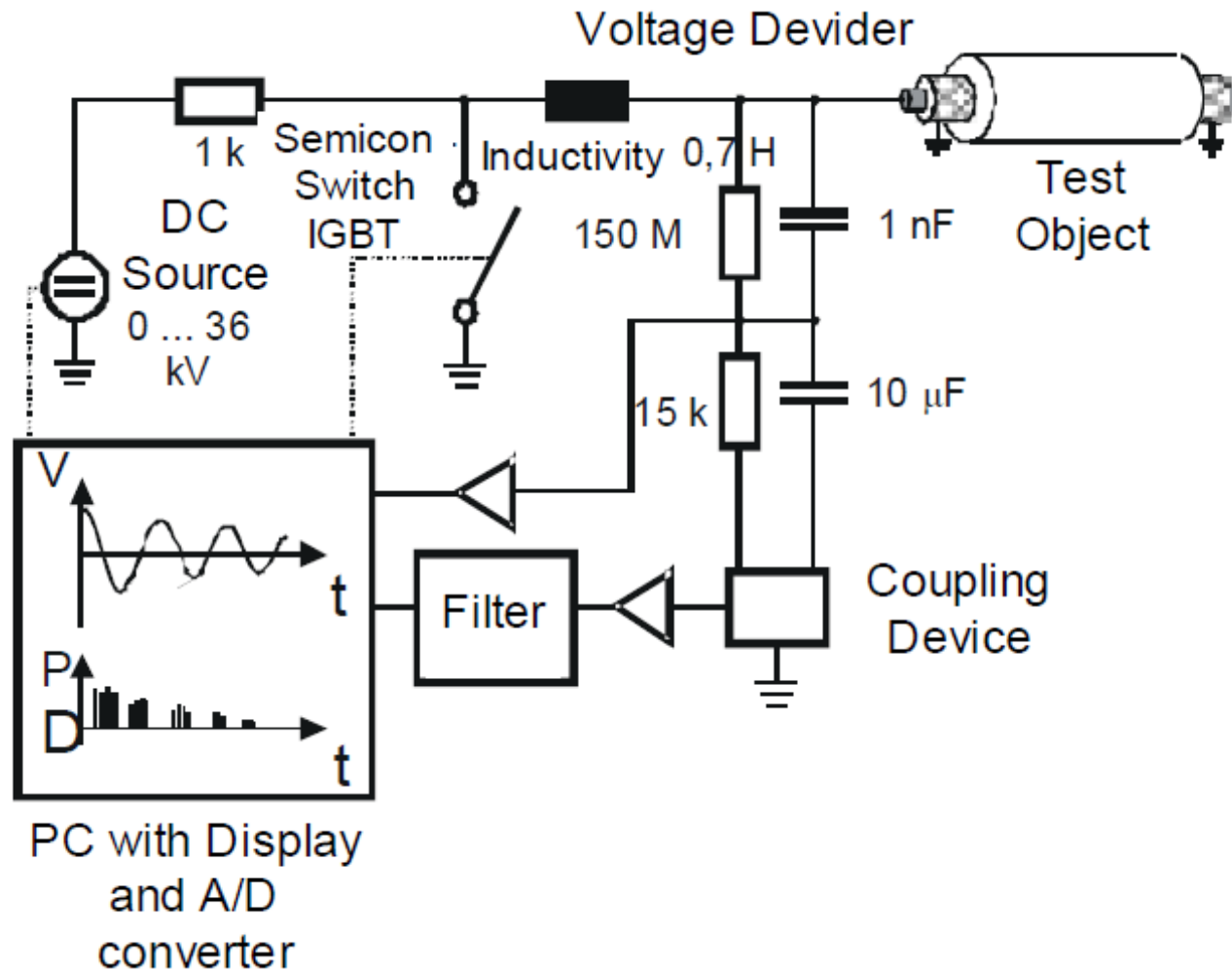
Részleges kisülések

Mérési módszerek

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

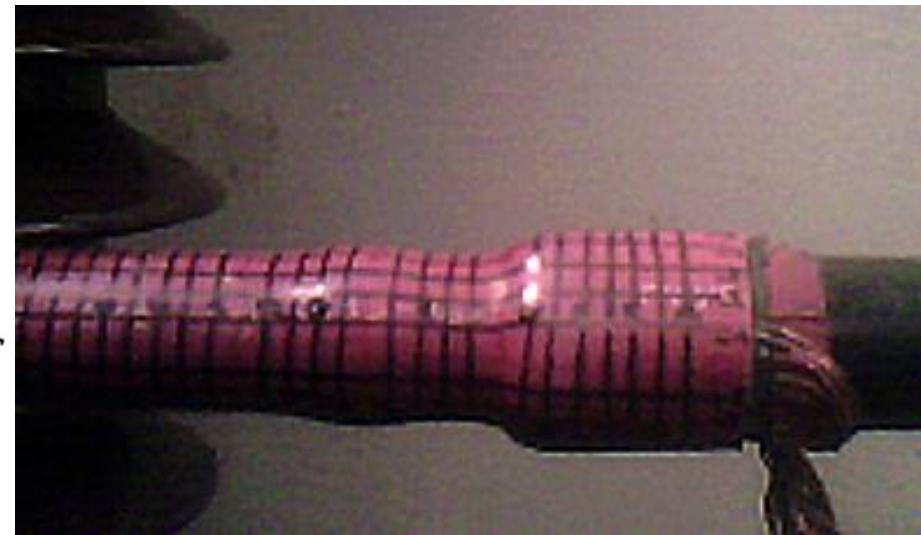
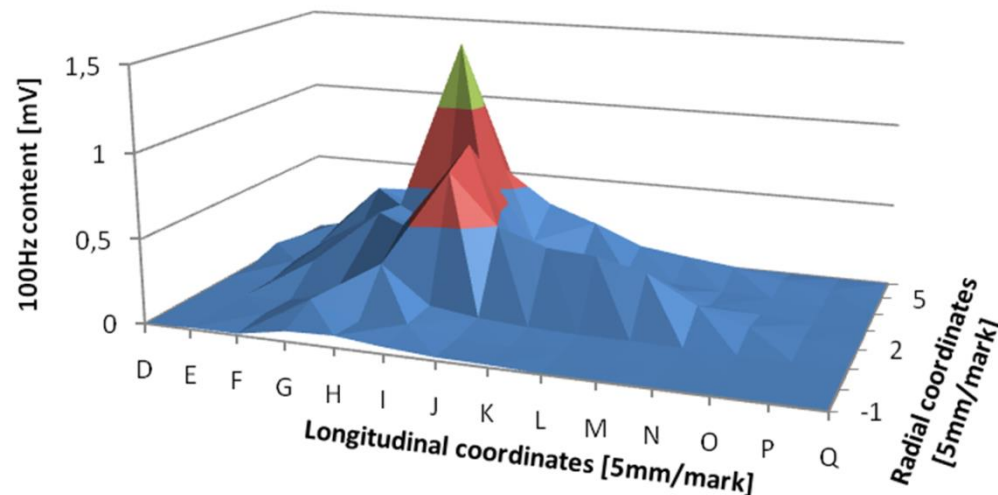


Részleges kisülések



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



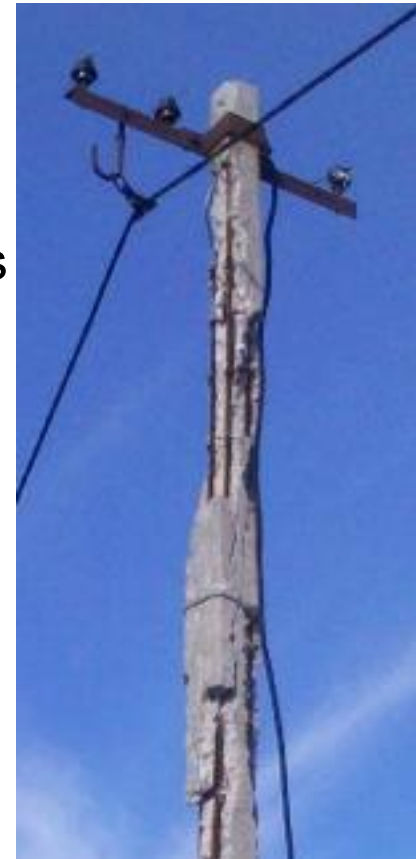
Kábel online monitoring

- 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

KÖZÉPFESZÜLTSGŰ SZABADVEZETÉKI HÁLÓZAT

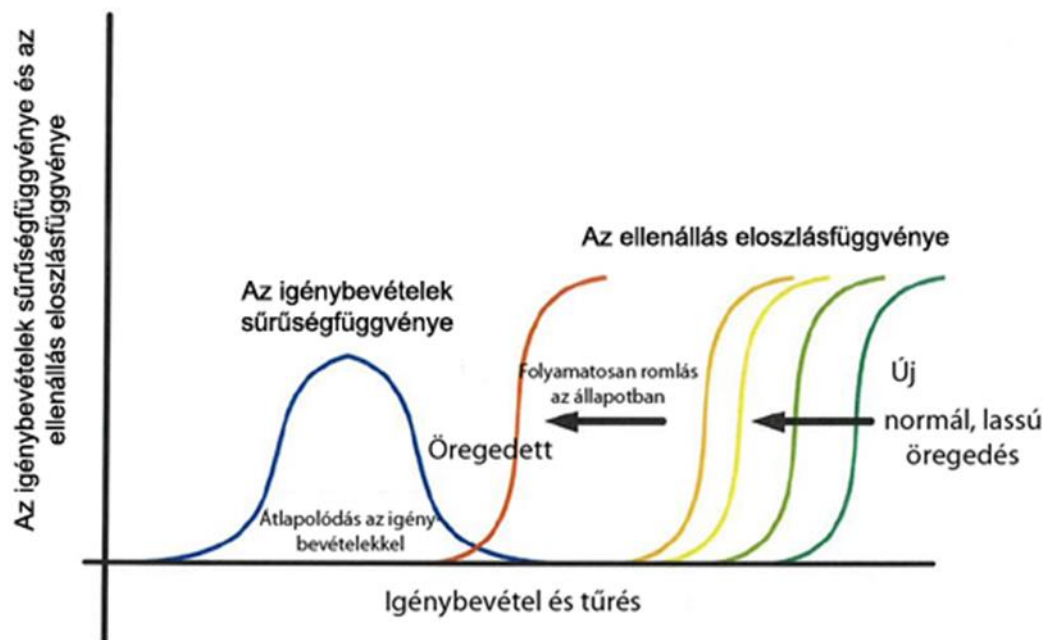
Középfeszültségű szabadvezetékek

- Látszólag kábelek ellentéte: néha túlzottan is látszik
- Sok szempontból mégis problémásabb:
 - sokkal olcsóbb, így bármilyen diagnosztikai mérés költsége nehezebben térül meg → nincs is
 - egyetlen kivitelezhető diagnosztika a szemrevételezés (esetleg hőkamerás vizsgálat)
 - a meghibásodási folyamatok jelentős százaléka rejtett
 - pl. feszítőszigetelő repedés a felső oldalon
 - ugyanakkor SAIDI jelentős része (~40%) származik a KöF szabvez. hálózatról...



Középfeszültségű szabadvezetékek

- Meghibásodások következményei jelentősen eltérhetnek a pillanatnyi helyzet függvényében
 - megközelíthetőség
 - szélsőséges időjárási körülmények esetén egyszerre bekövetkező nagyobb számú hiba



TRANSZFORMÁTOROK

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 ($C_3H_8 + C_3H_6$)

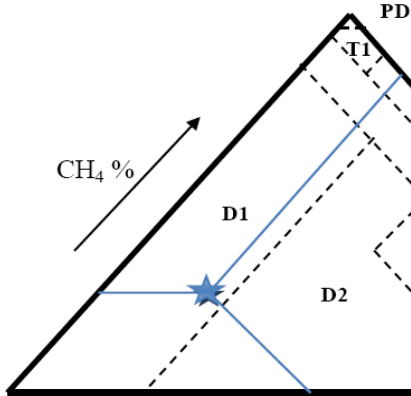
Transzformátor hibagáz analízis

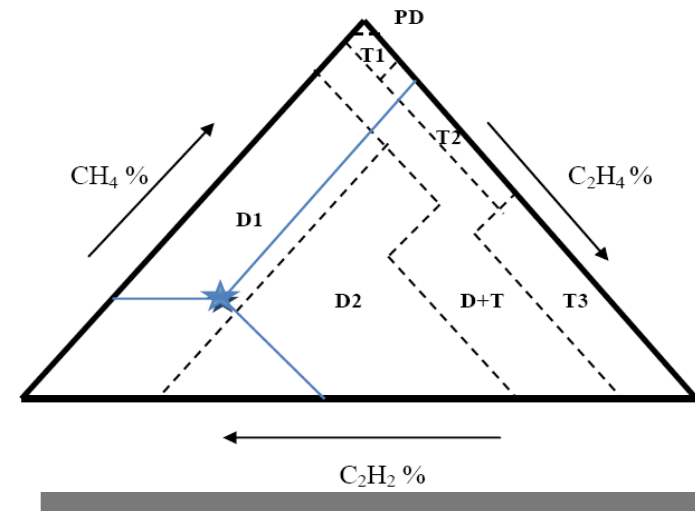
Kiértékelési módok

- MSZ 09-00.0352:1988-as szabvány
 - alkalmazott gázarányok → C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_4/C_2H_6
 - a hiba veszélyességének meghatározása az éghető gázok mennyisége alapján
- IEC 60599:2007-es szabvány
 - alkalmazott gázarányok → C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_4/C_2H_6
 - a hiba veszélyességének meghatározása → napi növekmény számítása

Transzformátor hibagáz analízis

Kiértékelési módok

- IEEE Std. C57. 104-1991-es szabvány
 - ✓ Roger' s Ratio módszer
 - alkalmazott gázarányok → CH_4/H_2 , $\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$, $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$, $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
 - ✓ Döernenburg arány módszer
 - alkalmazott gázarányok → CH_4/H_2 , $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$, $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$, $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$
 - Duval háromszög módszer
 - 3 gáz relatív százalékanak meghatározásán alapszik →
 - grafikus ábrázolás háromszögű koordinátarendszerben
 - minden esetben szolgáltat diagnózist
- 
- The diagram is a triangle used for gas analysis. The left side is labeled 'CH₄ %' with an upward arrow. The top vertex is labeled 'PD'. Inside the triangle, there are dashed lines forming a smaller triangle. A blue star is located at the intersection of a solid line from the bottom-left vertex to the right side and a solid line from the bottom-right vertex to the left side. The region between these two solid lines is labeled 'D1'. The region to the right of the solid line from the bottom-right vertex is labeled 'D2'. The top vertex area is labeled 'T1'.



Transzformátor hibagáz analízis

Jellemző gázok,
a hiba jellegének
megállapítása
MSZ 09-00.0352:1988
alapján

A hiba fajtája		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	A hiba jellege
		kódszám			
hibátlan		0	0	0	normális öregedés
kis energiájú	részleges kisülés	0	1	0	rossz impregnálás, nagy víztartalom
nagy energiájú		1	1	0	szilárd szigetelés átütése, tracking
kis energiájú	ívelés	1,2	0	1,2	szabad potenciálú helyek, olajcsatorna átütése
nagy energiájú		1	0	2	villamos ív, tekercs, menetzárlat
110 ...	hőmérsékletű hely	0	0	1	szigetelt vezető melegedése
150 ...		0	2	0	vas melegedése,
300 ...		0	2	1	vaszárlat, örvényáram okozta melegedés,
700 °C felett		0	2	2	rossz érintkezés

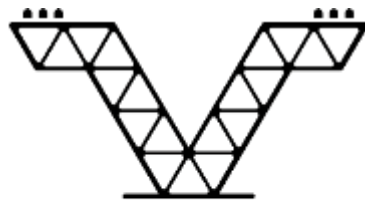
Köszönöm a figyelmet!

BME Nagyfeszültségű Laboratórium
Cselkó Richárd
cselko.richard@vet.bme.hu



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Nagyfeszültségű Laboratórium

A feszültség alatti munkavégzés (FAM)



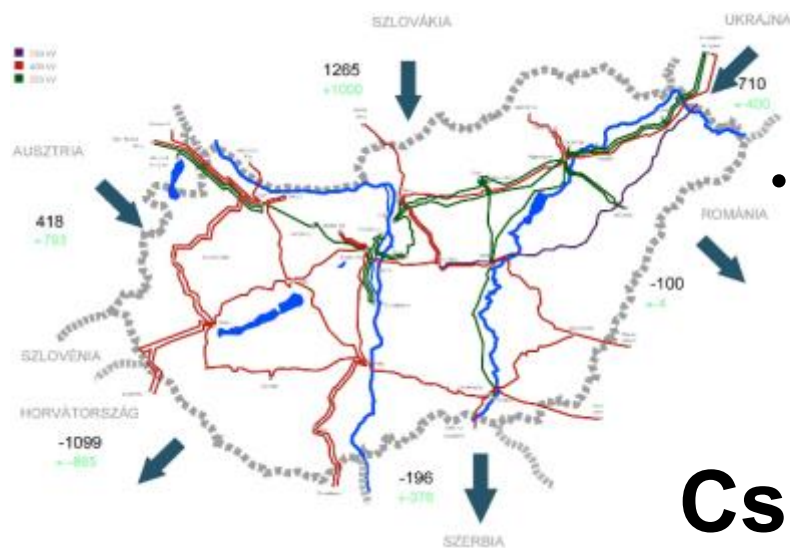
HIGHVOLTAGE
LABORATORY

Németh Bálint

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Laboratórium

A téma fontossága

Érintett távvezeték kikapcsolása:



- a rendszer hurkoltsága csökken
- nő az üzemzavar kockázata (n-k-1 elv)

Csökken a VER stabilitása

A villamosenergia-piac növekedése miatt egyre kevésbé engedhető meg egy távvezeték kikapcsolása!

Feszültség alatti munkavégzés (FAM)

- 72/2003. (X. 29.) GKM rendelet a feszültség alatti munkavégzés biztonsági szabályzatának kiadásáról
- 60/2005. (VII.18.) GKM rendelet a feszültség alatti munkavégzés biztonsági szabályzatának kiadásáról szóló 72/2003. (X. 29.) GKM rendelet módosításáról

72/2003. (X.29.) GKM rendelet

- Hatályba lépteti a FAM Biztonsági Szabályzatot (a továbbiakban Szabályzatot, rövidítéssel a FAM BSZ-t).
- Definiálja a FAM Bizottság
 - feladatait:
 - a Szabályzat alkalmazását elősegítő műszaki ajánlások előkészítése és kiadása,
 - a feszültség alatti munkavégzési (a továbbiakban: FAM) tevékenységhez használt eszközök vizsgálatát végző vizsgálólaboratóriumok minősítése és a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium, illetve a mindenkori illetékes szerv hivatalos lapjában való évenkénti közzététele,
 - szakmai vélemény nyilvánítása a FAM tevékenységgel kapcsolatban hozzá érkezett kérdésekben;
 - tagjait,
 - működését.

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.

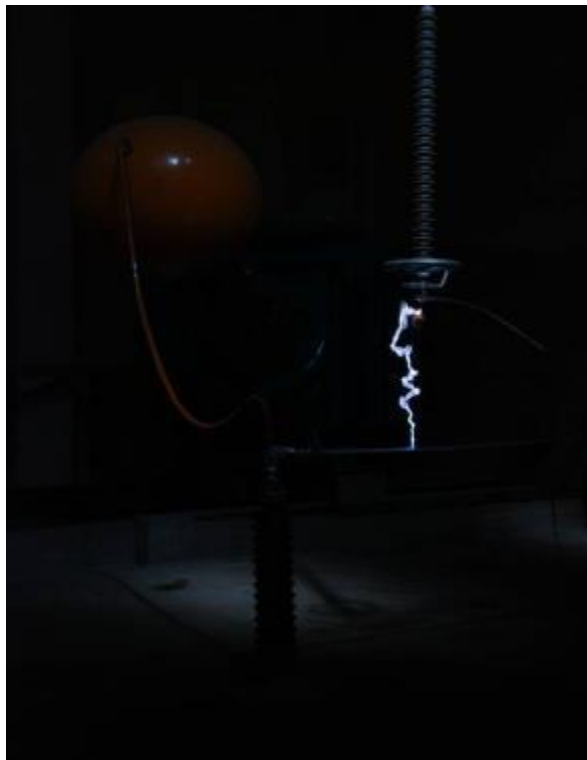
SWOT:

	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



KiF/KöF vezetékek

- Miért nem szabad megközelíteni?



Védőtávolságok

Legkisebb szigetelési távolság

Legkisebb biztonsági távolság

MSZ EN 50110

MSZ EN 61472

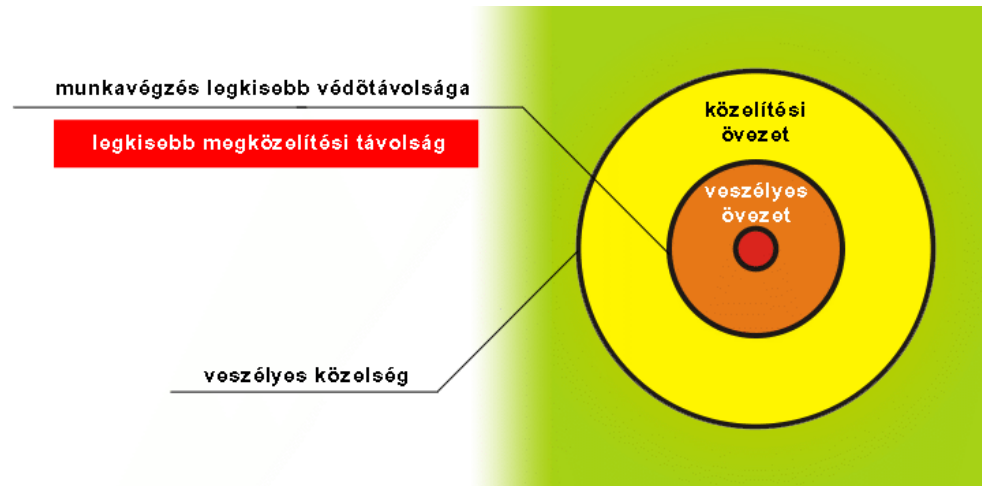
IEC 60060

A feszültség alatti rész közelítési övezetének határa

MSZ ENV 50196

MSZ 1585

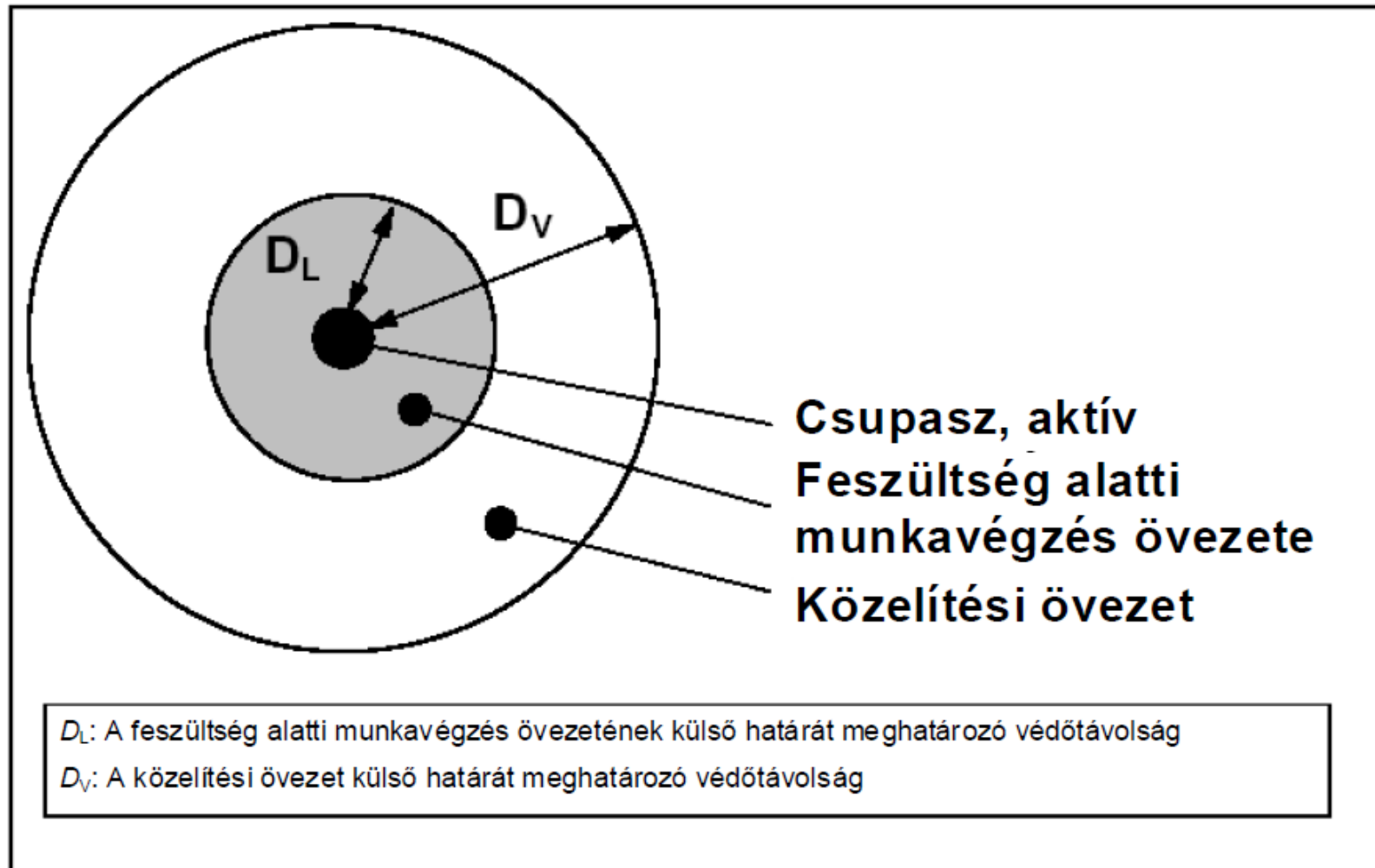
A feszültség alatti rész veszélyes övezetének határa



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



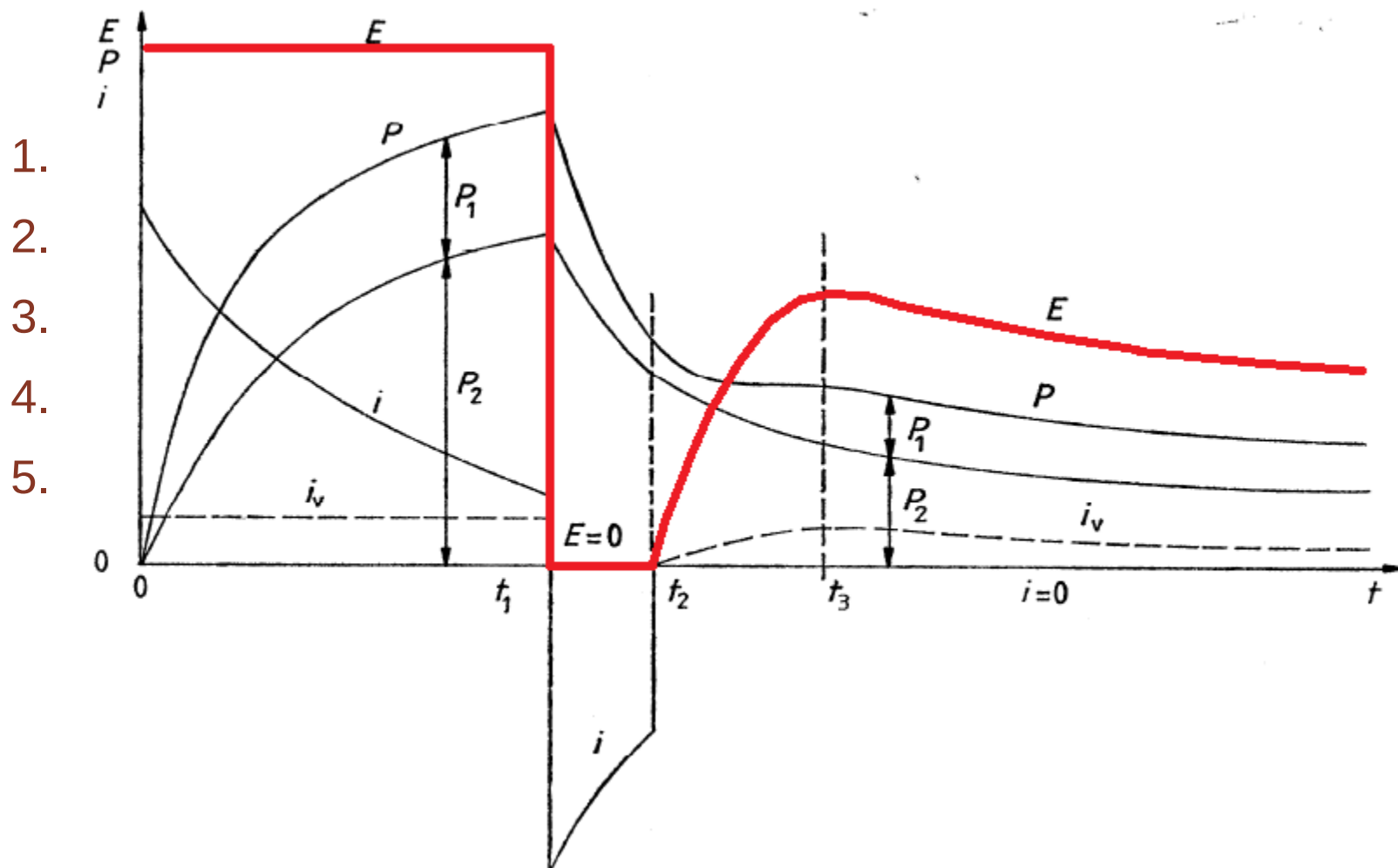
Betartandó védőtávolságok

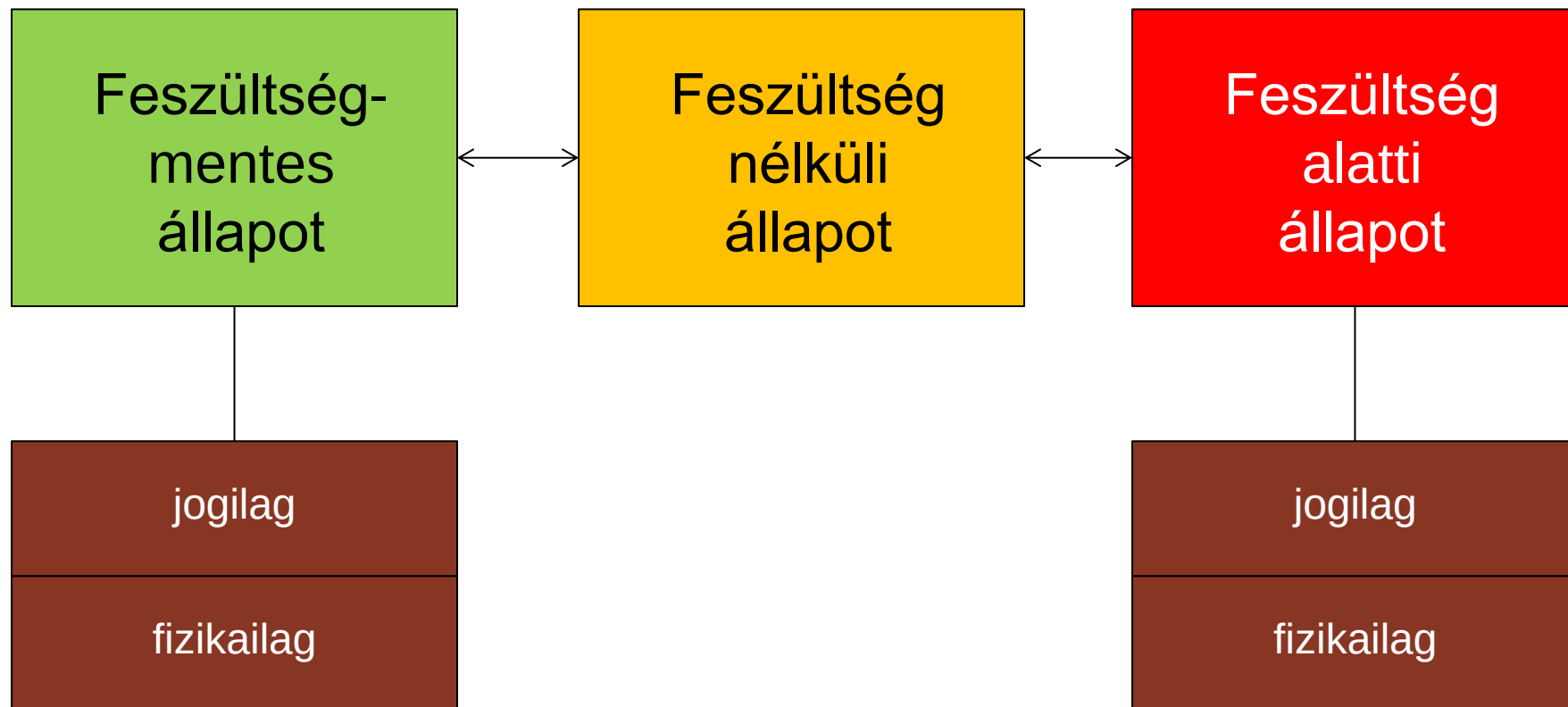
BETARTANDÓ TÁVOLSÁGOK TÁBLÁZATA ELMŰ - ÉMÁSZ 		Szerelő szigeteletlen testrészei		Szigetelt kosár, gém, segédkar		Vezető gémrész	
		1Kv ≤ 22Kv	22Kv ≤ 35Kv	1Kv ≤ 22Kv	22Kv ≤ 35Kv	1Kv ≤ 22Kv	22Kv ≤ 35Kv
Csupasz feszültség alatti rész		30 cm	45 cm	30 cm	45 cm	120 cm	120 cm
Burkolt feszültség alatti rész		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						

Meghatározások 4.

- FAM tevékenységhez használt eszközök
 - A FAM tevékenységhez használt munkaeszközök és egyéni védőeszközök összessége (a továbbiakban: FAM eszközök)
- Névleges feszültség szintek
 - *Kisfeszültség (a továbbiakban: KiF)*: A névleges érték, váltakozó áram esetében nem haladja meg az 1000 V-ot vagy egyenáram esetében az 1500 V-ot.
 - *Nagyfeszültség (a továbbiakban: NaF)*: A névleges érték, váltakozó áram esetében meghaladja az 1000 V-ot vagy egyenáram esetében az 1500 V-ot.
 - Ezen belül **középfeszültség** (a továbbiakban: KöF), ahol a feszültség névleges értéke váltakozó áram esetén nagyobb, mint 1 kV, de a 35 kV-ot nem haladja meg.

Feszültségmentesítés





Meghatározások 1.

- **Munkaállás:** A munkaállás a beavatkozó szerelőnek az a helye, ahonnan a feszültség alatt álló részekben a beavatkozást végzi.
- **Földpotenciálú munkaállás:** a beavatkozó szerelő földön, munkagödörben, kábelcsatornában, közműalagútban, oszlopon vagy az oszlophoz csatlakozó bármely szerelvényen állva végzi a munkát.
- **Potenciálon lévő munkaállás:** a beavatkozó szerelő annak a vezetőnek a potenciáljára kerül, amelyen a munkát végzi.
- **Határozatlan potenciálú munkaállás:** a beavatkozó szerelő mind a földtől, mind a feszültség alatt álló részekről teljes értékű szigeteléssel elszigetelve végzi a munkát.

Meghatározások 2.

- **FAM tevékenység munkamódszerei**

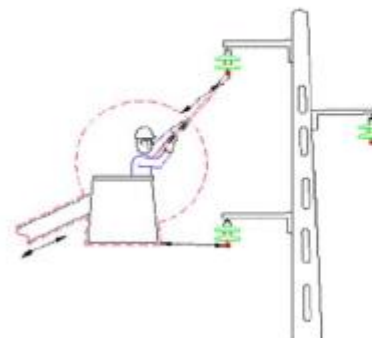
- **Távolból végzett munka:** a feszültség alatti munkavégzésnek az a módja, amikor a dolgozó a feszültség alatt lévő résztől *meghatározott távolságból* (a legkisebb szigetelési távolságon kívül) *szigetelő rudak segítségével* végzi a munkáját.
- **Érintéssel végzett munka:** a feszültség alatti munkavégzésnek 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.*

Meghatározások 3.

- **Berendezésfelelős (a továbbiakban: üzemviteli vezető):** a villamos berendezés *üzemeltetésével megbízott és azért közvetlen felelősséggel tartozó személy.* Ezen felelősségi kör egyes részei szükség esetén más személyekre átruházhatók.
- **Munkavezető:** a munkavégzés *tényleges irányítását* végző, FAM feljogosítási igazolvánnyal rendelkező személy.
- **Beavatkozó szerelő:** FAM feljogosítási igazolvánnyal rendelkező személy, aki a feszültség alatt álló berendezésrészekben vagy ezek közelében biztonsági okokból *csak a munkavezető irányítása mellett végezhet munkát.*
- **Kiszolgáló személy:** betanított és kioktatott személy, aki *a földön vagy földelt szerkezeteken a feszültségtől távol dolgozik és a beavatkozó szerelők munkáját segíti.*

A FAM munkamódszerei

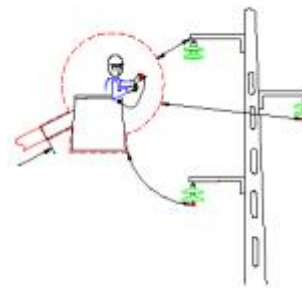
- Távolból végzett munka:



- Érintéssel végzett munka:



- Potenciálalon végzett munka:



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 típustanúsítvány 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.

Extrém körülmények



Photo credits – Compass Rose Power

A különleges üzemviteli állapot (KÜÁ)

Egy középvezültségű 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 visszahatolása békítva van.

Középfeszültségű (KöF) feljogosítás (fokozatok és ellátható feladatkörök)

- **KöF-1 feljogosítású beavatkozó szerelő** (a továbbiakban: KöF-1 szerelő) által ellátható feladat: FAM tevékenység végzése közepfeszültségű berendezésen, munkavezetőként megbízott KöF-2 vagy KöF-3 szerelő irányítása és felügyelete alatt.
- **KöF-2 feljogosítású beavatkozó szerelő** (a továbbiakban: KöF-2 szerelő) által ellátható feladatok:
 - A KöF-1 szerelő feladatköre.
 - Megbízható munkavezetőként: ha a munkavégzéshez – rajta kívül – egy vagy két KöF feljogosítású beavatkozó szerelő és egy KöF kiszolgáló személy is szükséges.
- **KöF-3 feljogosítású beavatkozó szerelő** (a továbbiakban: KöF-3 szerelő) által ellátható feladatok:
 - A KöF-2 szerelő teljes feladatköre.
 - Megbízható munkavezetőként: ha a munkavégzéshez – rajta kívül – kettőnél több KöF feljogosítású beavatkozó szerelő és egy vagy több KöF kiszolgáló személy is szükséges.
- **KöF kiszolgáló személy** elláthat közepfeszültségű berendezésen végzett FAM tevékenység esetén kisegítő és előkészítő jellegű feladatokat, kizárólag a feszültség alatt álló részekről távol, így különösen anyagmozgatás, szerszámfeladás, kötelek kezelésénél való segédkezés, földmunkák végzése, kábelek, sodronyok előkészítése, megbízás esetén a helyszín biztosítása.

FAM eszközök vizsgálata 1.

- Az **átvételi vizsgálatot** és az **időszakos felülvizsgálatot** a FAM Bizottság által megfelelőnek *minősített vizsgálólaboratórium* végzi és azt a *FAM MinL*-on dokumentálja.
- A vizsgálatok elvégeztetéséről a *FAM tevékenységet végző gondoskodik.*
- **Átvételi vizsgálat**
 - A FAM eszközöket az első használatbavétel előtt és javítást követően az ÁPVGY szerint átvételi vizsgálatnak kell alávetni.

FAM eszközök vizsgálata 2.

• Időszakos felülvizsgálatok

- A *biztonságos műszaki állapot megőrzése* érdekében a FAM tevékenység munkaeszközeit időszakos felülvizsgálatnak kell alávetni a FAM Műszaki Lapokban, egyéni védőeszköz esetében a védőeszköz tartozékát képező tájékoztatóban meghatározott gyakorisággal.
- Az időszakos felülvizsgálatot *munkaeszköz esetében az ÁPVGY, egyéni védőeszköz esetében annak tájékoztatójában meghatározott követelmények*, illetőleg a vonatkozó szabványok alapján kell elvégezni.
- Az egyéni védőeszköz időszakos felülvizsgálatát a külön jogszabályban meghatározottak szerint a FAM tevékenységet végző kérelmére a *gyártó vagy bejelentett szerv végezheti*.
- Az időszakos felülvizsgálaton nem megfelelőnek bizonyult FAM eszközöket *javításra kell küldeni, vagy selejtezni kell*.
- A *javított eszközt* átvételi vizsgálatnak vagy időszakos felülvizsgálatnak kell alávetni. A javítás jellegétől függően kell a vizsgálatot végzőnek eldöntenie a vizsgálat fajtáját. Csak a vizsgálaton megfelelőnek bizonyult eszközt szabad az alkalmazónak használatba vennie.

Alállomás-tisztítás



Alállomás-tisztítás



Középfeszültségű transzformátor takarítása

(Courtesy E.ON)



KöF FAM eszközök vizsgálata

- Szigetelő kesztyű
- Szigetelő rúd
- Szigetelő lepel
- Merev szigetelőburkolat
- Szigetelő létra
- Szigetelőkarú emelőkosaras gép, szigetelő kosár betét
- Egyéb eszközök

Szigetelő kesztyű

- **Vonatkozó szabvány: MSZ EN 60903**

Névleges feszültség (U_n)	Frekvencia (f)	Időtartam (t)
kesztyűosztály függvénye; 2,5-50 kV AC, 4-90 kV DC	50 Hz	3 min: típusvizsgálat/mintavétel es vizsgálat/szivárgó áram mérés; 1 min: darabvizsgálat

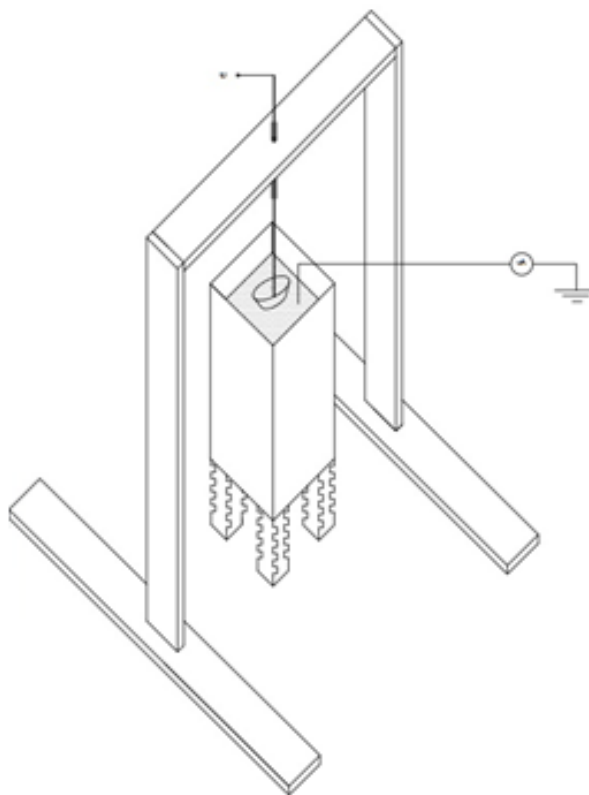
Szigetelő kesztyű

A mérés menete:

- A szigetelő kesztyűt meg kell tölteni vízzel (amennyiben a víz kárt tehet benne, abban az esetben 4 mm átmérőjű nikkelacél golyókat kell használni)
- A szigetelő kesztyűt a mérési elrendezésben vázolt módon a megadott mélységig kell vízzel teli medencébe meríteni

Szigetelő kesztyű

- Mérési elrendezés



Szigetelő kesztyű

- **Feszültségpróba (AC és DC):** A szigetelő kesztyű típusa alapján meghatározott próbafeszültséget a kesztyűre kapcsolva mérni kell a szivárgó áramot. Típusvizsgálatoknál és mintavételes vizsgálatoknál 3 perc, darabvizsgálatoknál 1 percig kell a próbafeszültséget az adott értéken tartani
- **Feszültségállósági próba (AC és DC):** A szigetelő kesztyű típusa alapján meghatározott próbafeszültséget kell a kesztyűre kapcsolni. Amennyiben átütés következik be, akkor a közvetlenül az átütés előtti feszültséget kell átütési feszültségnek tekinteni

Szigetelő kesztyű

- A kesztyű nyitott része és a vízfelszín közötti távolság

Kesztyűosztály	A vizsgálatokra vonatkozó D távolságok [mm]			
	Váltakozó feszültség		Egyenfeszültség	
	Feszültségpróba	Feszültségállósági próba	Feszültségpróba	Feszültségállósági próba
00	40	40	40	50
0	40	40	40	50
1	40	65	50	100
2	65	75	75	130
3	90	100	100	150
4	130	165	150	180

Szigetelő kesztyű

- A szivárgási áramot a földágba közvetlenül kapcsolt ampermérővel kell mérni
 - Egy szigetelő kesztyű mérése esetén a mérési elrendezésben a medence vizét földelni kell, a nagyszűltűű elektródot pedig a kesztyűbe töltött vízhez kell csatlakoztatni
 - Több szigetelő kesztyű együttes vizsgálatakor a medence vizét a nagyszűltűű elektróddal kell összekapcsolni, a kesztyűkben lévő vizet pedig földelni kell. Ilyen esetben az egyes kesztyűk szivárgási áramait külön-külön kell mérni

Szigetelő kesztyű

Kesztyű- osztály	Váltakozó áramú próbák						Egyenáramú próbák	
	Próba- feszültség [kV, effektív]	A legnagyobb szivárgóáram [mA, effektív]				Feszültség- állósági próba [kV, effektív]	Próba- feszültség [kV, effektív]	Feszültség- állósági próba [kV, effektív]
		A kesztyű hossza [mm]						
		280	360	410	≥460			
00	2,5	12	14	n/a	n/a	5	4	8
0	5	12	14	16	18	10	10	20
1	10	n/a	16	18	20	20	20	40
2	20	n/a	18	20	22	30	30	60
3	30	n/a	20	22	24	40	40	70
4	40	n/a	n/a	24	26	50	60	90

Szigetelő rúd

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

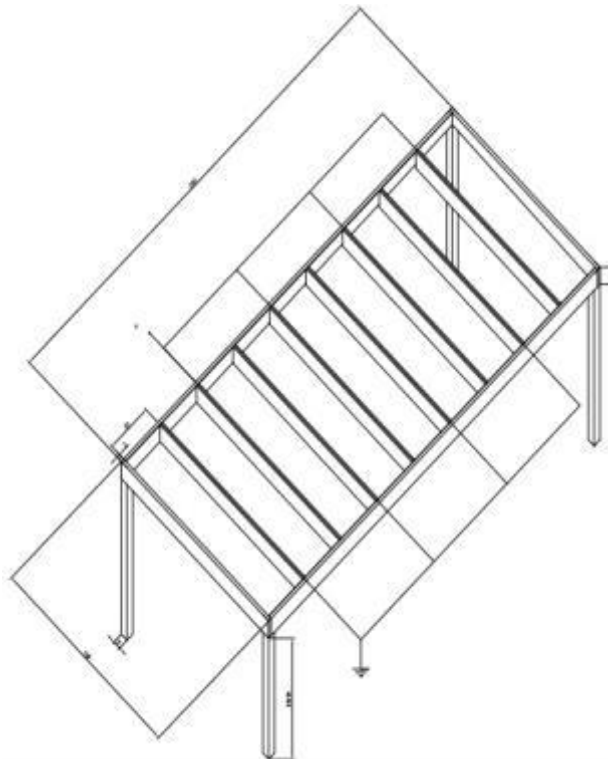
Szigetelő rúd

- **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

Szigetelő rúd vizsgálata



Szigetelő rudak használatának feltételei

- A szigetelő rudak a felületi szivárgó áramokra méretezve és rendszeresen ellenőrizve vannak.
- Használatukkal biztosítható, hogy a beavatkozó szerelők megfelelő szigetelési szinttel legyenek elválasztva a feszültség alatti részekről.

Szigetelő lepel

- **Vonatkozó szabvány: MSZ EN 61479**

Névleges feszültség (U_n)	Frekvencia (f)	Időtartam (t)
20-40 kV	50 Hz	20 kV: 1 min; 40 kV: 1-3 min; periodikus vizsgálat: 1 min

Szigetelő lepel

A mérés menete:

- A lepel két oldalára két méretezett lemez elektródát kell helyezni
- A mérés során a hőmérsékletet hőkamerával folyamatosan ellenőrizni kell
- A szivárgó áram értékét a földágban folyamatosan mérni kell
- Az elektródokra próbafeszültséget kell kapcsolni az alábbi táblázatban előírtak alapján:

Szigetelő lepel típusa	Próbafeszültség (U_p)	Időtartam (t)
3,5 mm-es szigetelő lepel	20 kV	1 min
kombinált módszerhez használatos szigetelő lepel	40 kV	1-3 min

Szigetelő lepel

Értékelés:

A vizsgálat sikeres, ha annak során nem történik átütés, átívelés, átszikkasztás, vagy számottevő melegedés. A mérés során a szivárgó áram nem növekedhet

Szigetelő létra

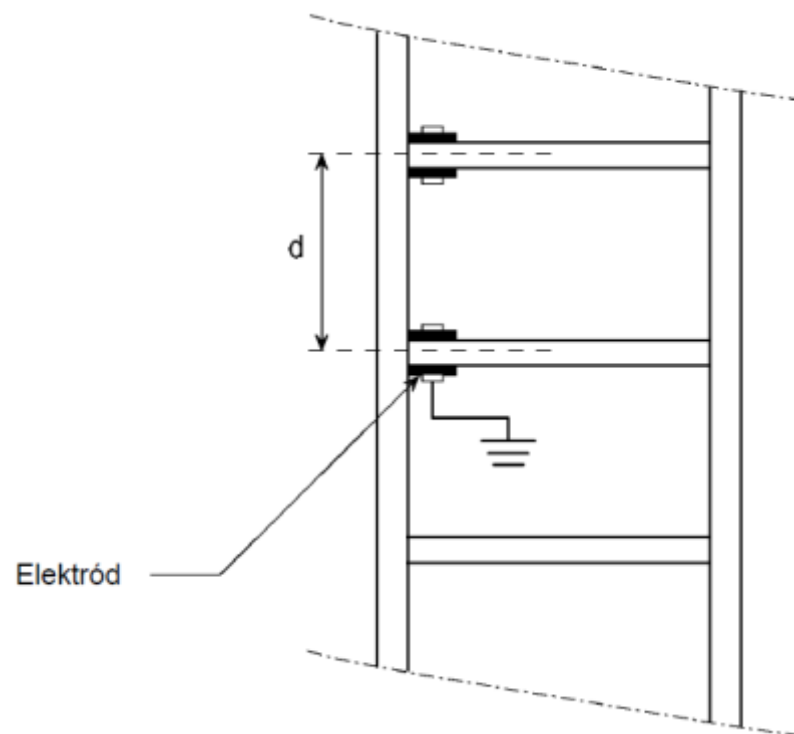
- **Vonatkozó szabvány: MSZ EN 61478**

Névleges feszültség (U_n)	Frekvencia (f)	Időtartam (t)
Létrafokok közötti távolság (d) és létraosztály függvénye	40-62 Hz	1 min

Szigetelő létra

A mérés menete:

- 24 órás vízbe merítés
- szárazra törlés
- legalább 50 mm széles elektród



Szigetelő létra

Értékelés:

A vizsgálat sikeres, ha annak időtartama alatt sem átütés, sem pedig átívelés nem keletkezett, valamint a hőmérséklet nem növekedett számottevően.

Szigetelő létra vizsgálata



Vezetőképes öltözetek 1.

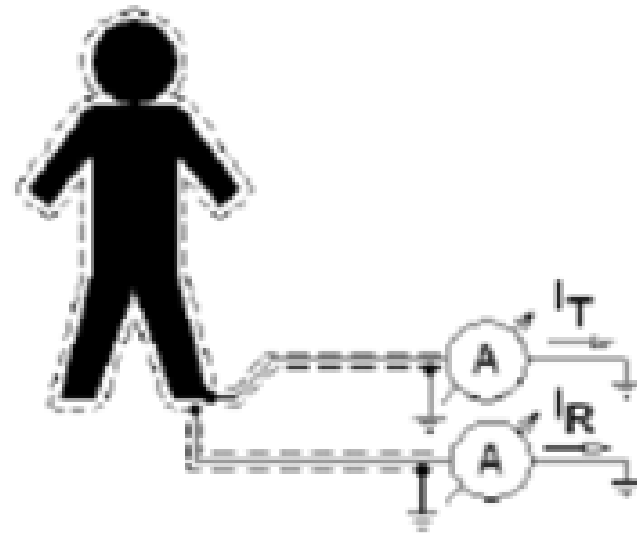
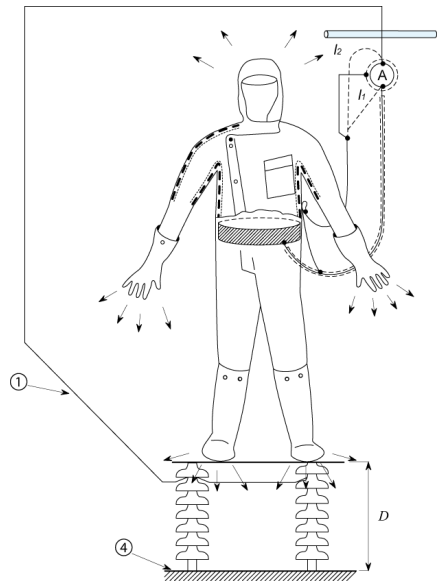
- Faraday-kalitka
- „Faraday-lyukak”
- Archáló
- NaF FAM
 - Villamos tér
 - Mágneses tér



Vezetőképes öltözetek 2.



Mérési elrendezés



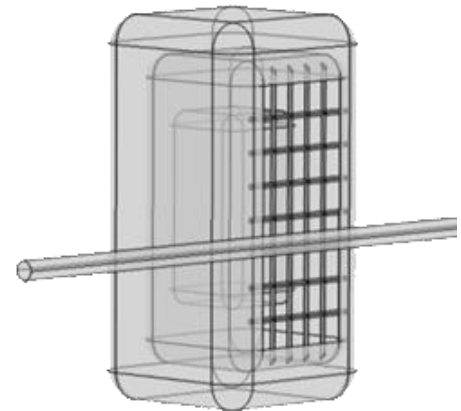
Határértékek

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

(ICNIRP)

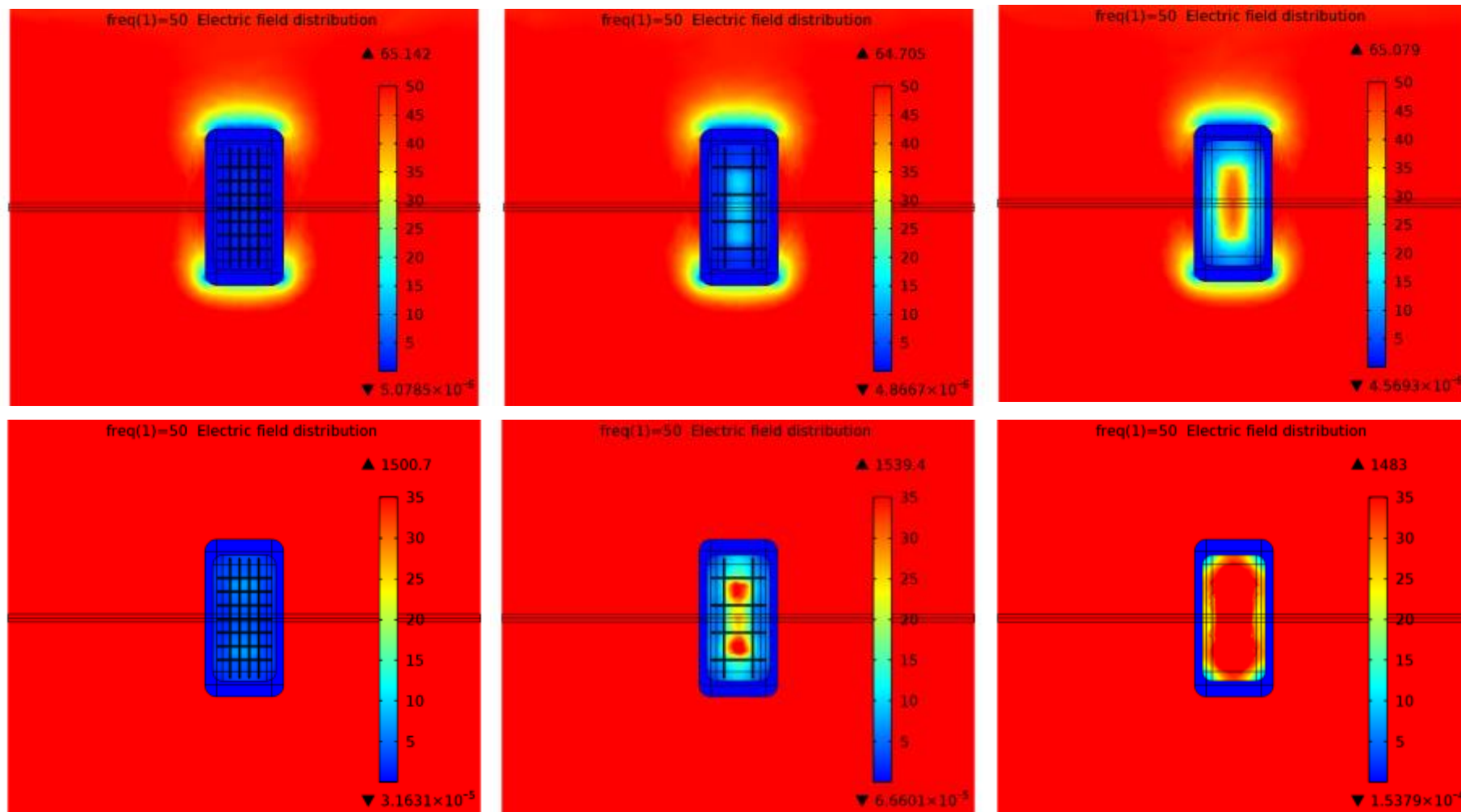
Villamos térelosztás-vizsgálat

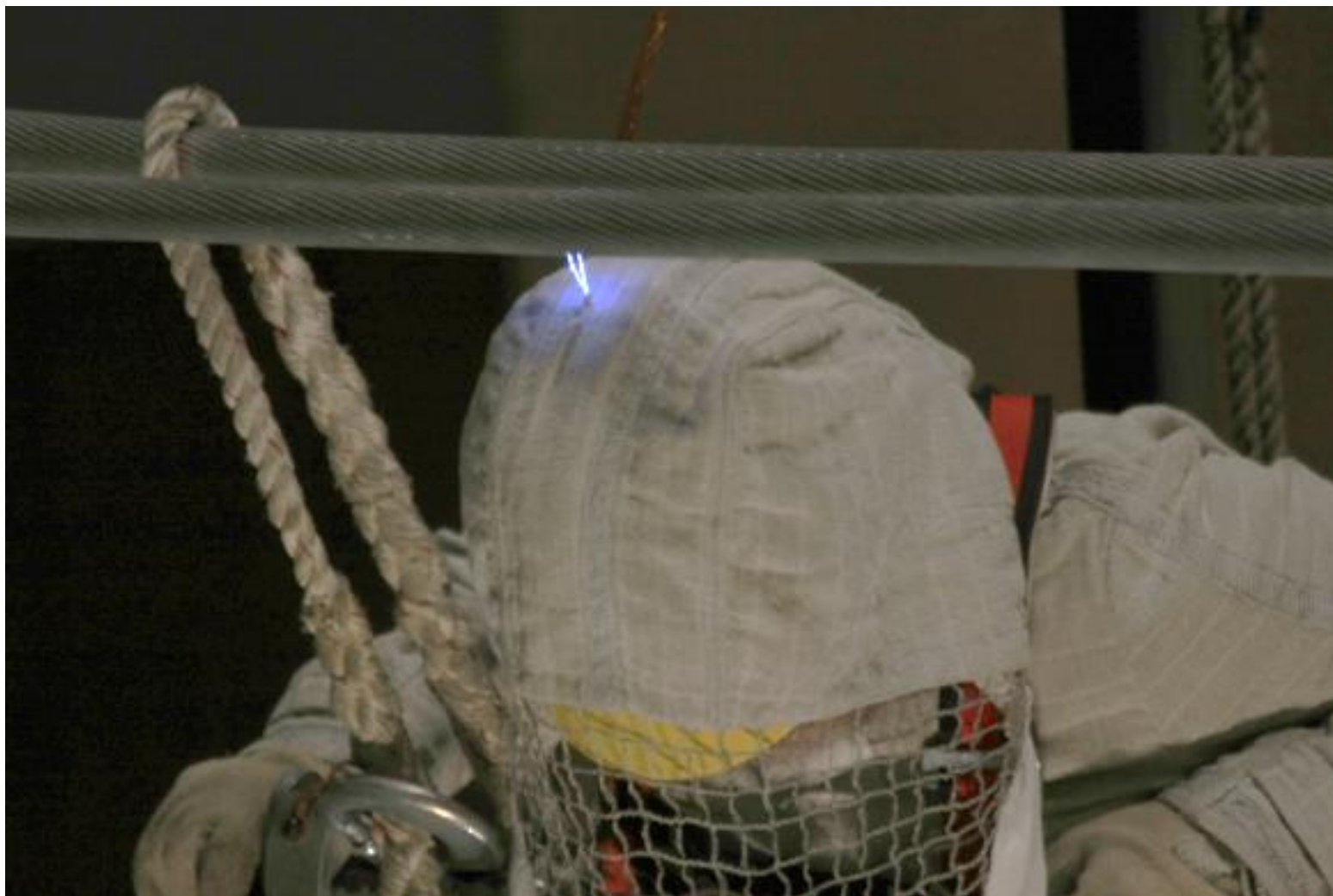
- Számítások
- Modellelés
 - CAD
- Szimuláció
 - végeselem-módszer
 - archáló
- Laboratóriumi méréssorozat
 - ellenőrzés





Téreloszlás vizsgálata





Egyéb eszközök

- Szigetelő elválasztó elemek
 - szigetelő karvédő
 - söntkábel védőcső
 - szigetelő sapka
 - szigetelő tömlő
 - szigetelő tömlővég

Egyéb eszközök

- Fázisegyeztető készülék
- Terhelés megszakító készülék
- Söntkábel
- Feszültségkimaradás-jelző
- Hidraulikus hajtású rudas láncfűrész
- Kihorgonyzó készülék
- Légvezetéki rádiófrekvenciás árammérő
- Mechanikai feszültségmérő
- Mérővessző
- Segédszerelvénykar

Hibák



Hibák





Vonatkozó szabványok

- IEC TS 61813:2000
 - Live working – care, maintenance and in-service testing of aerial devices with insulating booms
- MSZ EN 61057:2000
 - Szigetelt gémes szerelőkosarak 1 kV-nál nagyobb váltakozó áramú feszültség alatti munkavégzéshez

Szemrevételezéses vizsgálat



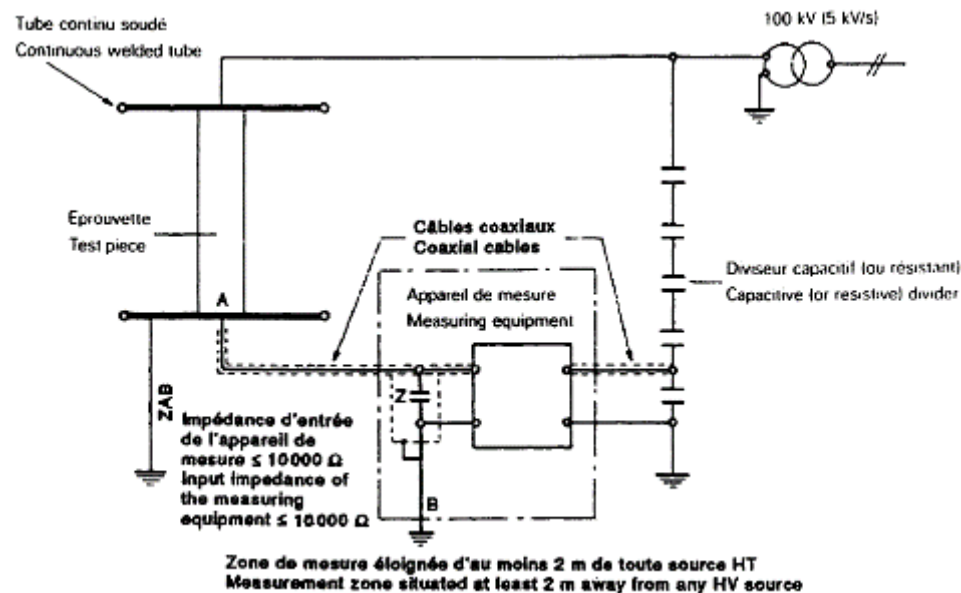
Villamos vizsgálatok

- Levezetési ellenállás mérése az alsó gémen**

Mérési pontok: az alsó gém alsó (a kocsi földelt karosszériájával azonos potenciálon lévő) fémszerkezetének kivezetett csatlakozási pontja és az alsó gém felső fémszerkezetének kivezetett csatlakozási pontjai között.

Mérőfeszültség: 5 kV

Határérték: 10 M Ω



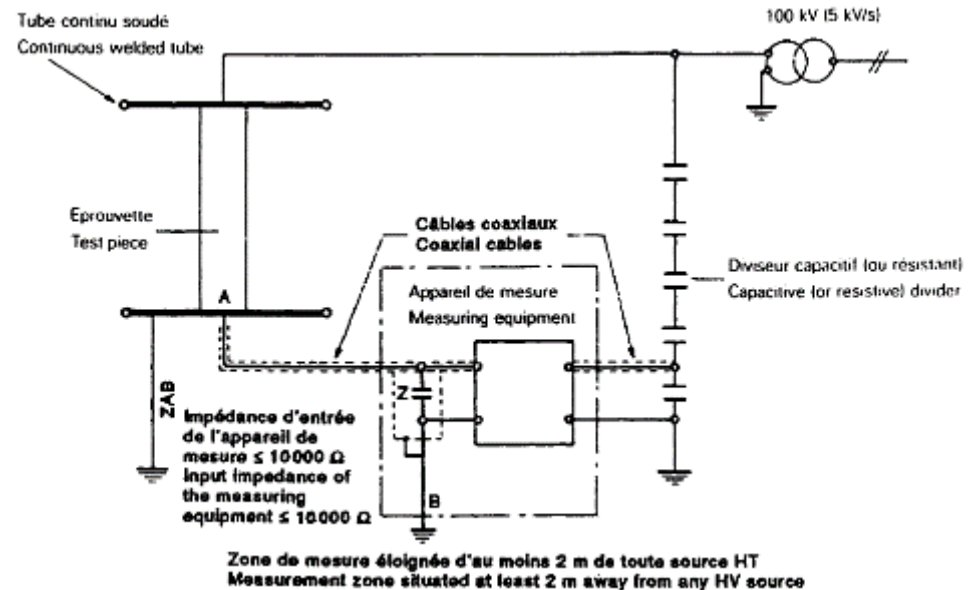
CEI-IEC 27491

Villamos vizsgálatok

- Levezetési ellenállás mérése a felső gémen**

Mérési pontok: a felső gém alsó (az alsó gém felső részével azonos potenciálón lévő) fémszerkezetének kivezetett csatlakozási pontja és felső gém felső fémszerkezetének kivezetett csatlakozási pontjai között.

Mérőfeszültség: 5 kV
Határérték: 10 M Ω



Mérési pontok

- fokozottan ügyelni kell a csatlakozásaira
- részben nyitott igénybevételek esetén különösen:
 - páralecsapódás
 - szennyeződés
 - csapadék



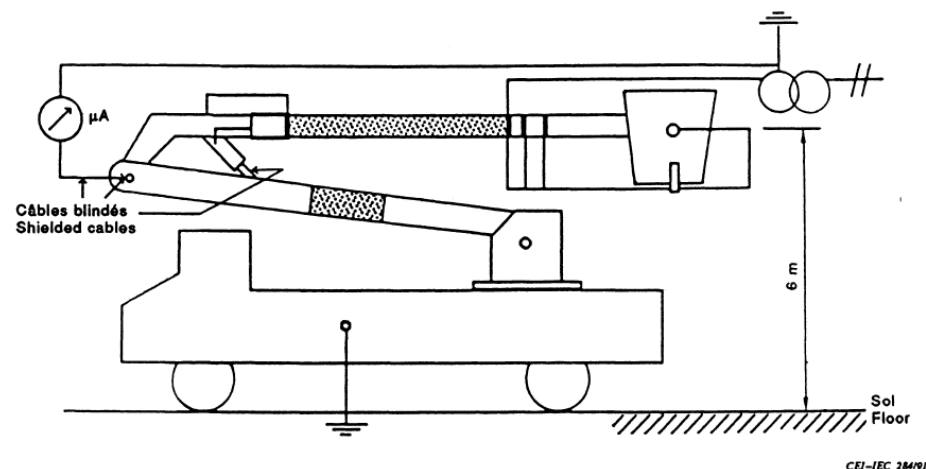
vezetéseinek

ozta
bbben az
ztítás

Villamos vizsgálatok

• Szivárgási áram mérése 40 kV-on

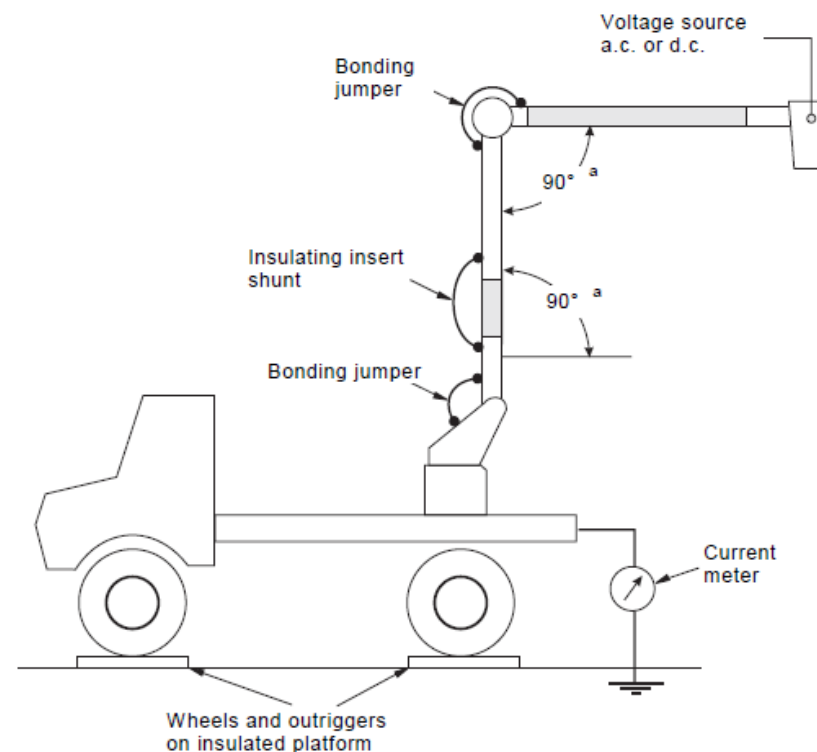
A csatlakozási pont a gép erre a célra kialakított mérési pontja. A mérések megismételhetősége érdekében a 40 kV effektív értékű gémet a lehetőségekhez mérten feszültségét fokozatos képest a felszabályozással minden legmagasabbra kell kiemelni. A földelt, vagy határozatlan potenciálán levő eszköztől a szerelvényekhez csatlakozva biztonsági távolságon kívül földelni kell. Az árammérőt az elvezetve kell a kosarra kötni és erre a célra kialakított 1 percre fenntartani. árnyékoló kábel segítségével kell bekötni a kábel mérőfeszültség: 40 kV, 50 Hz árnyékolását földelve. Határérték: 40 μ A



*Mérési pontok az MSZ EN 61057 szabvány
C függelékének C2 ábrája alapján*

Szivárgási áram mérése 40 kV-on

A mérések megismételhetősége érdekében a gémet a lehető legszűkebb méretű falkaból felvázolták, amelynek minden földelési pontja a földpótlékkal és a földpótlékok közötti áramlás biztonságát szolgáló napközi segítségével kell. Az árammérő csatlakozási pontja a kocsik alvázának földelő mérőcsatlakozás 40 kV fölé. A gémet érték: 40 A-átó csuklók átmeneti ellenállását a mérés megkezdése előtt kábelek segítségével söntölni kell.

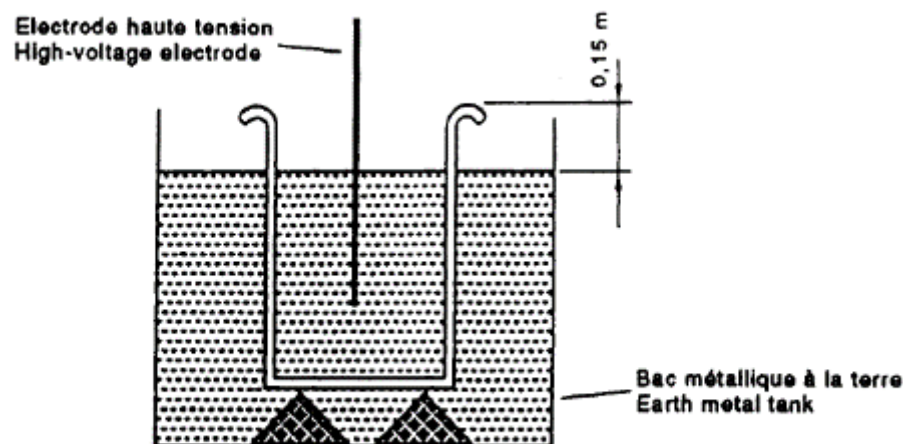


*Mérési pontok az IEC TS 61813 ajánlás
2. ábrája alapján*

A kosár belső szigetelő betétjének vizsgálata

A szigetelő kosarat/betétet maximálisan 50 Ω m fajlagos ellenállású vízbe kell meríteni a szigetelő betét tetejétől mért 15 cm távolságig. A mérés során használt tartályt földelni kell, a szigetelő betét belsejébe pedig nagyfeszültségű elektródot kell helyezni az ábrán szemléltetett módon.

Szigetelő kosaras gépjármű esetén az alkalmazott feszültség 20 kV (RMS) 1 percig (± 5 s). Szigetelő betétes gépjármű esetén az alkalmazott feszültség 50 kV (RMS) 1 percig (± 5 s). A mérés során nem keletkezhet átütés, átívelés.



CEI-IEC 285/91

*Mérési pontok
(MSZ EN 61057 C függelék, C3 ábra)*

Mérőfeszültség: 20/50 kV, 50 Hz

Kosárbetét-vizsgálat

- Javított kosárbetét
 - elektródok közti átívelés-vizsgálat: megfelelt
 - **vízbe merítéses vizsgálat: nem felelt meg**



Kosárbetét-vizsgálat

- Átütés nyomai



Gém belső tisztítása

- periodikus tisztítás
- a csuklópont mérési kivezetésének ellenőrzése
- belső vezetékek csatlakozásainak vizsgálata



Javítási hibák



Laboratóriumi háttér fontossága

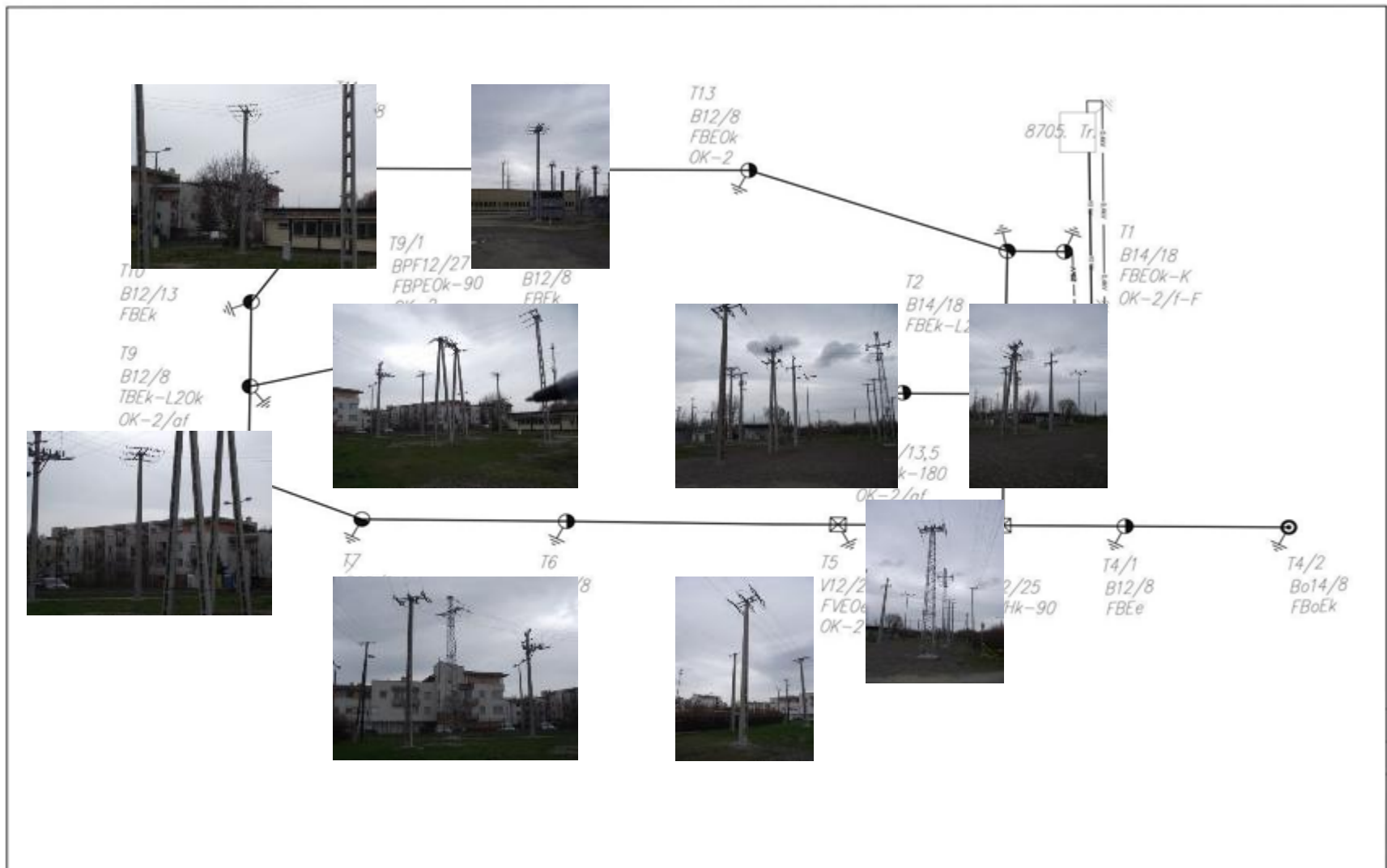
- MSZ EN ISO/IEC 17025
 - telephelyen kívüli mérés esetén speciális eljárások szükségesek (5.5.6. pont)
 - a mérés visszavezethetőségét minden esetben biztosítani kell (5.6)
 - környezet befolyásoló hatása
 - feszültségminőség, földelés minősége, eszközök szállításából fakadó pontatlanságok (rezgések hatására kialakuló részkisülések pl. transzformátorokban, kötések lazulása, stb.)

KöF FAM oktatás

- Példa gyakorlati feladatokra
 - Áramkötés-létesítés különböző oszlopképek esetén
 - Oszlopkapcsoló-karbantartás (csere) különböző oszloptípusokon
 - Nyitott és zárt oszlopkapcsoló
 - Munka portál oszlopon
 - Munka kombinált oszlopképen
 - Szigetelőcsere
 - Állószigetelő
 - Feszítőszigetelő
 - Kereszttartó-csere
 - Vonali bontási pont kialakítása







KöF FAM oktatás



KöF FAM oktatás



KöF FAM oktatás



KöF FAM oktatás



KöF FAM oktatás



KöF FAM oktatás



KöF FAM oktatás



KöF FAM oktatás



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Nemzetközi tapasztalatok



Köszönöm a figyelmet!



BME-NFL
Budapest
1111, Egrý József u. 18.
Telefon: +36 1 463 2784
Fax: +36 1 463 3231
E-mail: gocsei.gabor@vet.bme.hu



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Nagyfeszültségű Laboratórium

A feszültség alatti munkavégzés (FAM) élettani hatásai



Göcsei Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Laboratórium

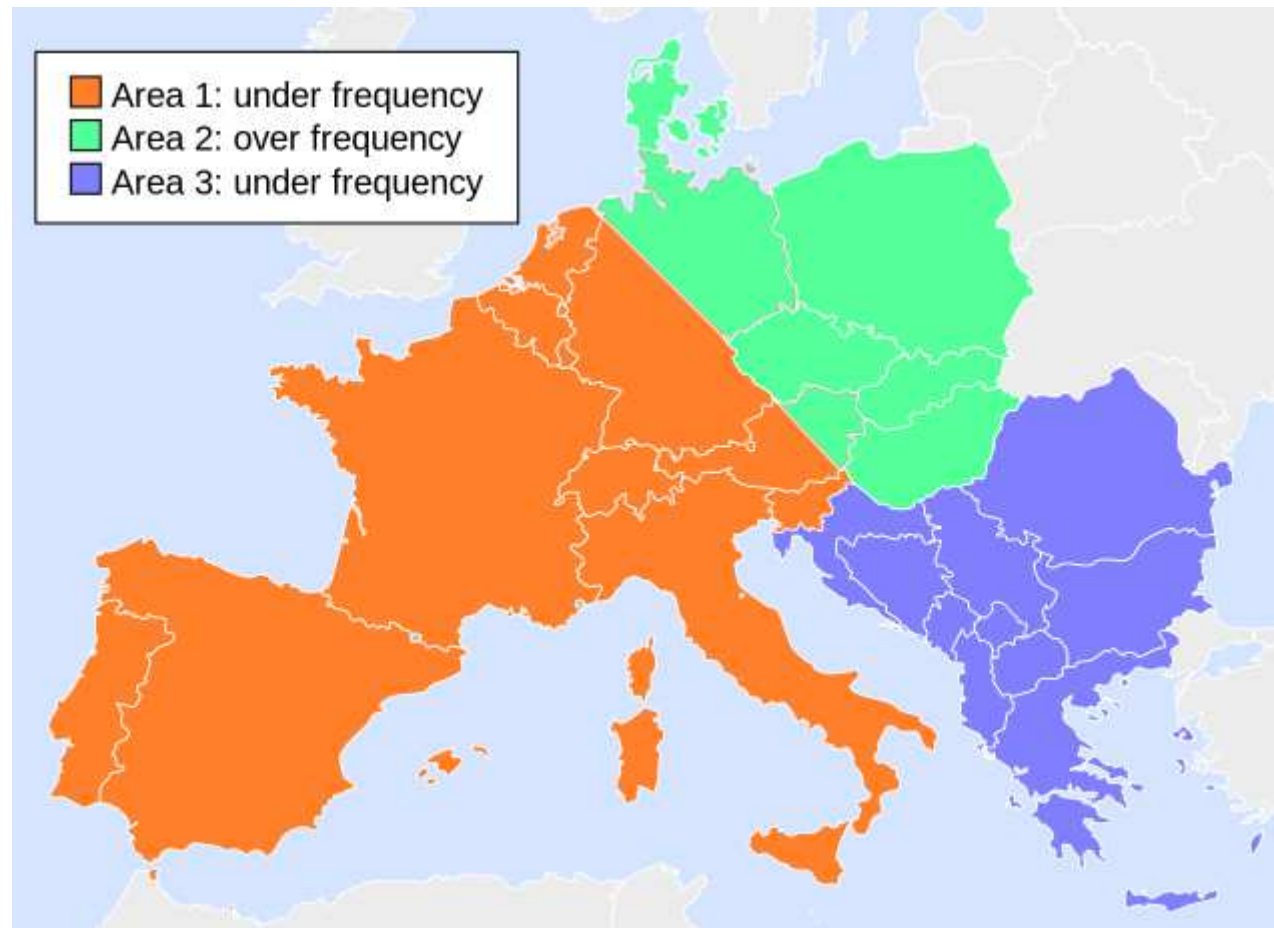
gocsei.gabor@vet.bme.hu

Feszültség alatti munkavégzés

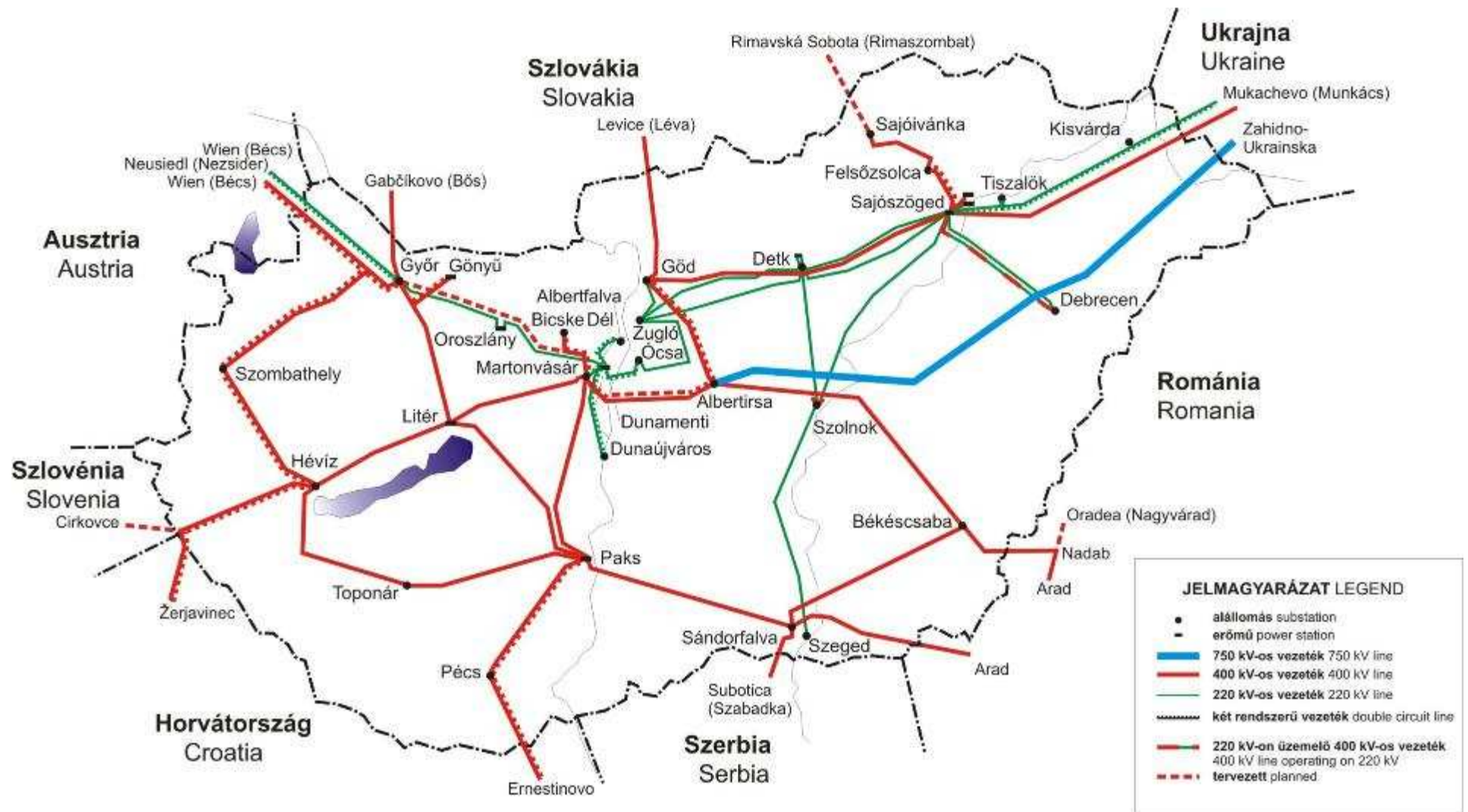
2006. november 4-én éjszaka egy németországi távvezeték kikapcsolása az európai rendszer szétszakadását okozta.



Feszültség alatti munkavégzés



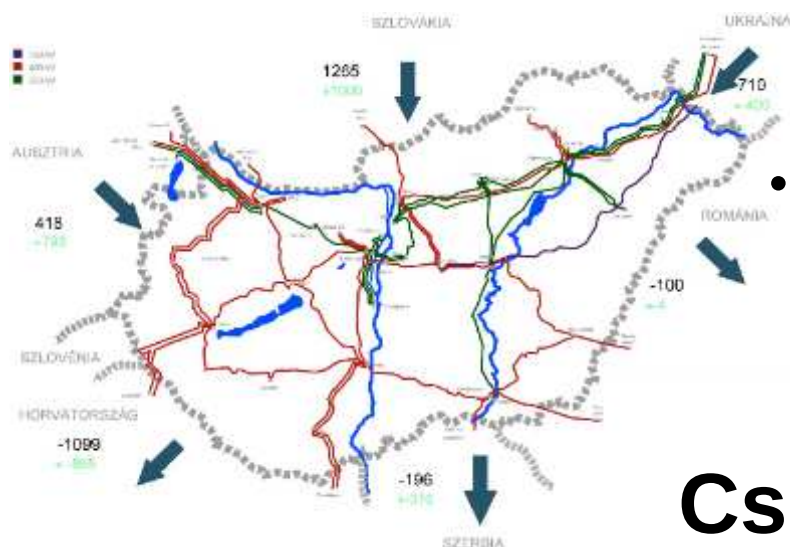
A magyar villamosenergia-átviteli hálózat



A magyar átviteli hálózat (2010)
The Hungarian transmission network (2010)

A téma fontossága

Érintett távvezeték kikapcsolása:



- a rendszer hurkoltsága csökken
- nő az üzemzavar kockázata (n-k-1 elv)



Csökken a VER stabilitása

A villamosenergia-piac növekedése miatt egyre kevésbé engedhető meg egy távvezeték kikapcsolása!

A legdrágább áram a nem szolgáltatott áram!

A feszültség alatti munkavégzés előnyei

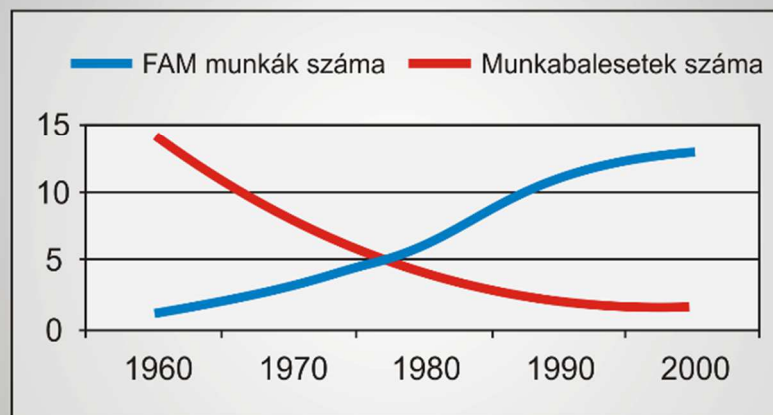
- Gazdasági előnyök:
 - közvetlenül számítható költségmegtakarítások,
 - közvetlenül nem forintosítható megtakarítások.
- Megnövelt hálózati rendelkezésre állás.
- Műszaki, jogi, oktatási.

Feszültség mentes munkavégzés szembeállítva a feszültség alatti munkavégzéssel

- **Feszültségmentes állapotban** akár légköri vagy kapcsolási eredetű túlfeszültség, akár induktív, kapacitív csatolások révén **baleset következhet be.**
- FAM technológia esetén **a dolgozó felkészült a potenciálon való munkavégzésre**, azaz a feszültség jelenlétére.

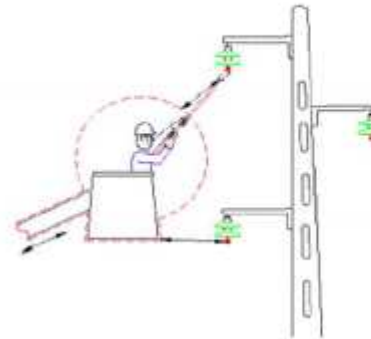
FAM munkavégzés előnyei

Nagyobb biztonság a munkavállalóknak



A FAM munkamódszerei

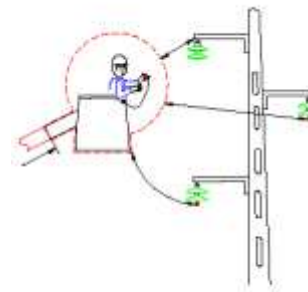
- Távolból végzett munka:



- Érintéssel végzett munka:



- Potenciálán végzett munka:

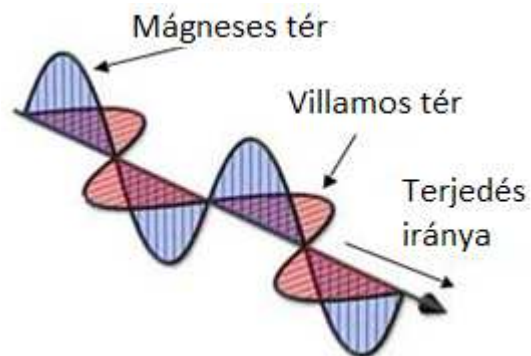


Élettani hatások

- Feszültség alatti munkavégzés: műszaki és gazdasági indokok
- Nagy áram – nagy mágneses tér
- Nagy feszültség – nagy villamos tér
- Villamos tér elleni védelem: vezetőképes öltözet (elektrosztatikus védőruházat)
 - elv: Faraday-kalitka
 - „Faraday-lyukak”

Sugárzások fajtái

- Ionizáló sugárzások
- Nem-ionizáló sugárzások
 - Villamos erőter
 - Mágneses erőter
 - Elektromágneses tér



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

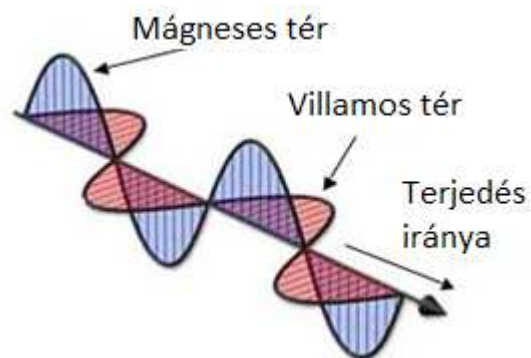
Villamos és mágneses erőter

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

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

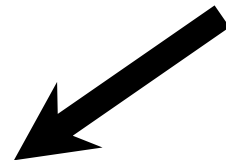
$$c = \lambda f$$

Hullámhosszra vonatkozó
korlát

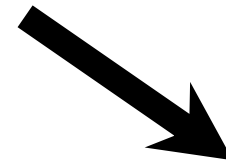


Forrás: <http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/862.06/students/alki/GA.html>

ELEKTROMÁGNESES KÖRNYEZETVÉDELEM



Biológiai hatások



EMC

Biológiai hatások

- Kisfrekvenciás mágneses erőterek hatásai
- Elektrosztatikus erőterek és kisülések hatásai
- Rádiófrekvenciás erőterek hatásai
- Villámcsapások élettani hatásai

Erőterek biológiai hatásai

- rák
- szaporodás, fejlődés
- neurobiológiai hatások



KiF FAM – áttekintés



KiF FAM – áttekintés

- 1996 óta minden lehetséges KiF karbantartási munkát FAM-ban végeznek a szakemberek



KiF FAM

Napjainkban a leggyakoribb KiF FAM műveletek:

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



KöF FAM - példa

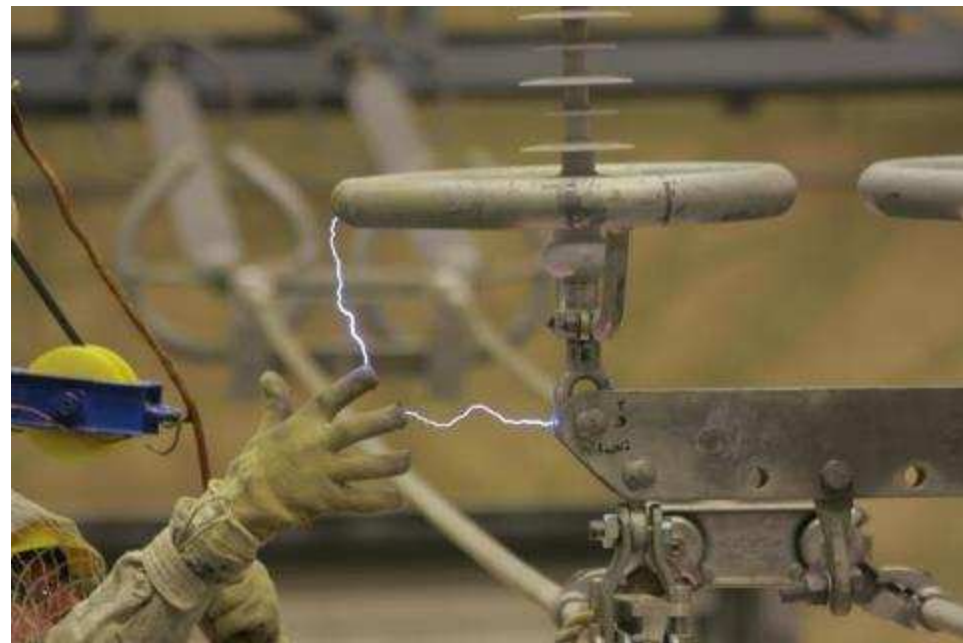




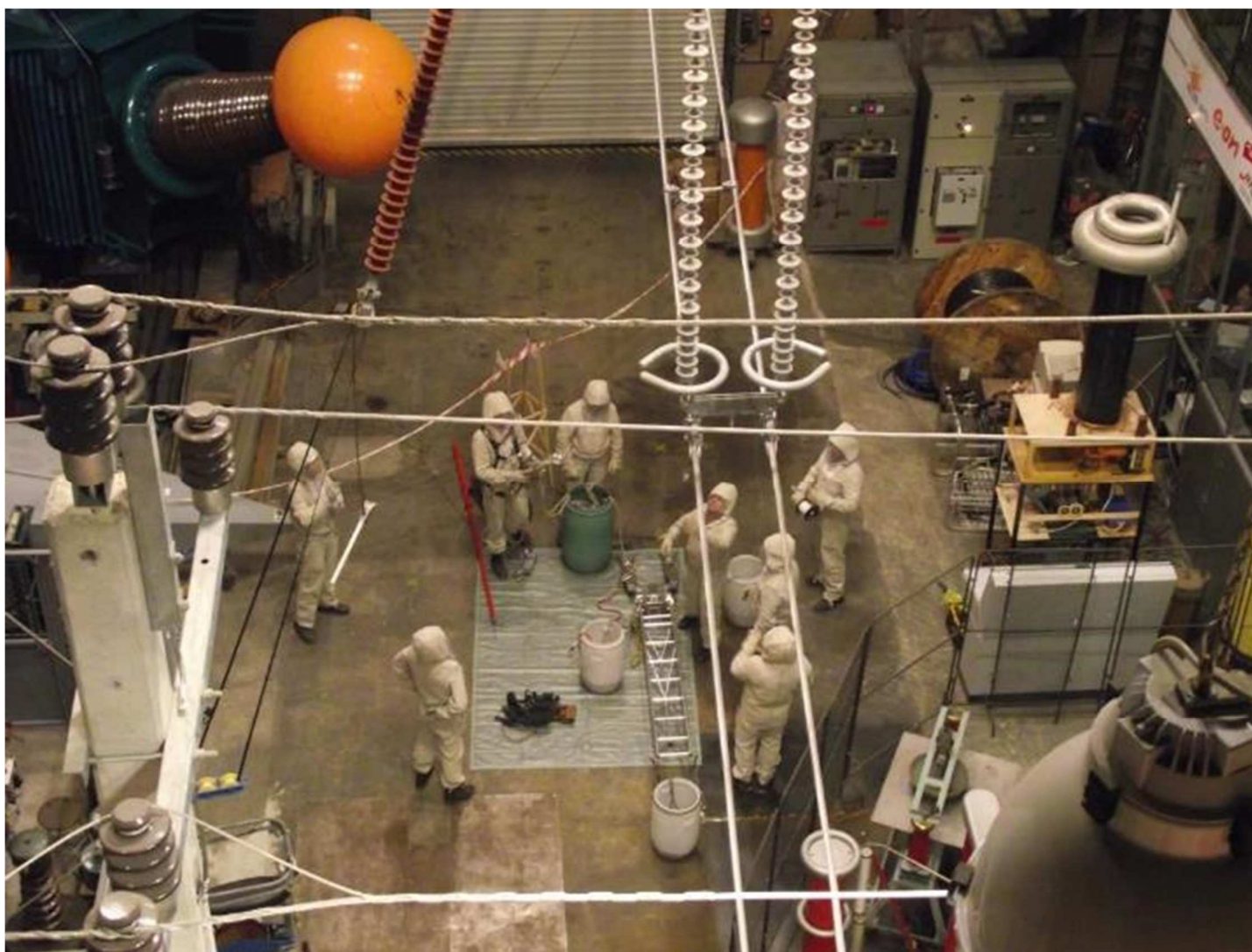


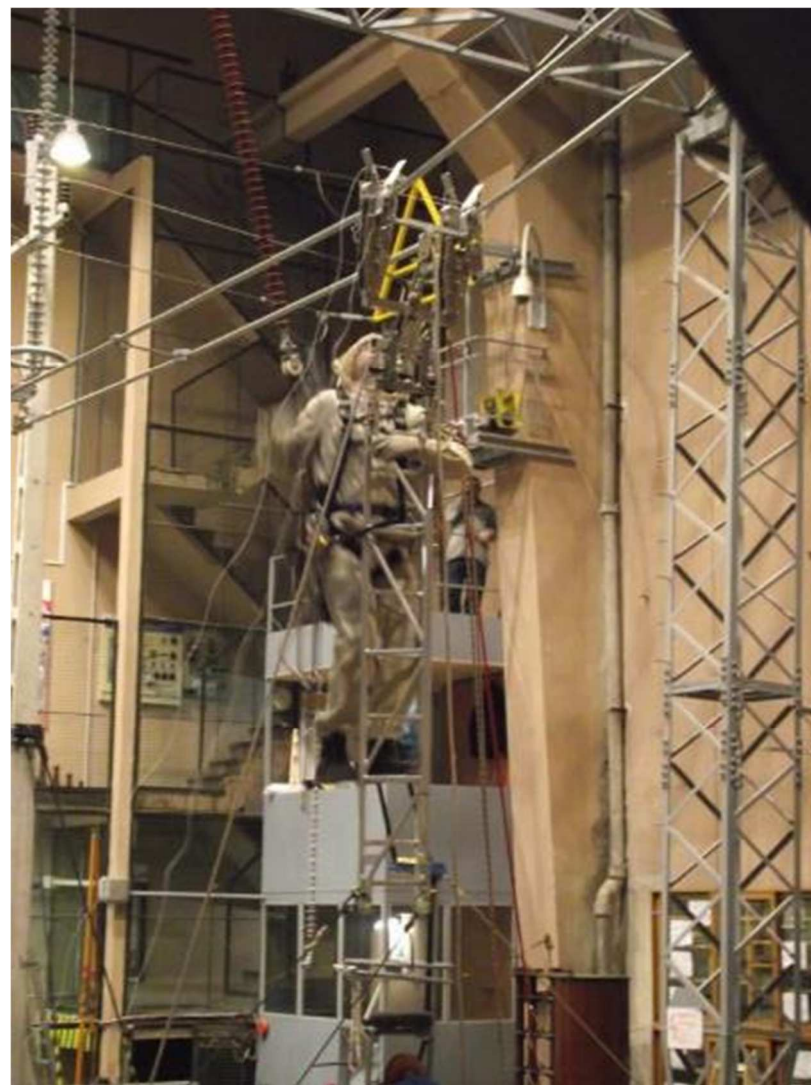


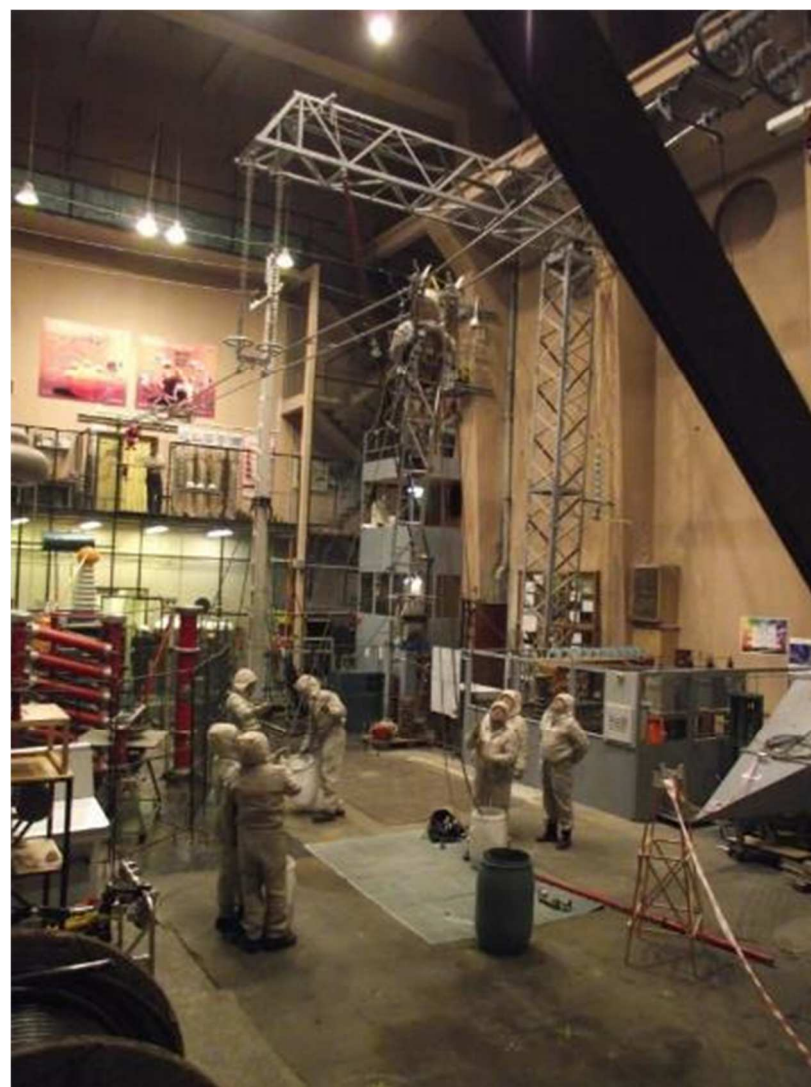
Potenciálon végzett munka















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.

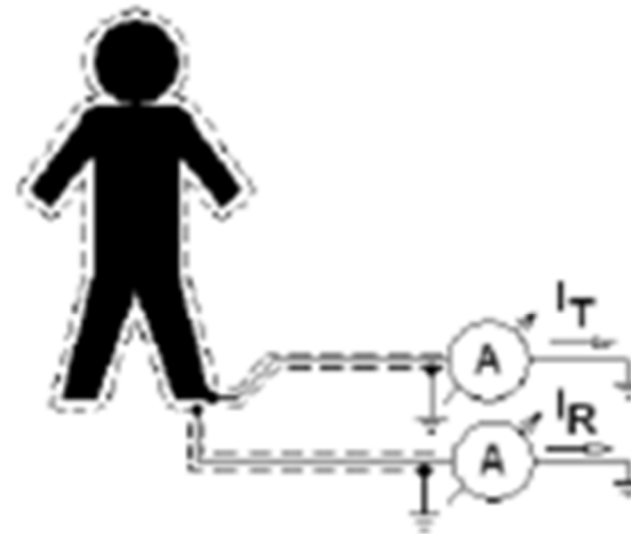
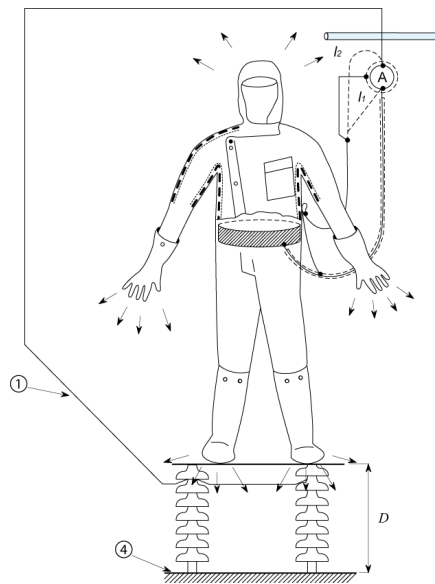
- Faraday-kalitka
- „Faraday-lyukak”
- Archáló
- NaF FAM
 - Villamos tér
 - Mágneses tér



Vezetőképes öltözetek 2.



Mérési elrendezés



Határértékek

	Villamos térerősség, 2010-ig [kV/m]	Villamos térerősség, 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)

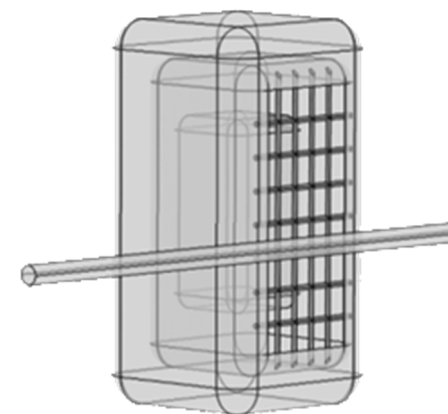
Vezetőképes öltözetek 1.

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



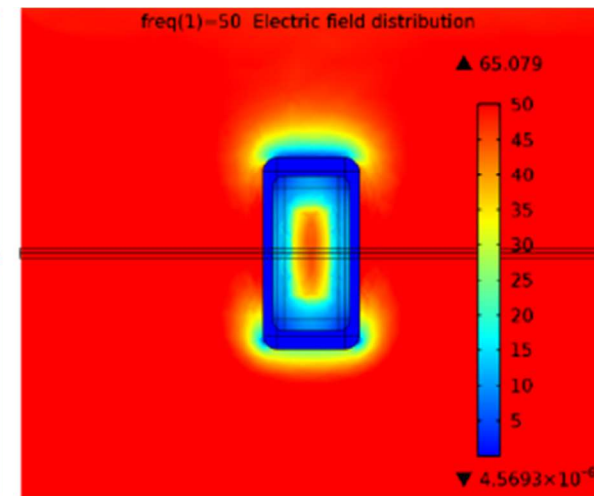
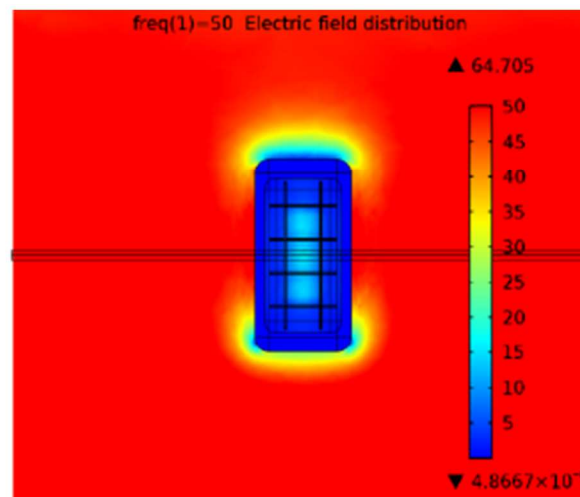
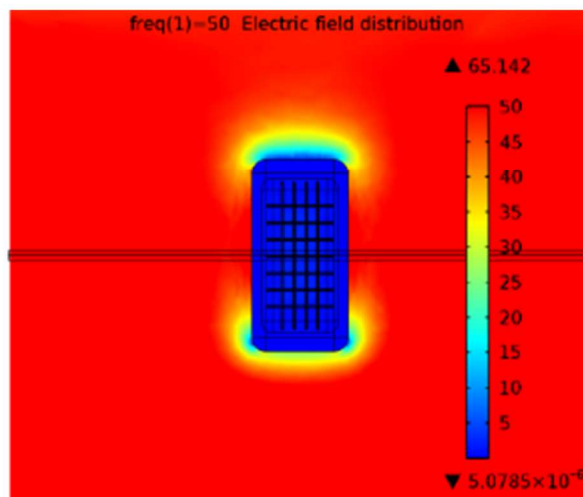
Villamos téreloszlás-vizsgálat

- Számítások
- Modellelés
 - CAD
- Szimuláció
 - végeselem-módszer
 - archáló
- Laboratóriumi méréssorozat
 - ellenőrzés



Téreloszlás vizsgálata 1.

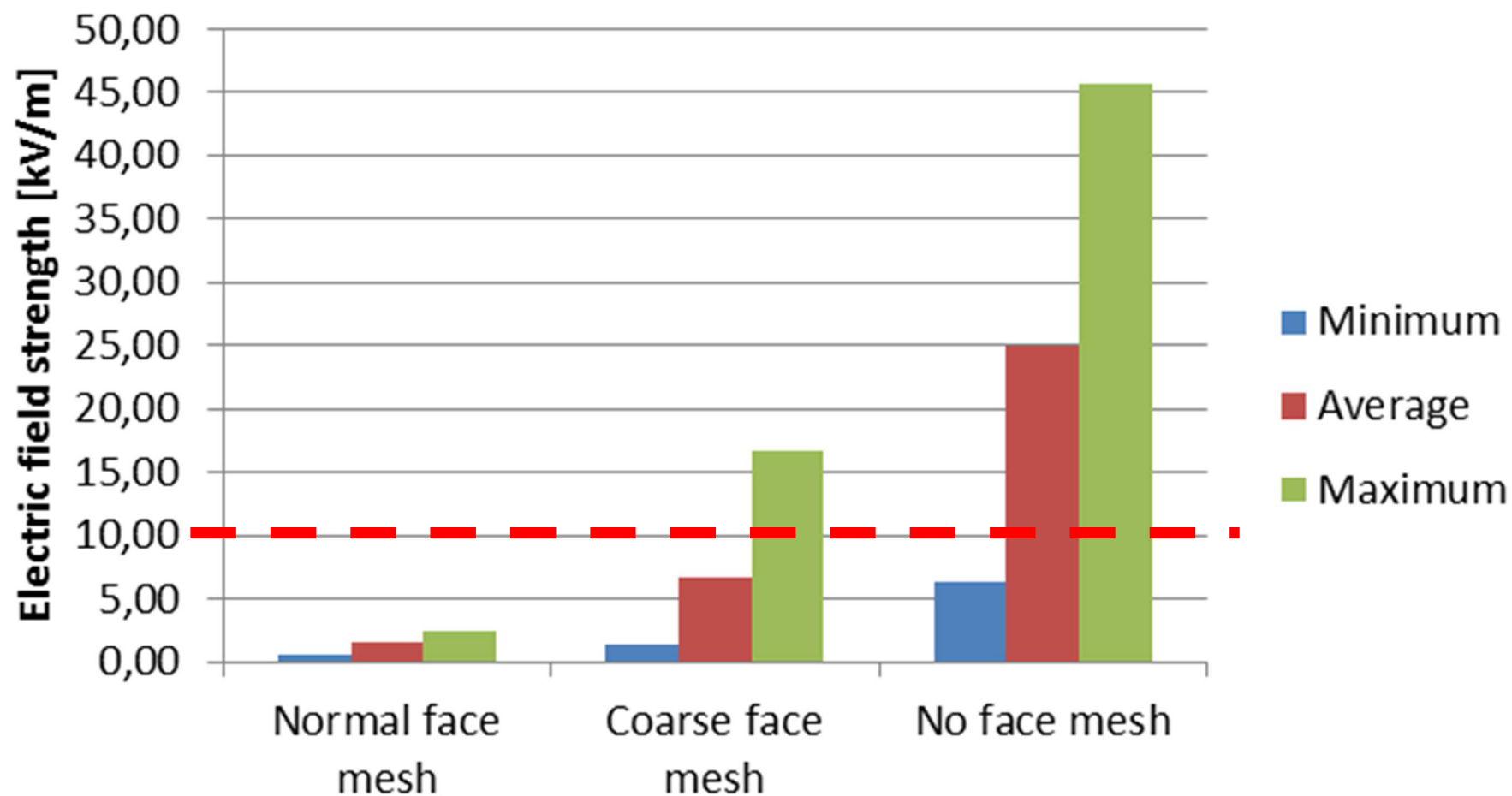
- névleges vonali feszültség: 400 kV
- távolság a sodronytól: 50 cm
 - potenciálkampó csatlakoztatása előtt
- sűrű osztású archáló, átlagos osztás: 2,96 cm
- ritka osztású archáló, átlagos osztás: 7,13 cm
- archáló nélküli vezetőképes öltözet



Villamos térerősség-értékek 1.

	Sűrű osztású archáló	Ritka osztású archáló	Archáló nélkül
Minimum	0,62	1,49	6,38
Maximum	2,47	16,73	45,68
Átlag	1,59	6,75	24,89

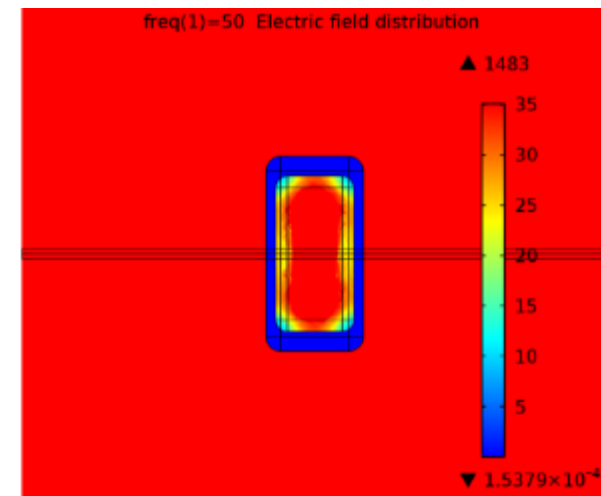
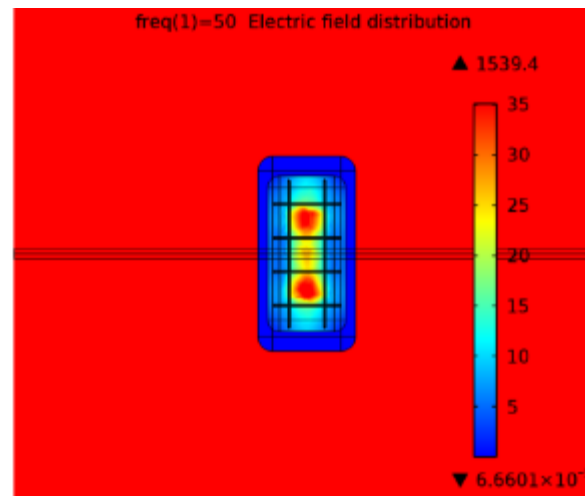
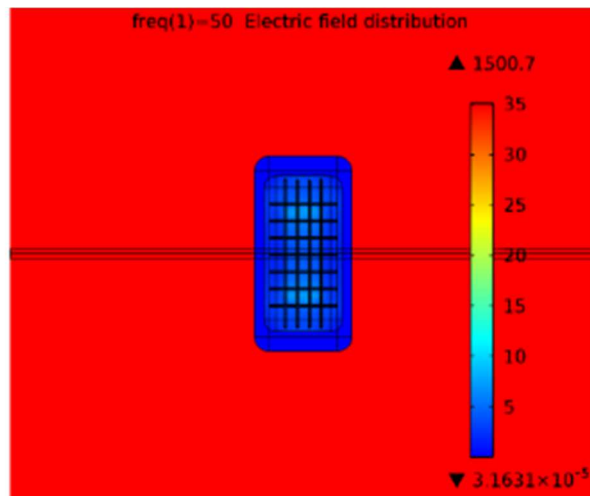
Villamos térerősség 1.





Téreloszlás vizsgálata 2.

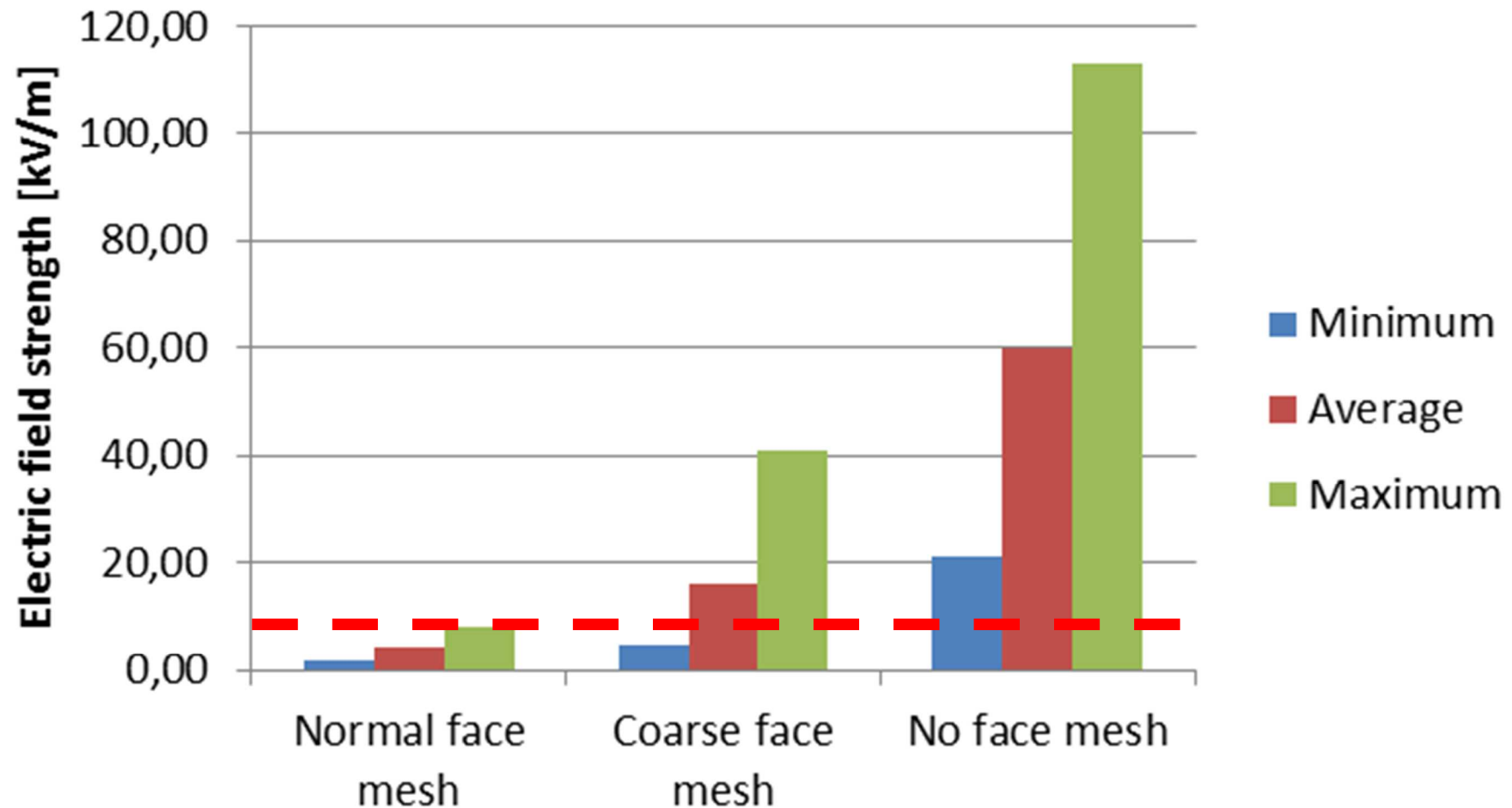
- névleges vonali feszültség: 400 kV
- távolság a sodronytól: 10 cm
 - potenciálkampó csatlakoztatva
- sűrű osztású archáló, átlagos osztás: 2,96 cm
- ritka osztású archáló, átlagos osztás: 7,13 cm
- archáló nélküli vezetőképes öltözet



Villamos térerősség-értékek 2.

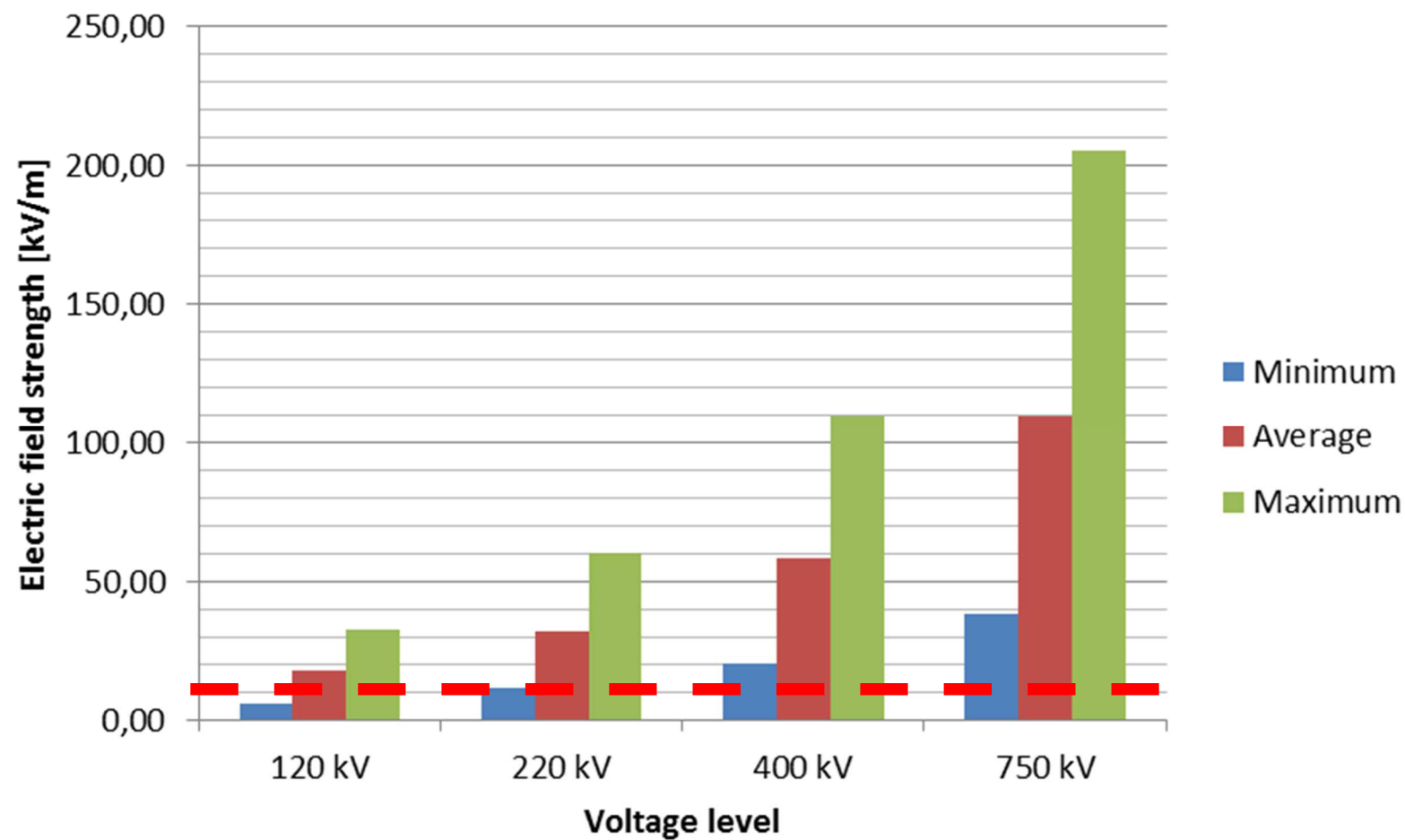
	Sűrű osztású archáló	Ritka osztású archáló	Archáló nélkül
Minimum	1,70	4,53	21,05
Maximum	8,06	41,03	112,93
Átlag	4,17	16,23	60,00

Villamos térerősség 2.

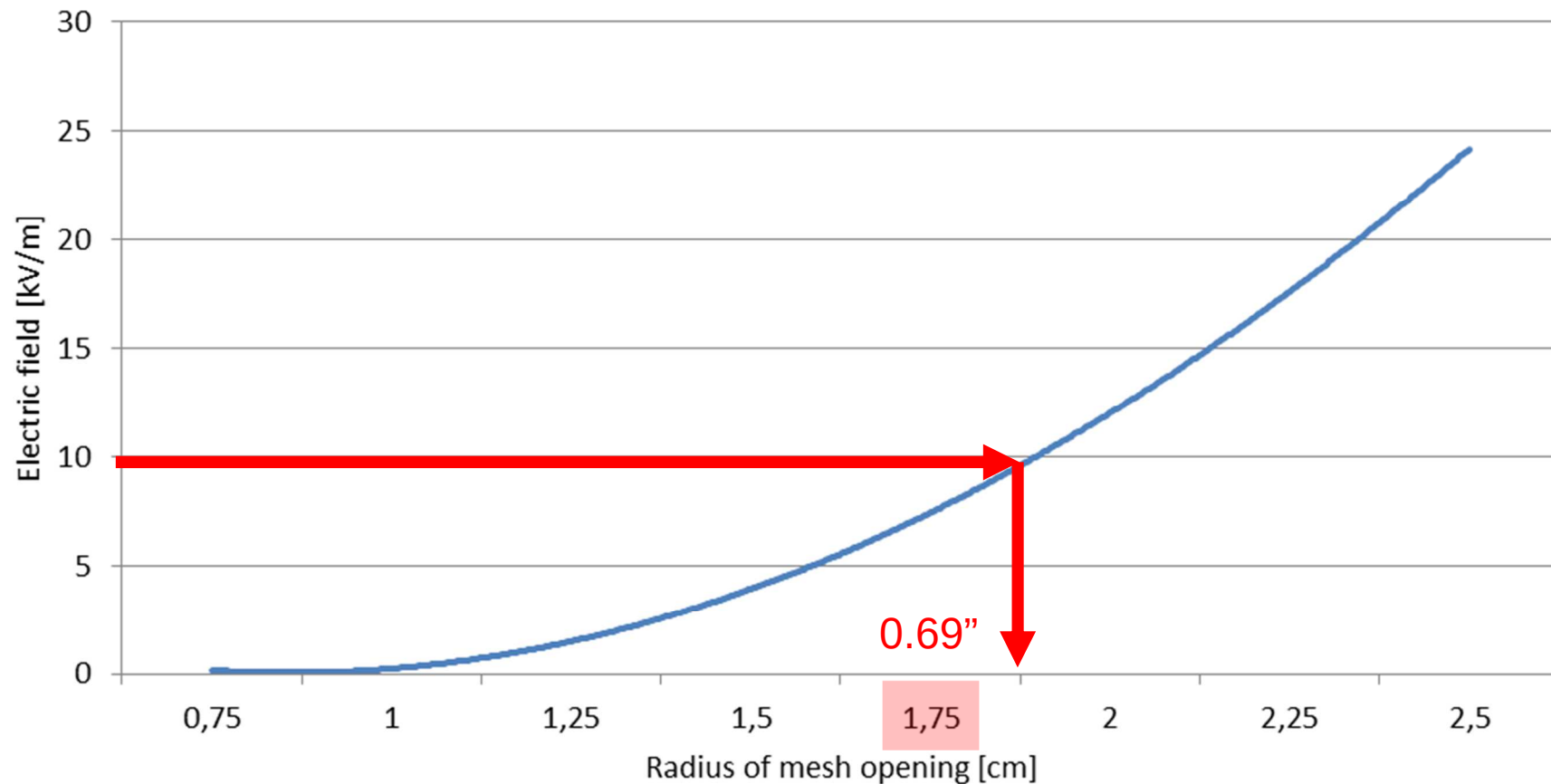




Villamos térerősség archáló nélkül



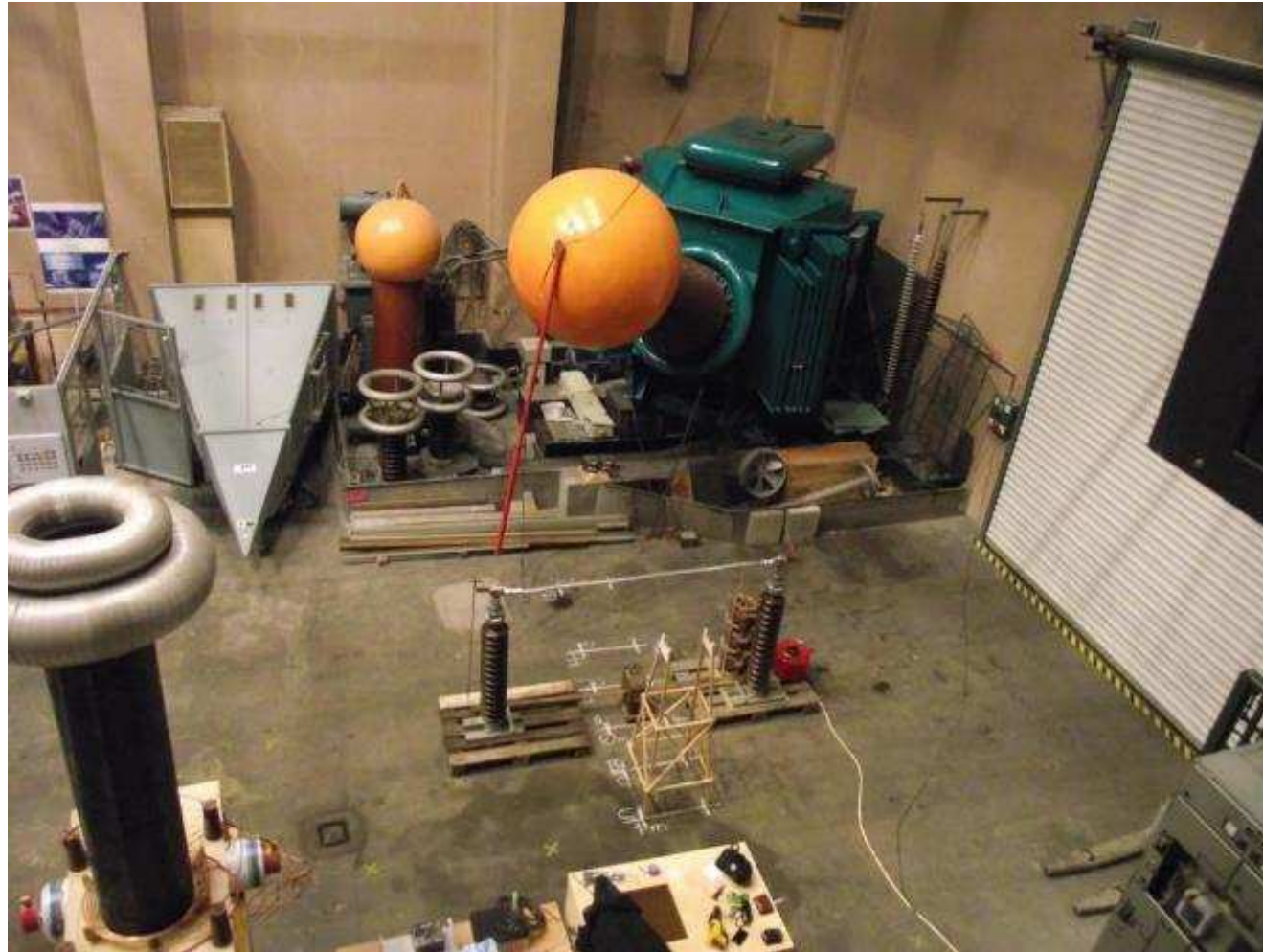
Villamos tér a rácsosztás függvényében





Az archáló alkalmazásának kiemelt szerepe van a munkavégzés során!

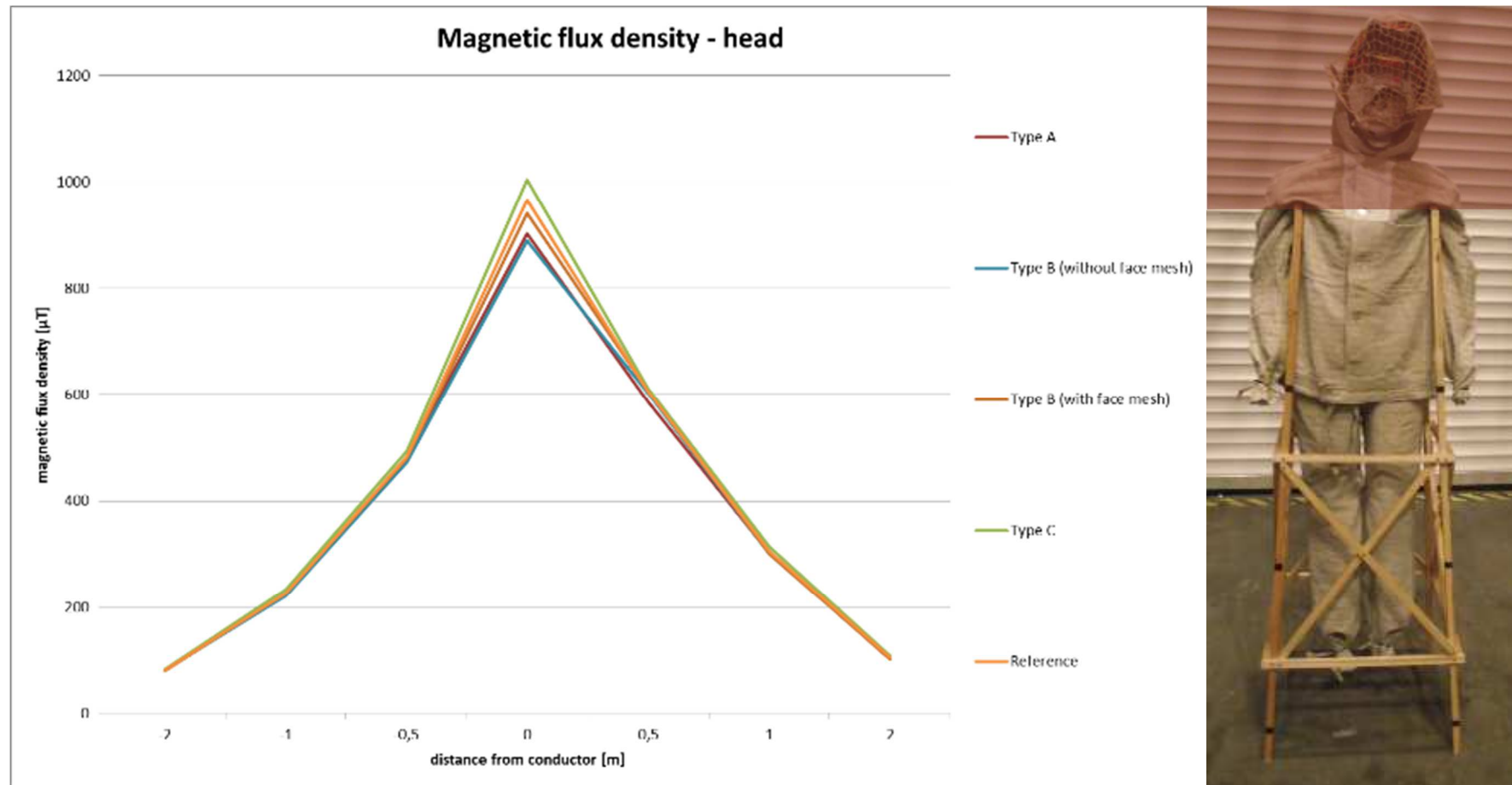
BME-NFL nagyáramú próbapálya



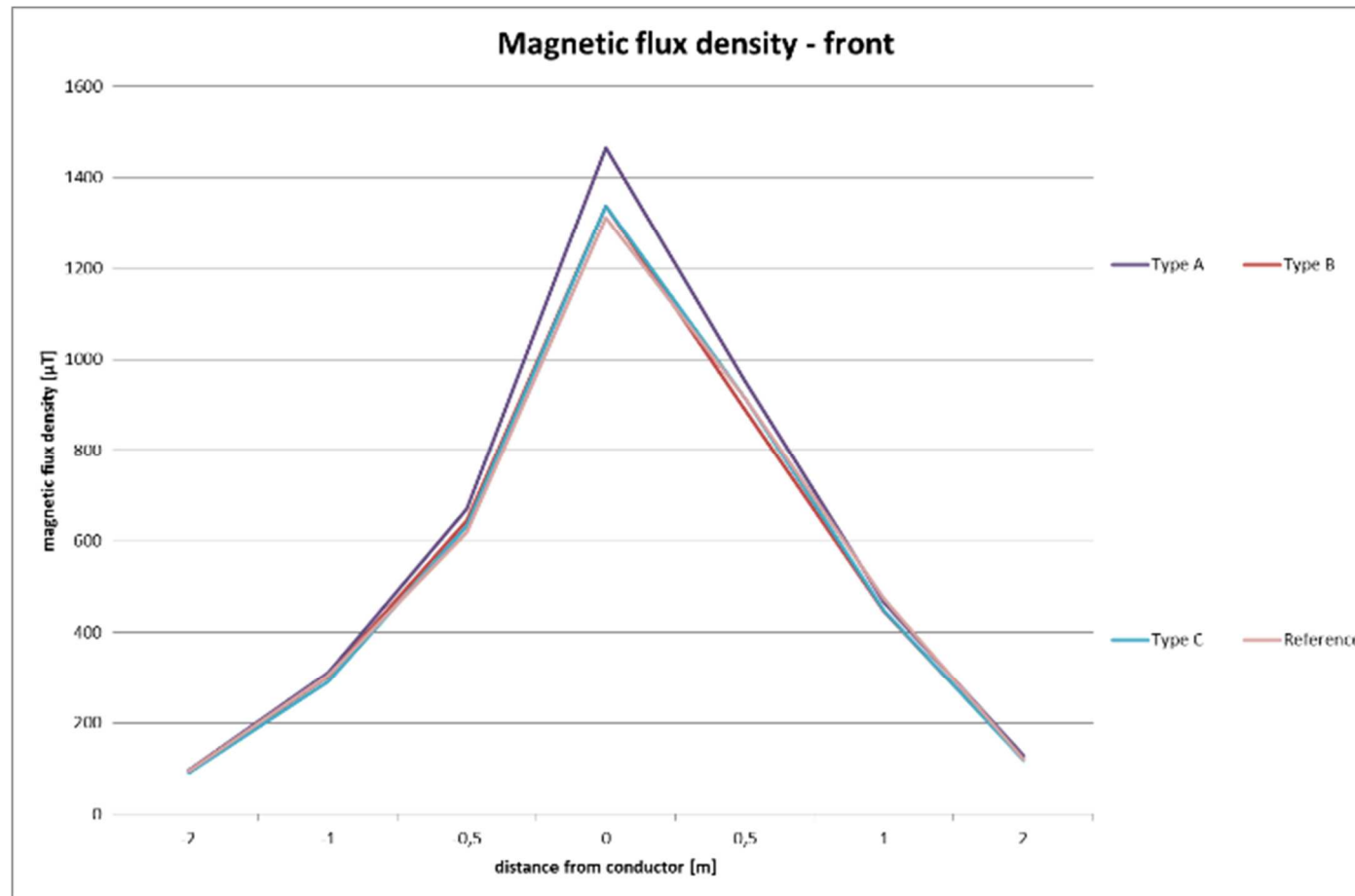
Mágneses térrel szembeni árnyékoló képesség

- 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**

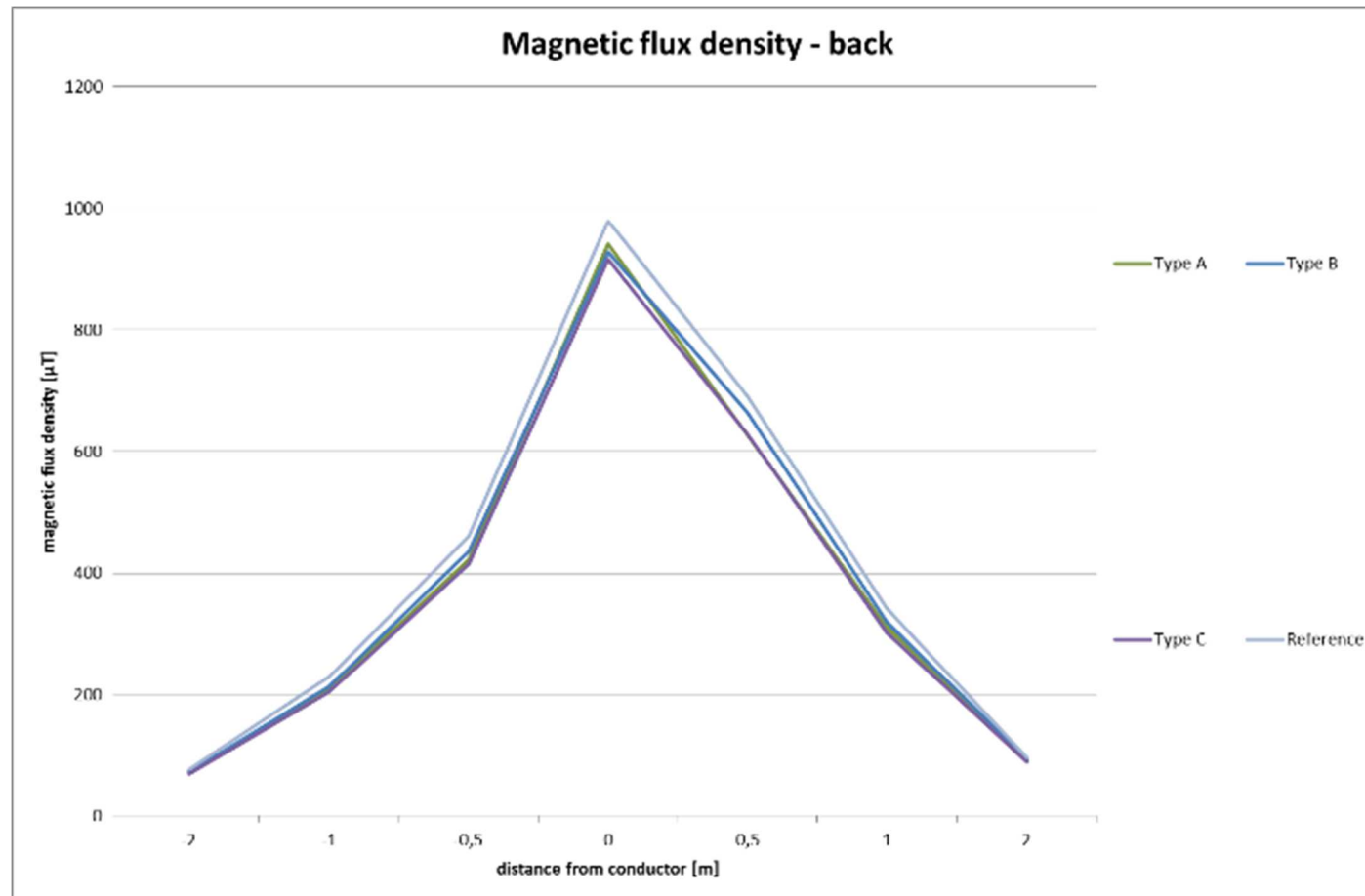
Mágneses árnyékolás - fej



Mágneses árnyékolás - törzs



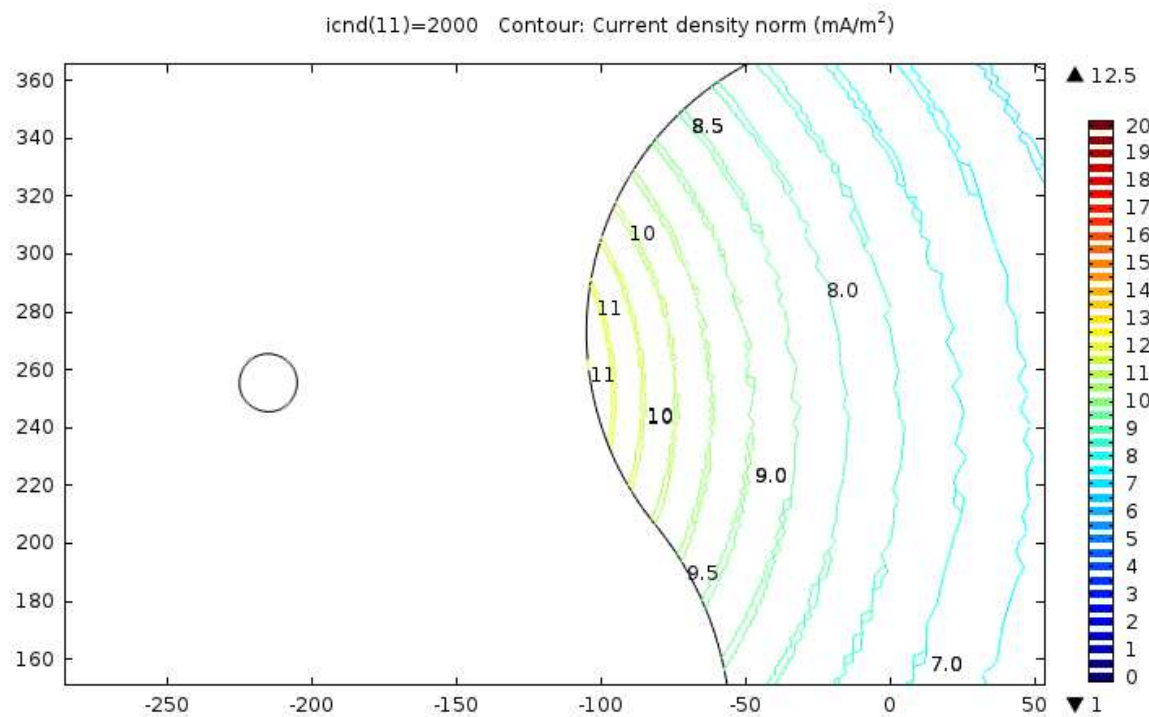
Mágneses árnyékolás - hát



Magyarországi példa

- Jelentős É-D irányú transzport
- Névleges feszültség: 400 kV
- Hatásos teljesítmény (P) átlagosan **1000 MW felett, de gyakran 1200 MW**
- Meddő teljesítmény (Q): 50-80 Mvar
- Geometria: kettős köteg

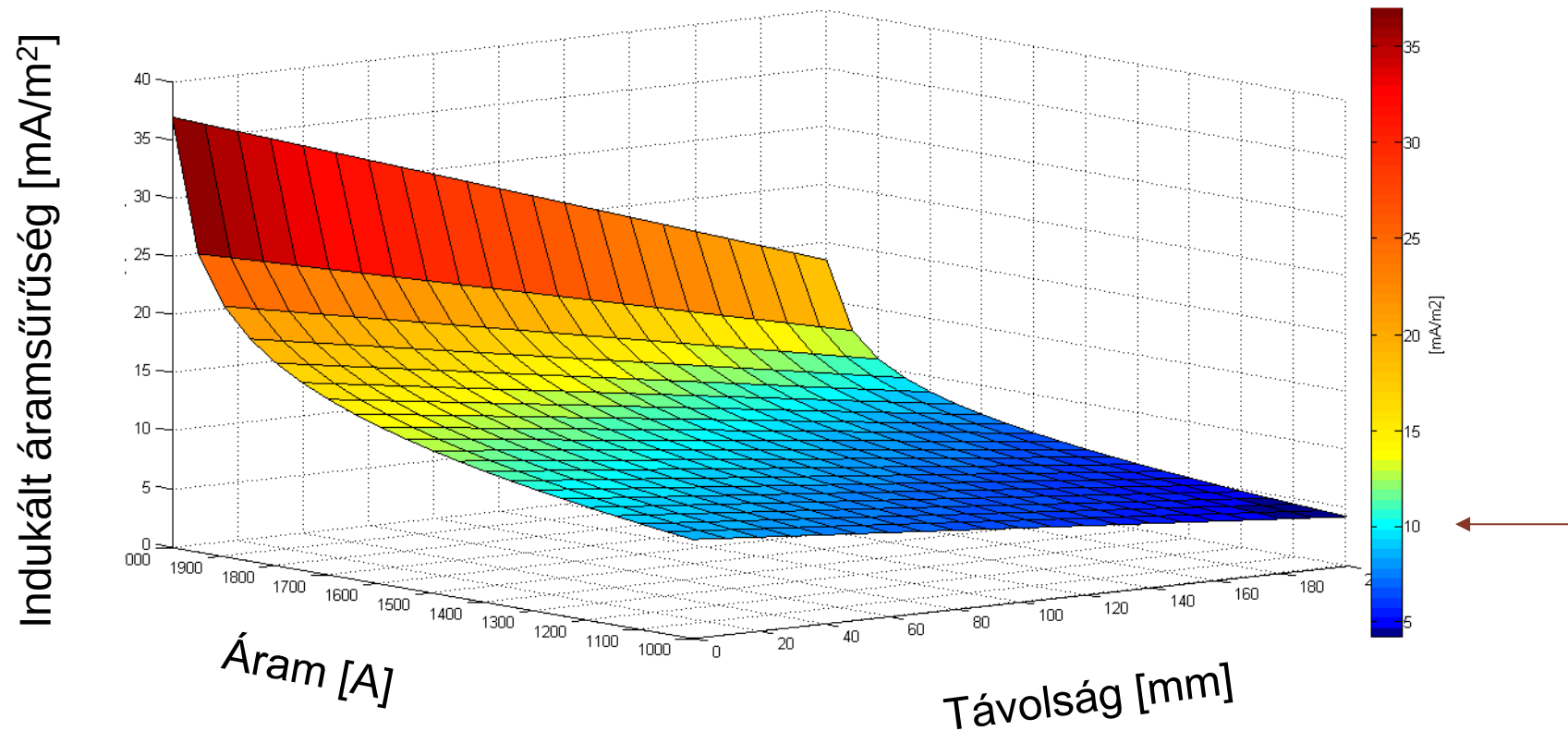
Indukált áramsűrűség



**Határérték:
10 mA/mm²**

- Emberi test 3D CAD modellje (IEC 62 233)
- Az indukált áramsűrűség a meghatározó
- Indukált áramsűrűség vizsgálata a fejen

Szimulációs eredmények



Köszönöm a figyelmet!



BME-NFL
Budapest
1111, Egry József u. 18.
Telefon: +36 1 463 2784
Fax: +36 1 463 3231
E-mail: gocsei.gabor@vet.bme.hu



A DINAMIKUS TÁVVEZETÉK-TERHELHETŐSÉG (DLR) ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK FELTÉTELEI

A FENNTARTHATÓ ENERGETIKA VILLAMOS RENDSZEREI

2016. tavasz

Balangó Dávid
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport
balango.david@vet.bme.hu

Változások a villamos energia átvitelben, elosztásban

Problémák

- Elosztott termelés terjedése
- Megújuló energia felhasználása
- Egyre növekvő energiaéhség
- Öregedő hálózat
- Gazdasági nehézségek



Megoldás ?

A terhelhetőség növelésének lehetőségei

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

A terhelhetőség növelésének lehetőségei

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

Távvezetékek terhelhetősége

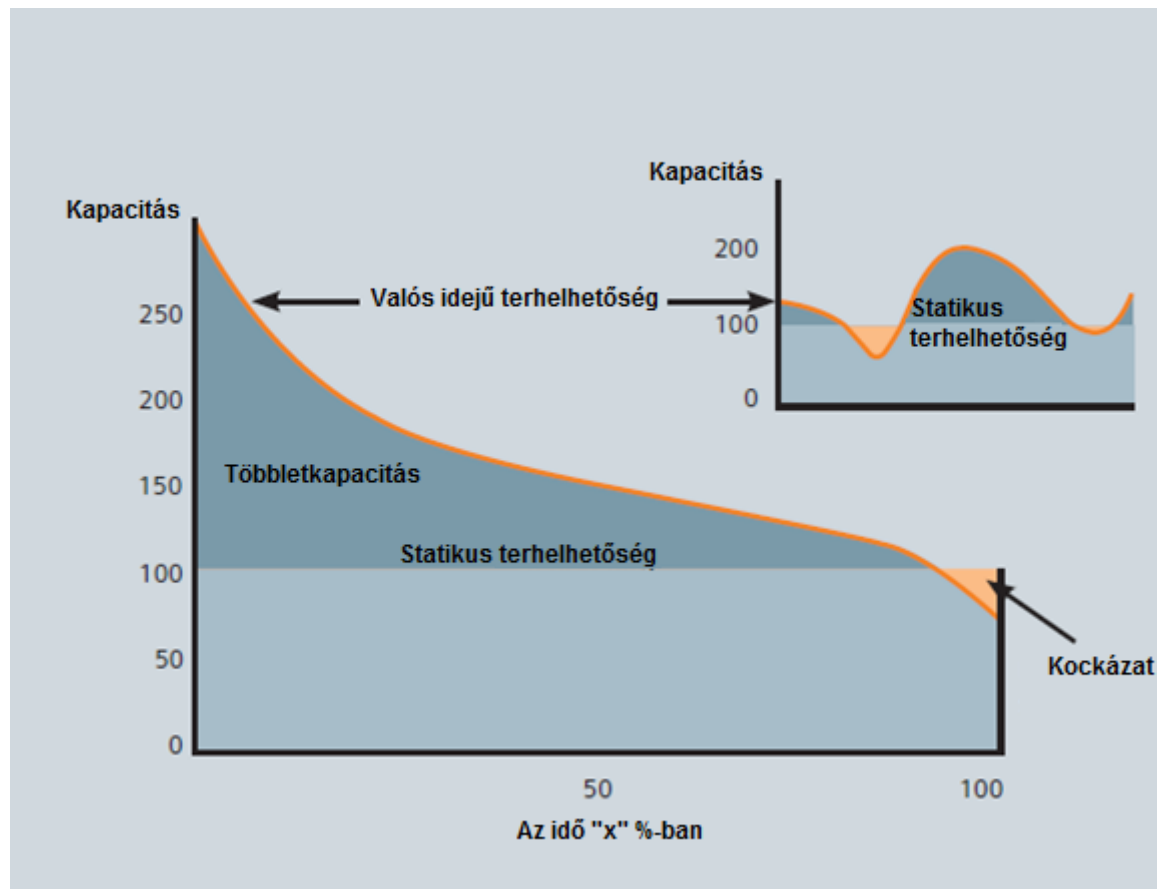
Véges terhelhetőség:

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

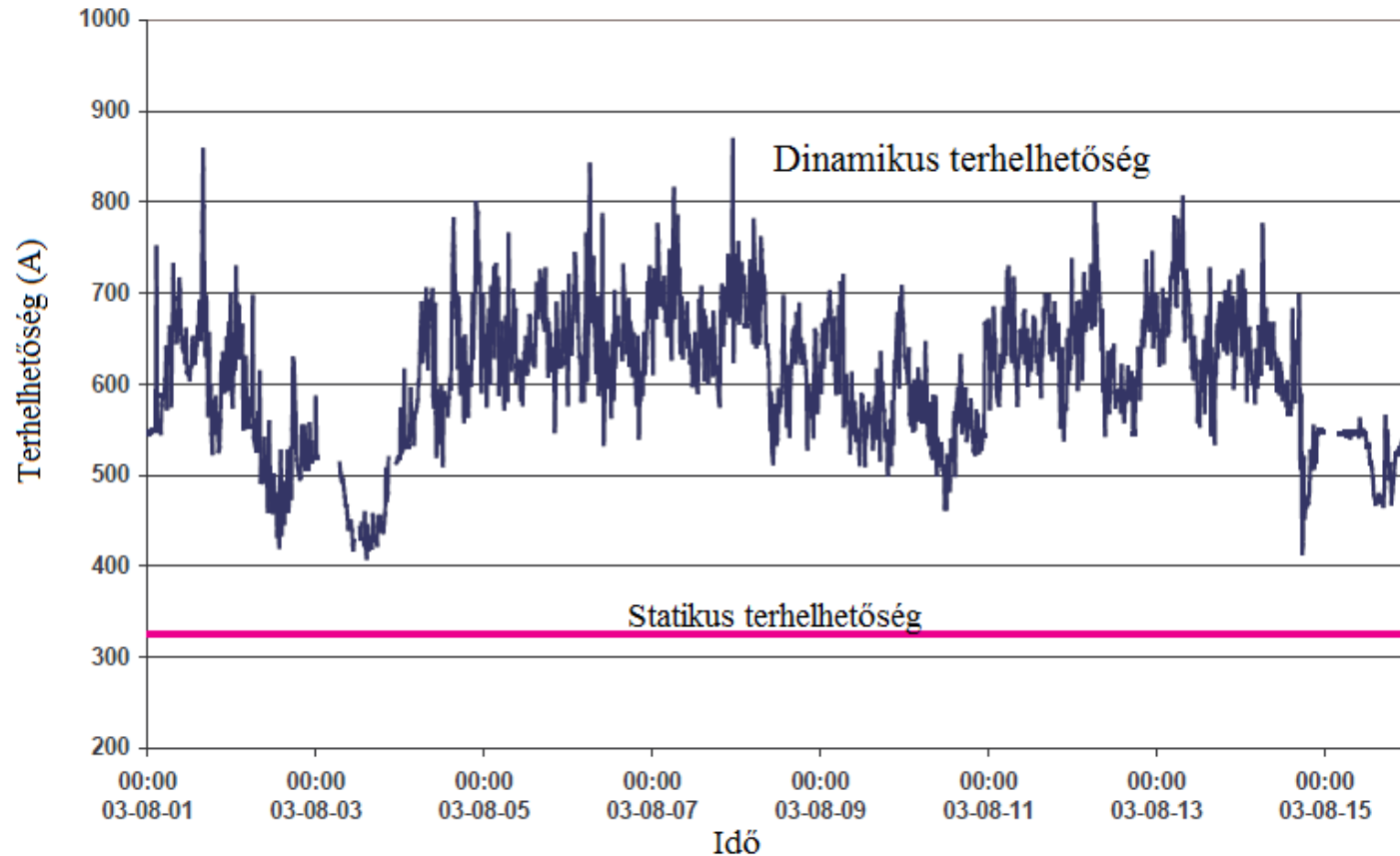
Távvezetékek Dinamikus Terhelhetősége

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

A Dinamikus Terhelhetőségben rejlő lehetőségek



A dinamikus terhelhetőség



A DLR előnyei

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



Extrém időjárási körülmények

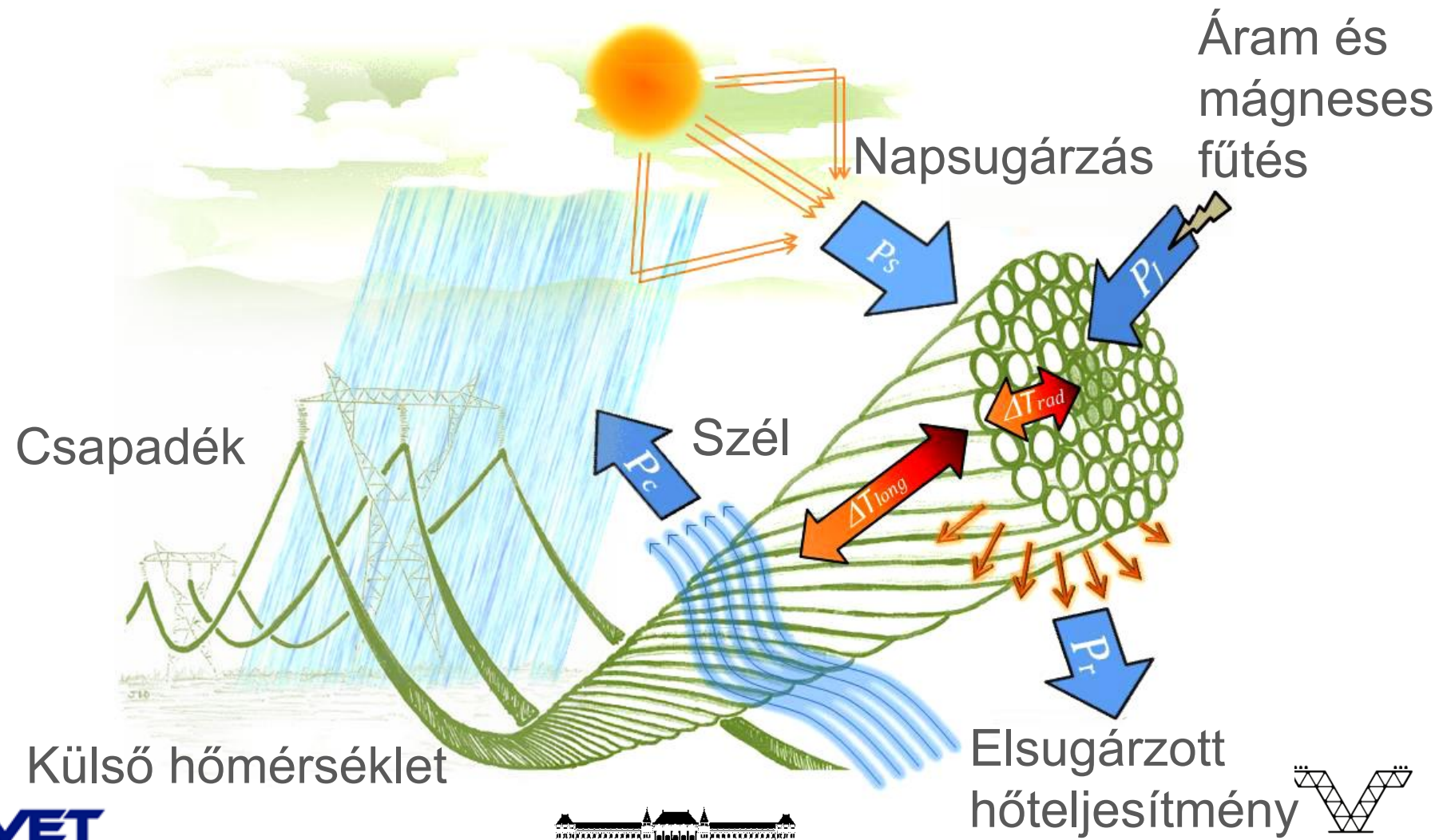
- Egyre gyakrabban előforduló események
 - Jég, hó, egyéb pótteher lerakódása a sodronyok felületén
 - Mechanikus úton előídezett belógásnövekedés
- A DLR lehetséges felhasználása
 - Csapadék lerakódásának megakadályozása
 - A közelgő veszély előre jelzése – előzetes felkészülés annak elhárítására
 - Együttműködés a helyi meteorológiai szolgálattal



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 valós idejű adatgyűjtést célzó és elősegítő eszközök kiválasztása
5. A rendszer kiépítése

A sodronyt érő elsődleges hatások



A sodrony termikus viselkedését befolyásoló egyéb hatások

- Koronakisülés – fűtés
 - Feszültségszint 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

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

A sodronyt termikus viselkedésére ható tényezők hatása

Befolyásoló tényező	Változás mértéke	Terhelhetőségre gyakorolt, becsült hatás
Külső hőmérséklet	2 °C csökkenés	+ 2 %
	10 °C csökkenés	+ 10% ...12 %
Napsugárzás	Felhősödés	+ - 1..2 %
	Teljes napfogyatkozás	+ 18 %
Szél	1 m/s-os sebességnövekedés 45 °-os szög	+ 35 %
	1 m/s-os sebességnövekedés 90 °-os szög	+45 %

A DLR számítása

- A dinamikus terhelhetőség számítása a távvezeték sodronyainak termikus viselkedésén alapul
- A sodronyok mindenkor i 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 sodronyhőmérséklet megjelenése a számításban

- Aktuális sodronyhőmérséklet ismerete szükséges az előrejelzéshez és a pontos számításokhoz
- A sodronyhőmérséklet mérése történhet lokálisan, szenzorok segítségével
- Oszlopközök átlagos sodrony hőmérséklete számítható belógás alapján
 - Probléma: A belógás – sodronyhőmérséklet összefüggés nem triviális
 - Szükséges a sodronyok mechanikai viselkedését is ismerni
 - Előzetes sodrony diagnosztika és felmérés (tartós folyás, kúszás, elaszticitás, hőtágulási tulajdonságok stb. Megállapítása)
- A sodrony legnagyobb megengedett hőmérséklete határozza meg a terhelhetőséget

A DLR számításához, előrejelzéséhez szükséges főbb bemeneti adatok biztosítása

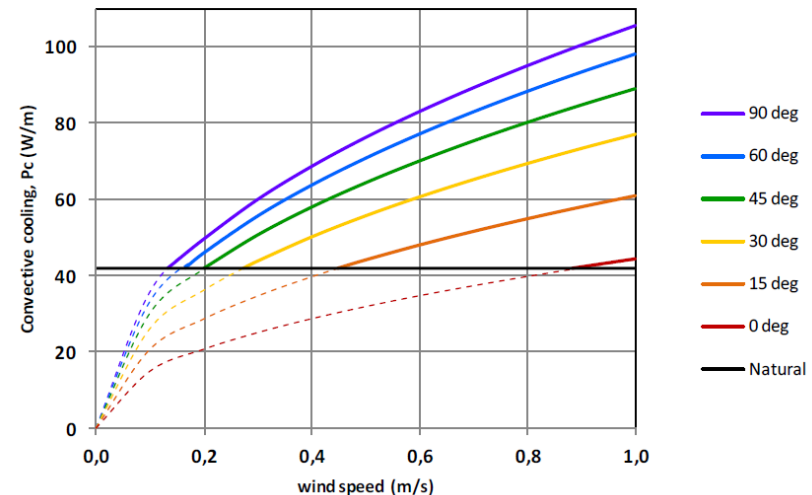
- Távvezeték és sodrony adatok
- Aktuális áramterhelés
- Belógás és sodronyhőmérséklet mérése a megfelelő szenzorok segítségével
- Külső időjárási paraméterek mérése, analízise, és előrejelzése

A sodronyt érő konvektív hűtés hatása

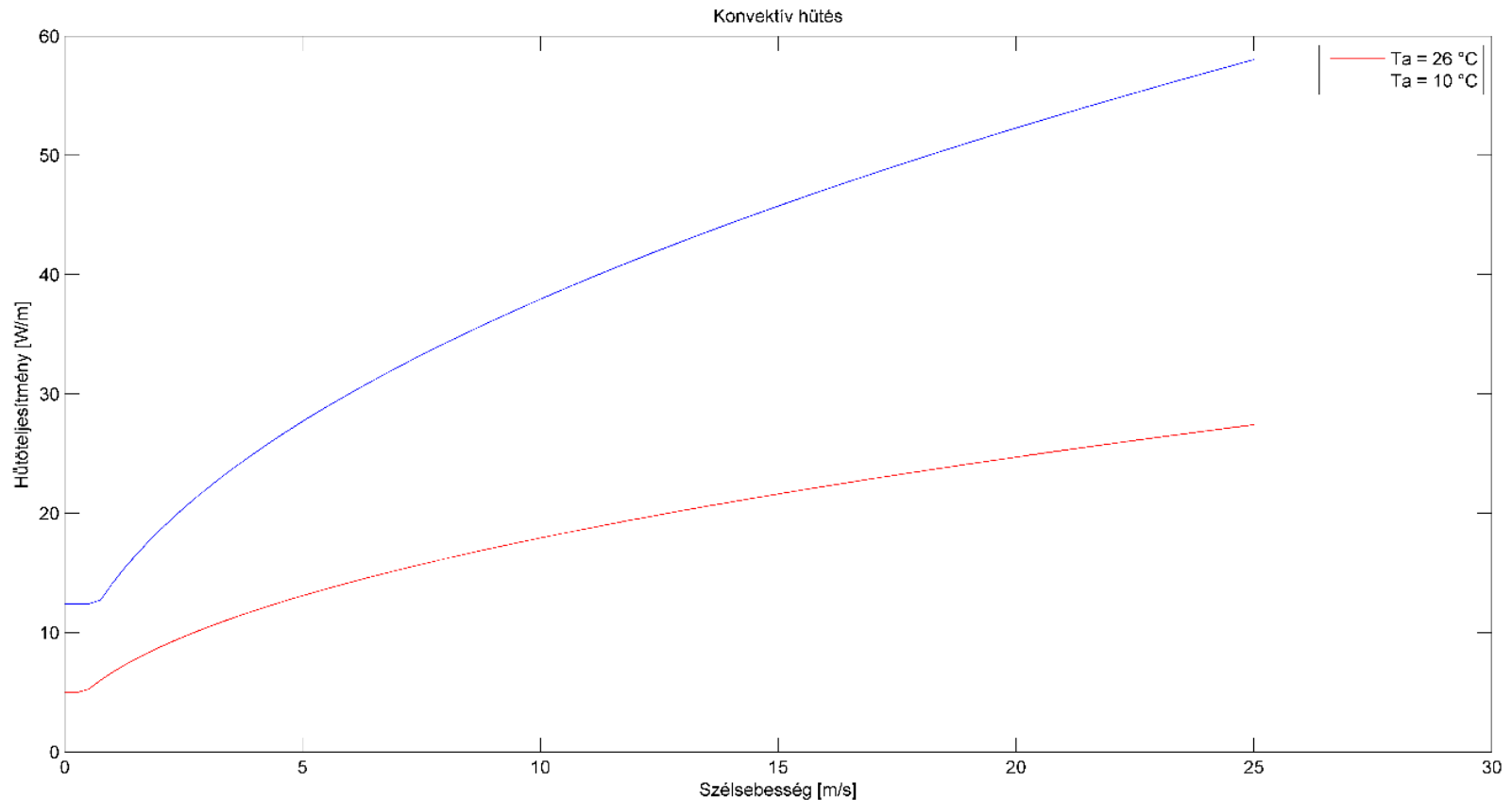
- Természetes és mesterséges konvekció számítása
 - Áramló közeg sebessége
 - Áramló közeg relatív áramlási iránya
 - A közeg fizikai paraméterei
 - A sodrony fizikai paraméterei, felületi tulajdonágai

$$P_c = \pi \cdot \lambda_f \cdot (T_s - T_a) \cdot Nu$$

Convective cooling at low wind speeds for various attack angles (Drake example)



A sodronyt érő konvektív hűtés hatása



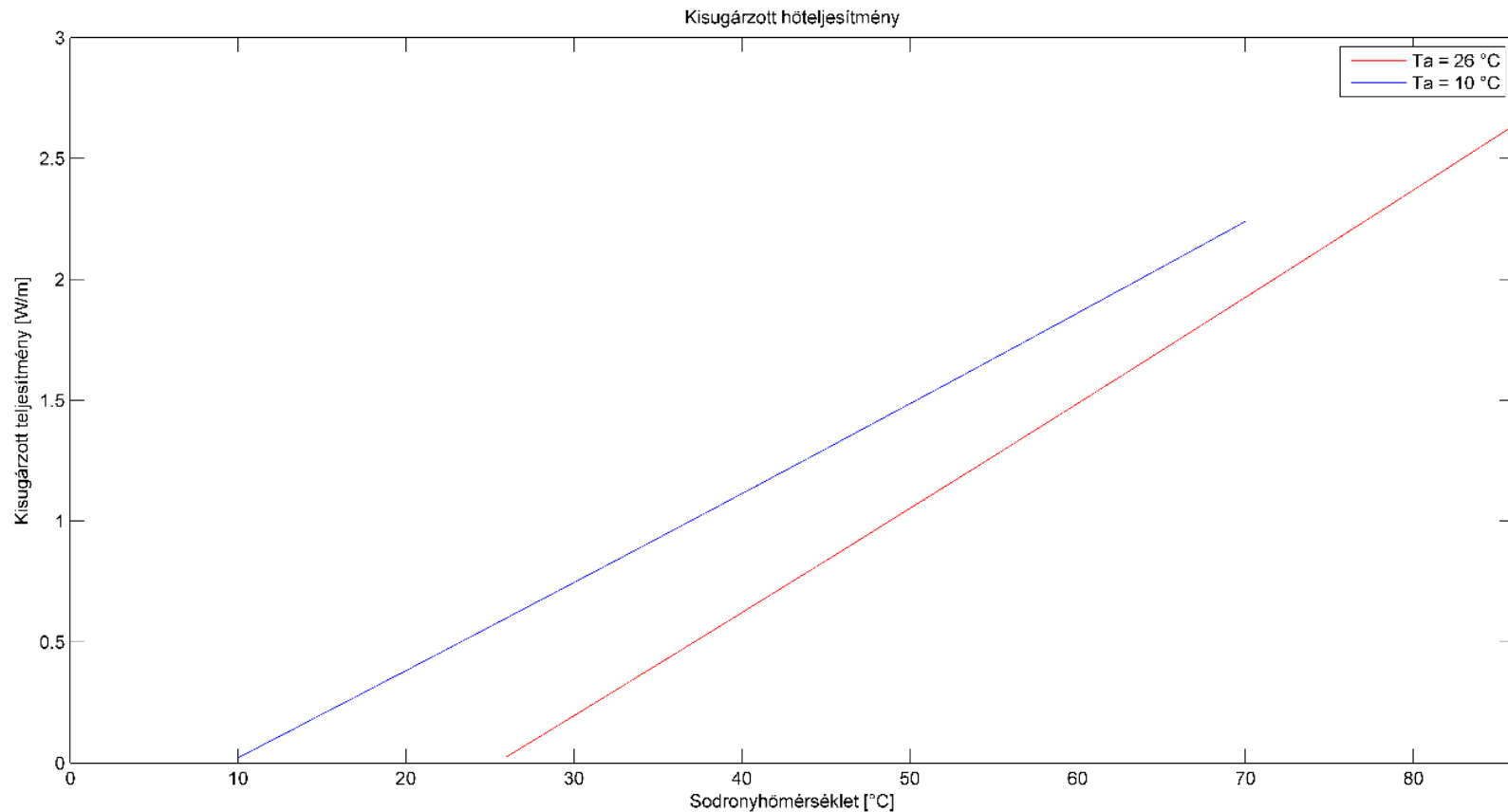
A sodrony kisugárzott hőmennyisége

- Sodrony fizikai paraméterei
 - Emissziós tényező
 - Átmérő
- Környezeti tényezők
 - Az ég hőmérséklete
 - Talaj hőmérséklete



$$P_r = \pi \cdot D \cdot \sigma_B \cdot \mathcal{F}_{c-g} \cdot \varepsilon_s \cdot \left[(T_s + 273)^4 - (T_g + 273)^4 \right] + \pi \cdot D \cdot \sigma_B \cdot \mathcal{F}_{c-sky} \cdot \varepsilon_s \cdot \left[(T_s + 273)^4 - (T_{sky} + 273)^4 \right]$$

A sodrony kisugárzott hőmennyisége



A Joule hő hatása

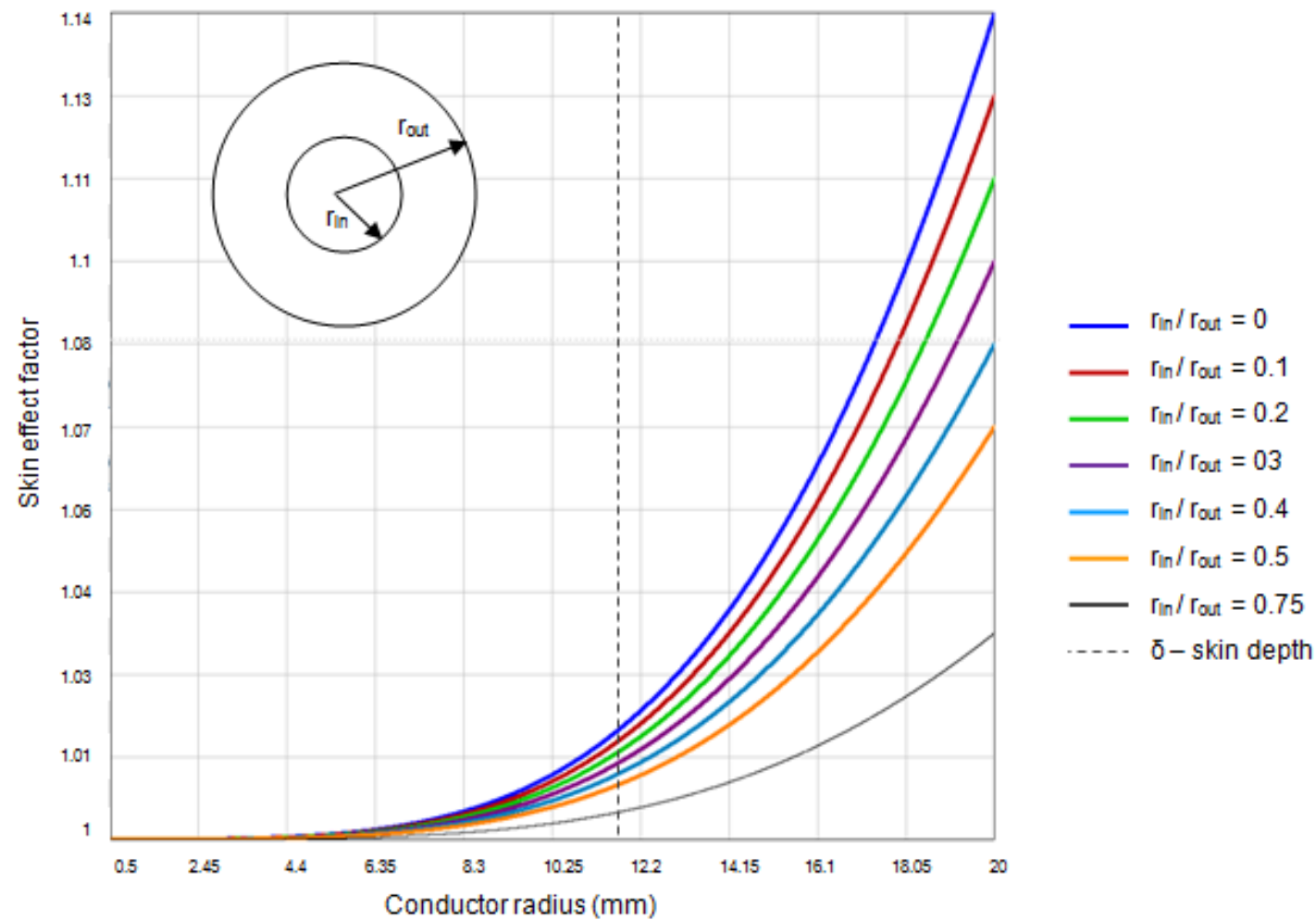
- Jelentős fűtő hatás
- Sodrony villamos paramétereinek hatása
 - A sodrony áramerőssége
 - Skin hatás figyelembe vétele – AC – DC ellenállás
 - Mágneses fűtő hatás

$$P_J = I^2 \cdot R_{dc}$$

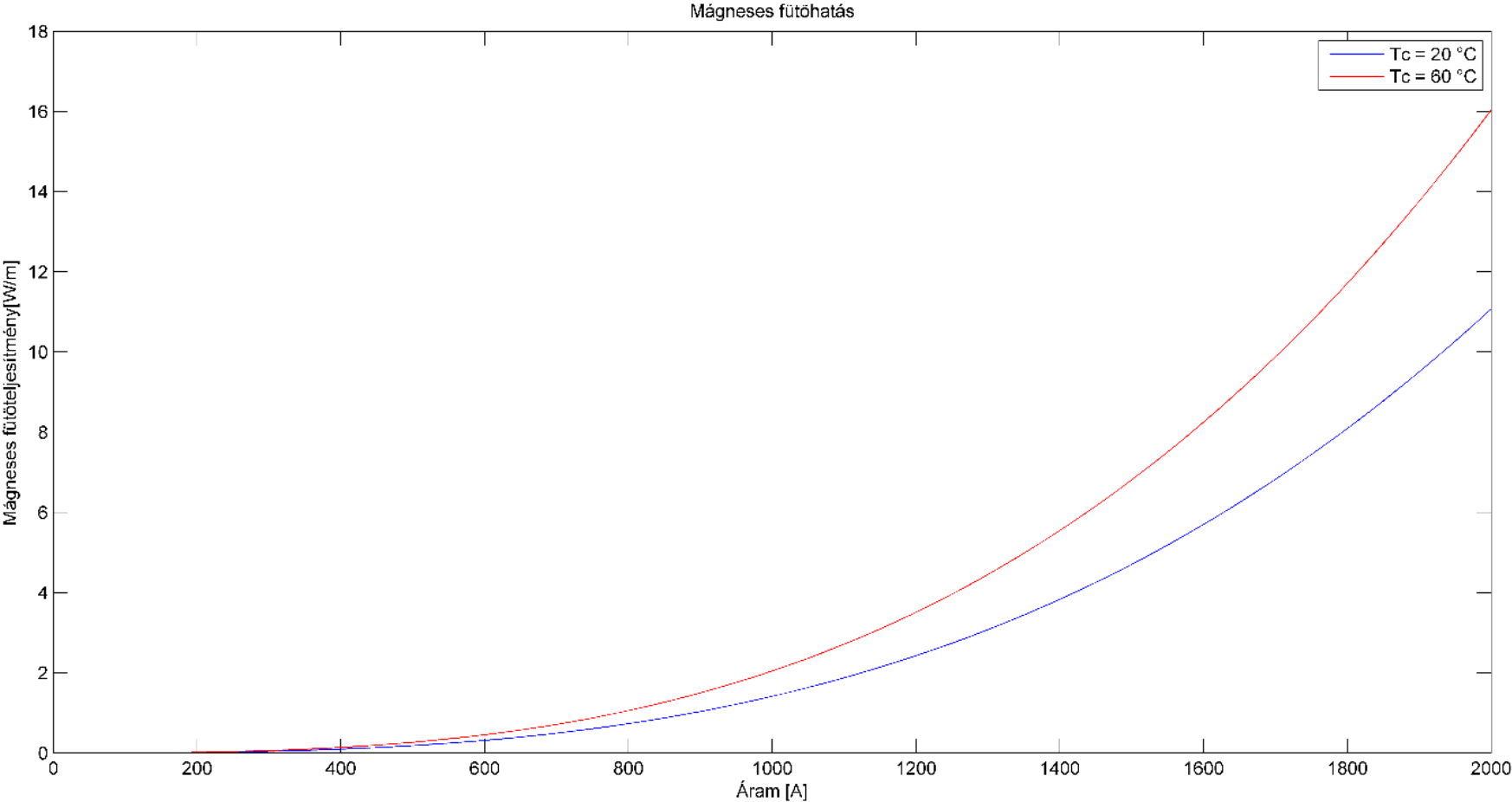
$$P_J = k_{sk} \cdot I^2 \cdot R_{dc}$$

$$P_M = P_{core} + P_{redis}$$

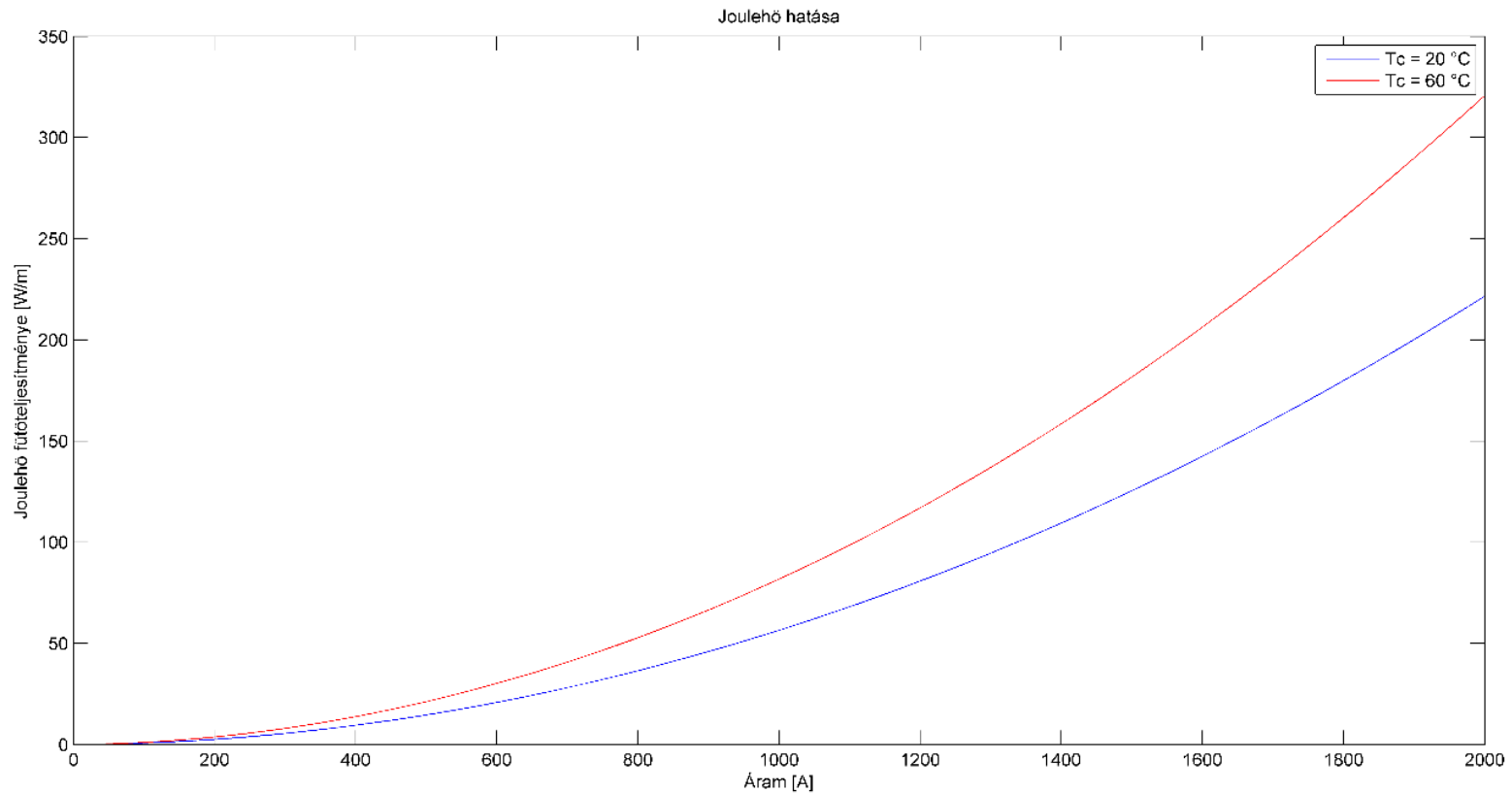
A Joule hő hatása – Skin hatás



A mágneses fűtő hatás



A Joule-hő hatása



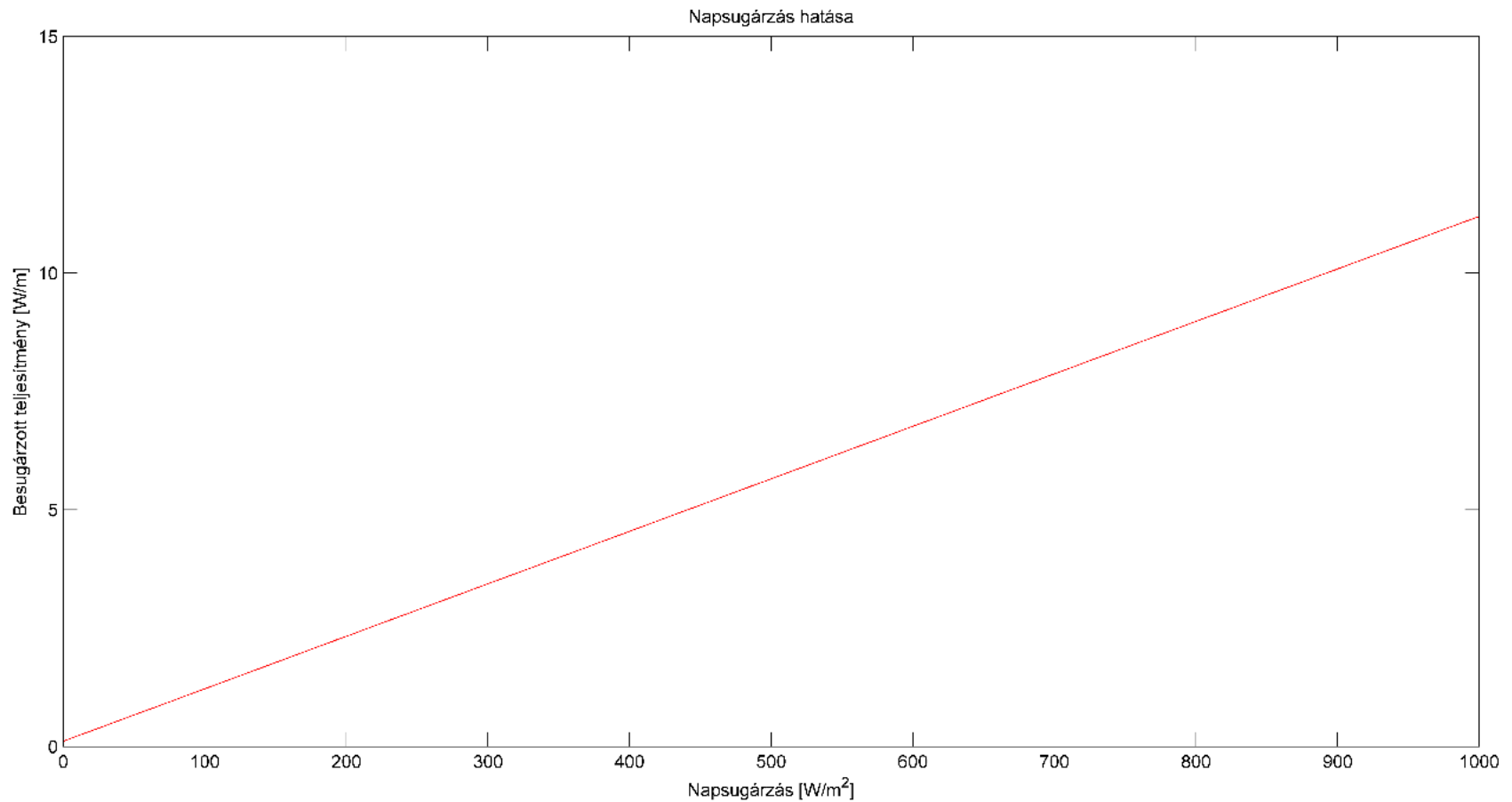
A napsugárzás hatása

- Globálsugárzás hatása
 - Nehézkes mérni, illetve becsülni
 - Igen változékony – időjárásfüggő
 - Hatása a többi termikus hatáshoz képest nem számottevő
- Sodronyok felületi tulajdonságai
 - Külső átmérő
 - Abszorpciós tényező – emissziós tényező

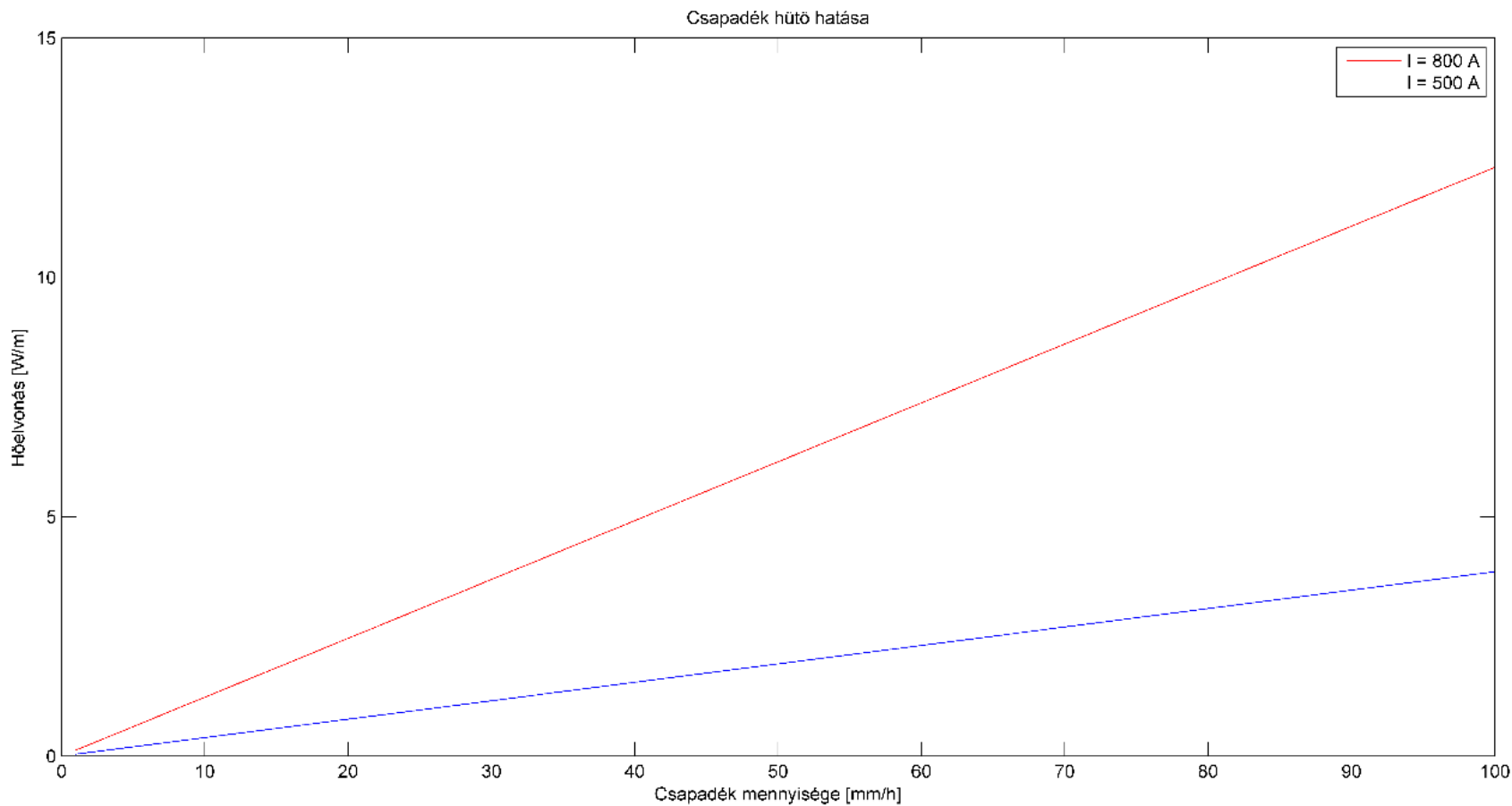
$$P_S = \alpha_S \cdot I_T \cdot D$$

$$P_S = \alpha_S \cdot D \cdot \left[I_B \cdot \left(\sin(\eta) + \frac{\pi}{2} \cdot F \cdot \sin(H_S) \right) + I_d \cdot \left(1 + \frac{\pi}{2} \cdot F \right) \right]$$

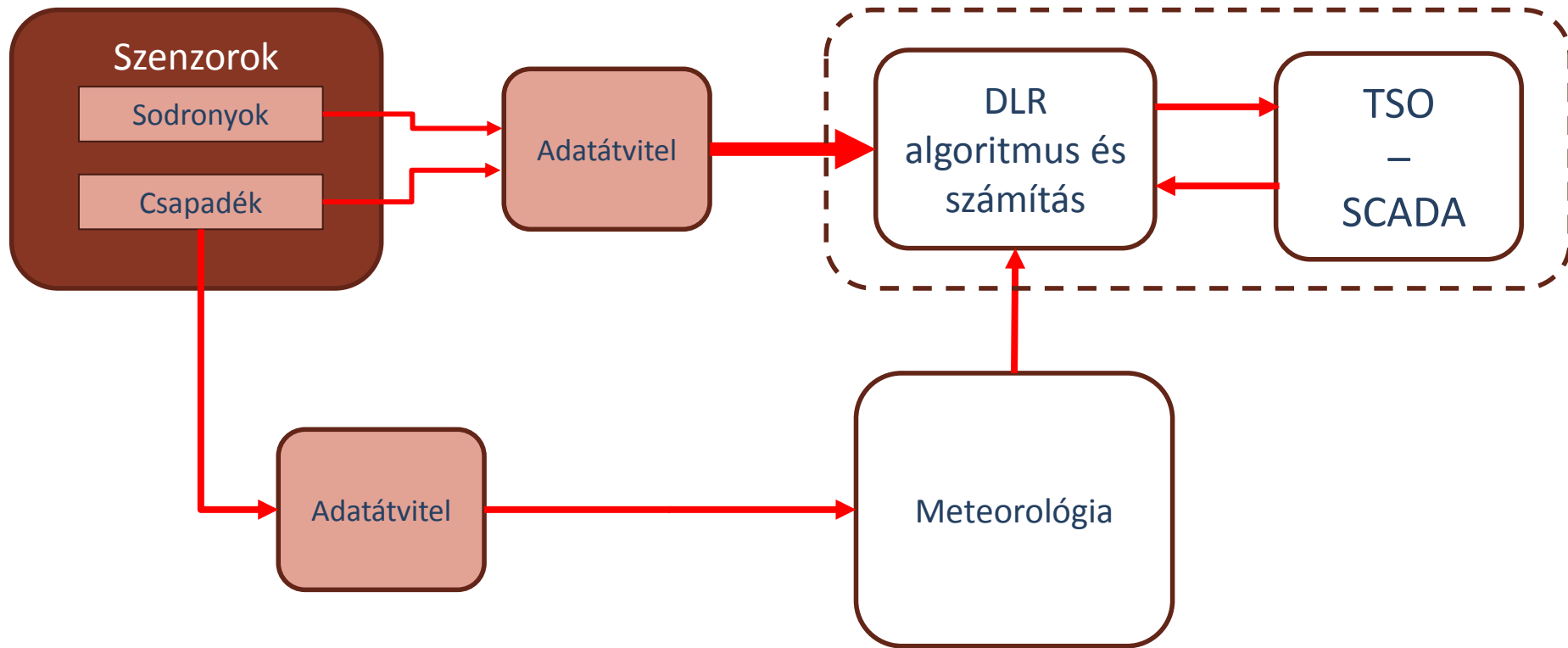
A napsugárzás hatása



A csapadék hűtő hatása

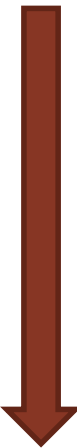


A DLR rendszerszintű működése

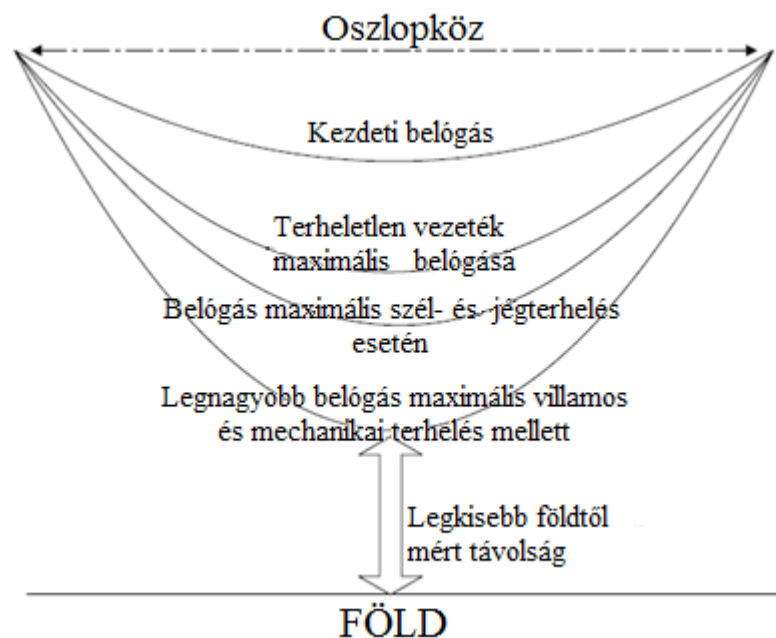


Sodrony belógás monitorozása

Belógás



Hőmérséklet

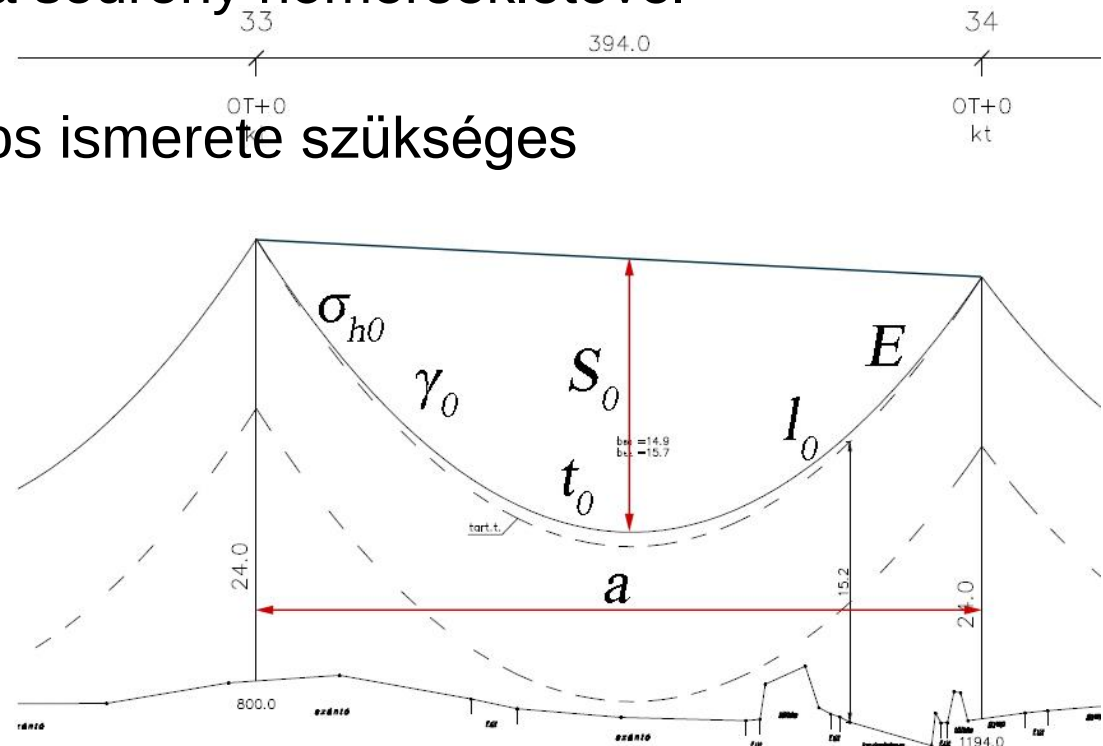


Sodronyok belógása és hőmérséklete közötti összefüggések

- Belógás: erős korreláció a sodrony hőmérsékletével

- Egyéb paraméterek pontos ismerete szükséges

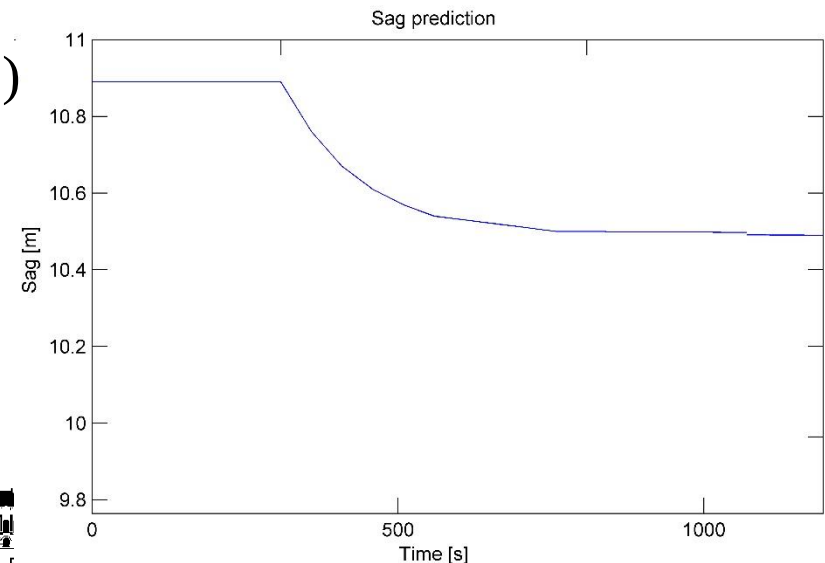
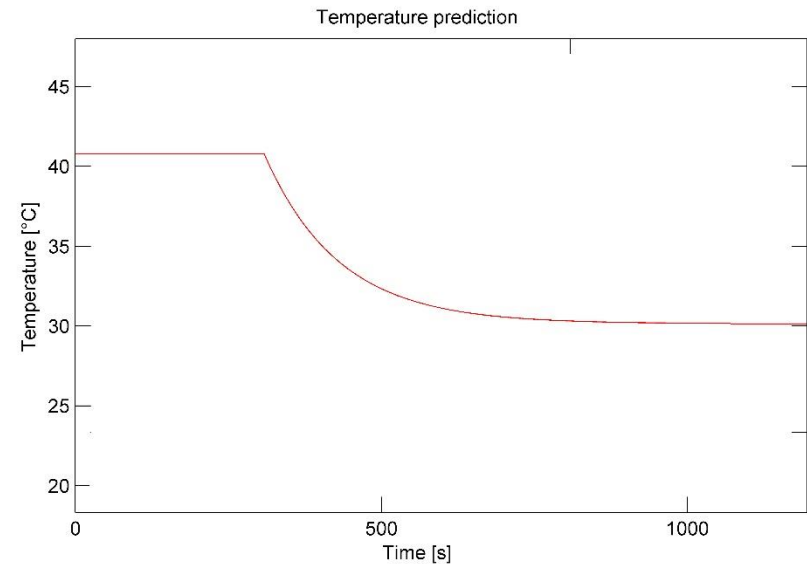
- Hőtágulási együttható
- Elaszticitás
- Távfűtési adatok
- Sodrony egység hosszra vonatkoztatott tömege



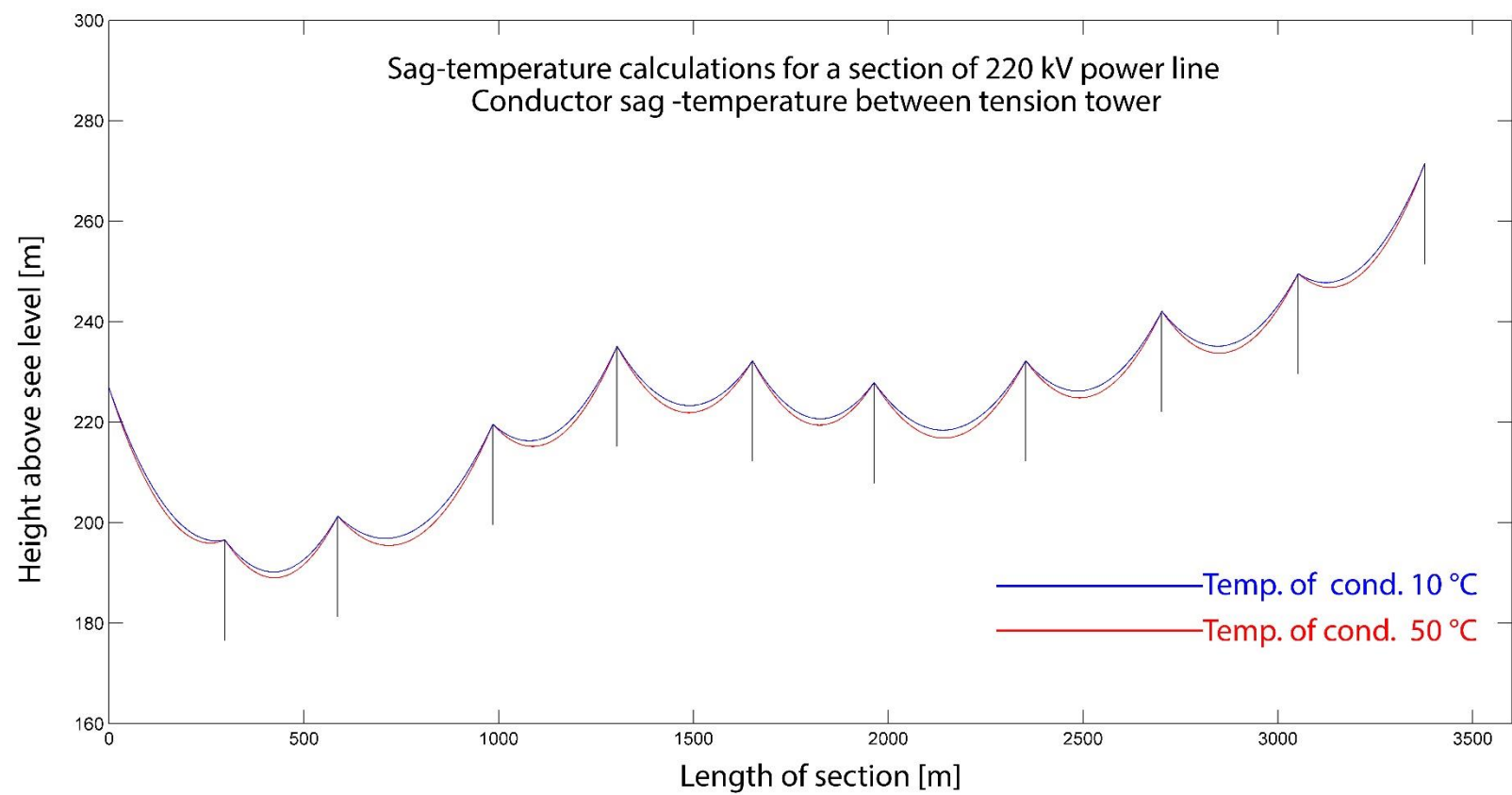
Sodronyok belógása és hőmérséklete közötti összefüggések

- Belógás: erős korreláció a sodrony hőmérsékletével
- A sodronyok általános állapotegynlete:

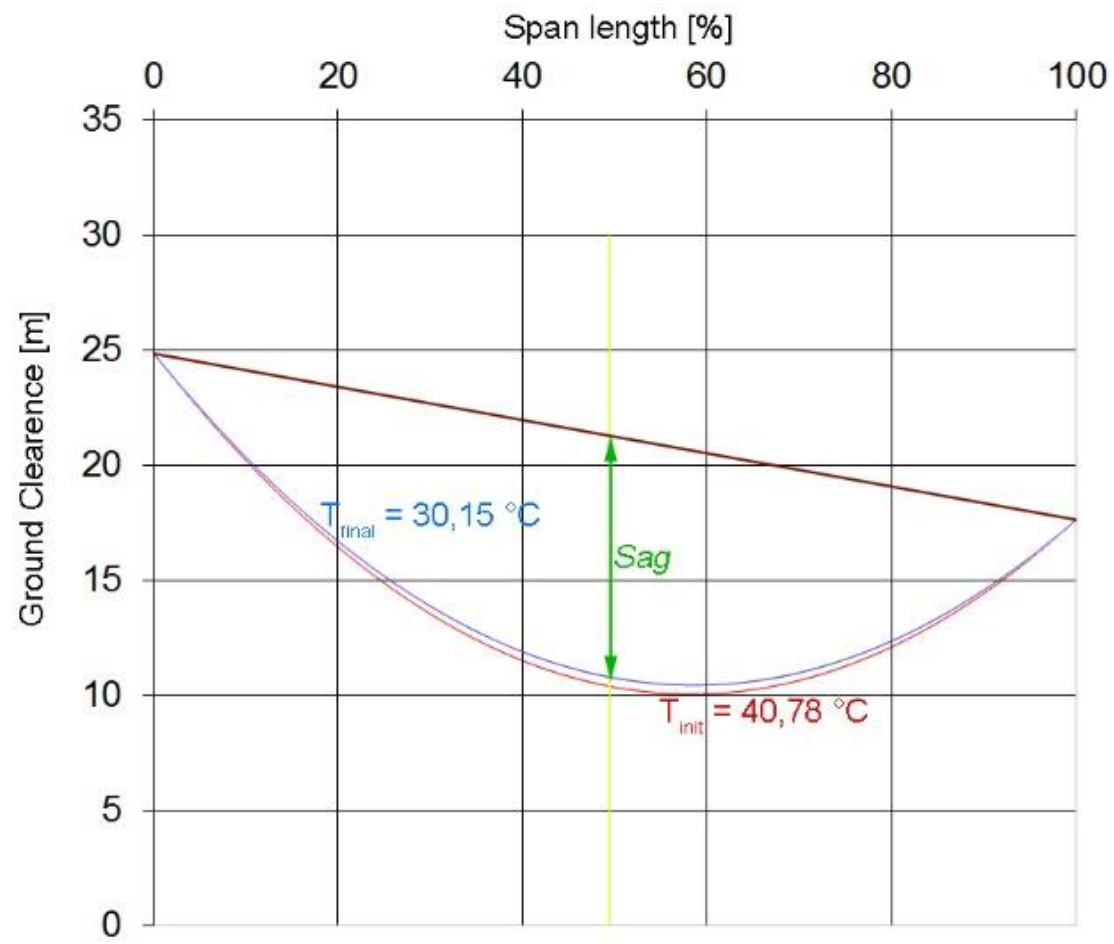
$$\frac{a^3 \gamma^2}{24 \sigma_h^2} - \frac{a^3 \gamma_0^2}{24 \sigma_{h0}^2} = l_0 \alpha (t - t_0) + \frac{l_0}{E} (\sigma_h - \sigma_{h0})$$



Sodronyok belógása és hőmérséklete közötti összefüggések



Sodronyok belógása és hőmérséklete közötti összefüggések



„Kritikus oszlopközök” kiválasztása

- Reprezentatív oszlopközök
- Kevesebb mérőeszköz – költséghatékonyság
- Optimális megoldásra való törekvés
- Távvezeték bejárása, a nyomvonal tulajdonságainak ismerete

Terhelhetőség előrejelzése

- Előre jelzett paraméter értékek
- Termikus tehetetlenség figyelembe vétele
- Tranziens viselkedés számítása
- Törekvés a megbízhatóságra

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\gamma \cdot c} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q(T, r, t, \phi, z)}{\gamma \cdot c}$$

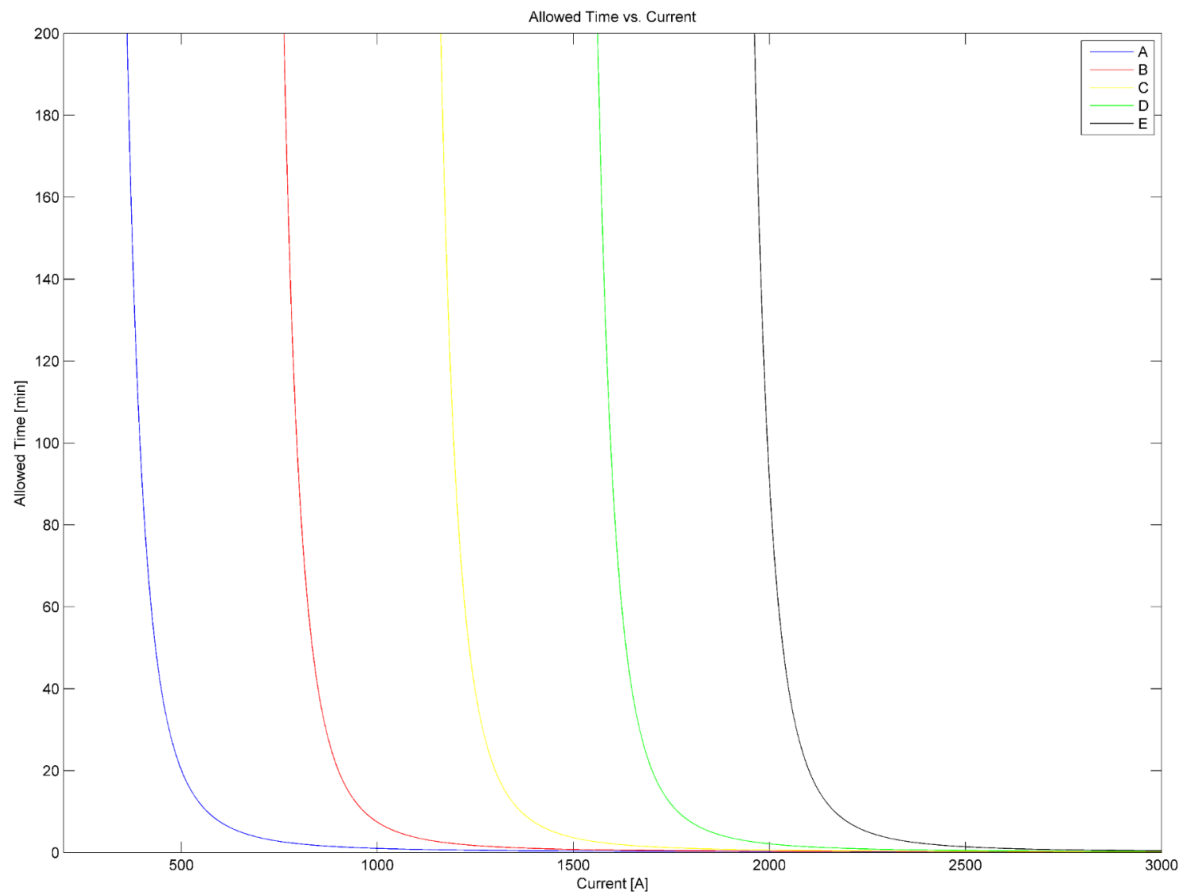
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\gamma \cdot c} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{Q(T, r, t)}{\gamma \cdot c}$$

$$m \cdot c \cdot \frac{dT_{av}}{dt} = P_J + P_M + P_S - P_c - P_r$$

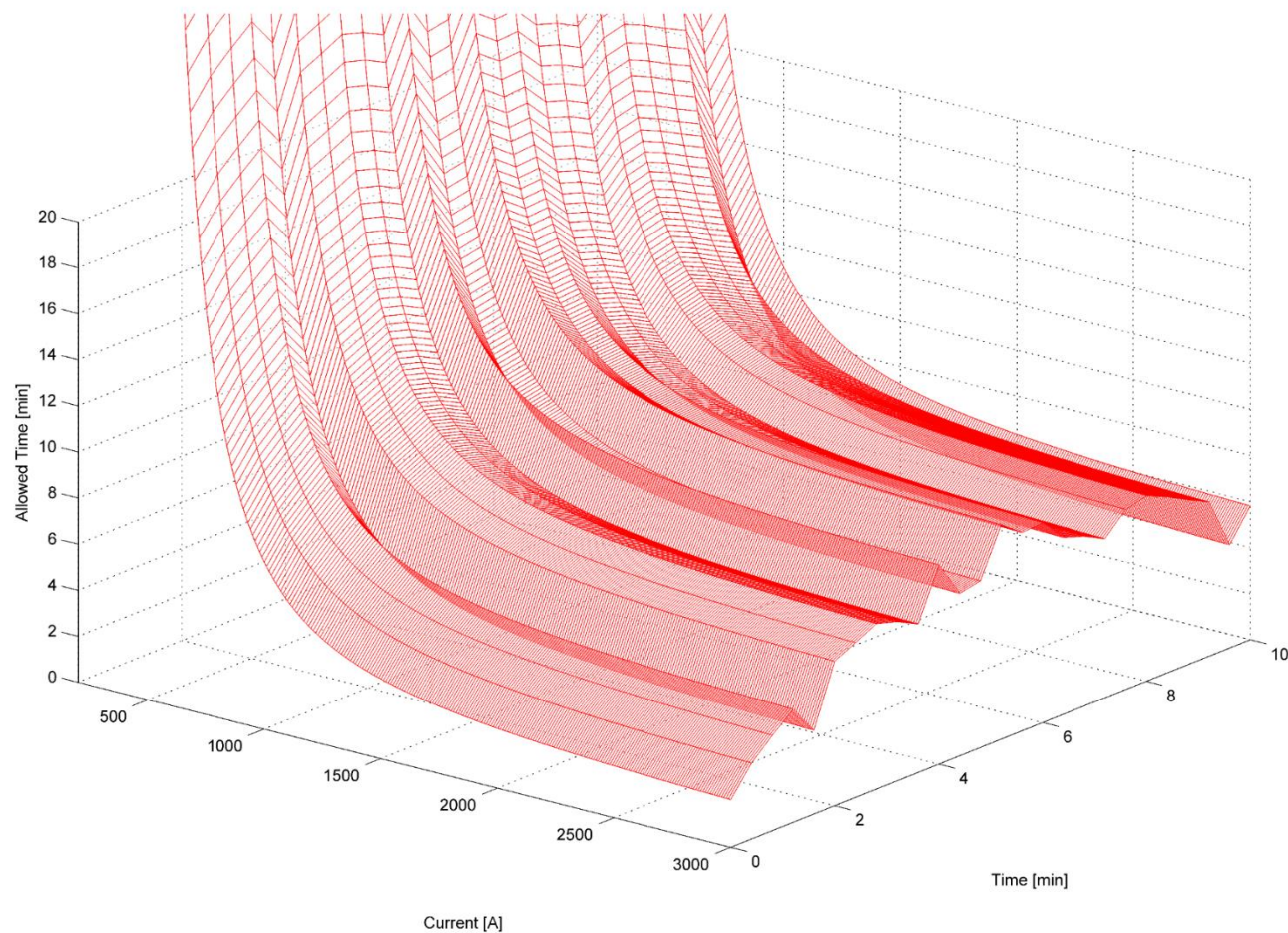
Zárlati áramok termikus hatásának vizsgálata

- Hőmérsékleti tranziensek vizsgálata
- Joule-integrál használata
- Termikus időhatár - termikus határáram görbék számítása
- Előrejelzés megvalósítása

Zárlati áramok termikus hatásának vizsgálata – Adiabatikus melegedés



Zárlati áramok termikus hatásának vizsgálata



Köszönöm a figyelmet !



Köszönöm a figyelmet !





Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék

A fenntartható energetika villamos rendszerei



**Hálózati elemek állapotának ellenőrzése,
tipikus meghibásodások -
esettanulmányok**

Németh Bálint

Villamos Energetika Tanszék

Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

Nemeth.balint@vet.bme.hu

AZ ELŐZŐ ÓRÁ(KO)N...

- Öregedésmenedzsment
- TOP-DOWN és DOWN-TOP megközelítés
- Jövő hálózata
- On-line diagnosztika és monitoring
- Kábelek, kábel diagnosztika
- KöF szabadvezeték hálózatok
- Transzformátor diagnosztika

TRANSZFORMÁTOROK

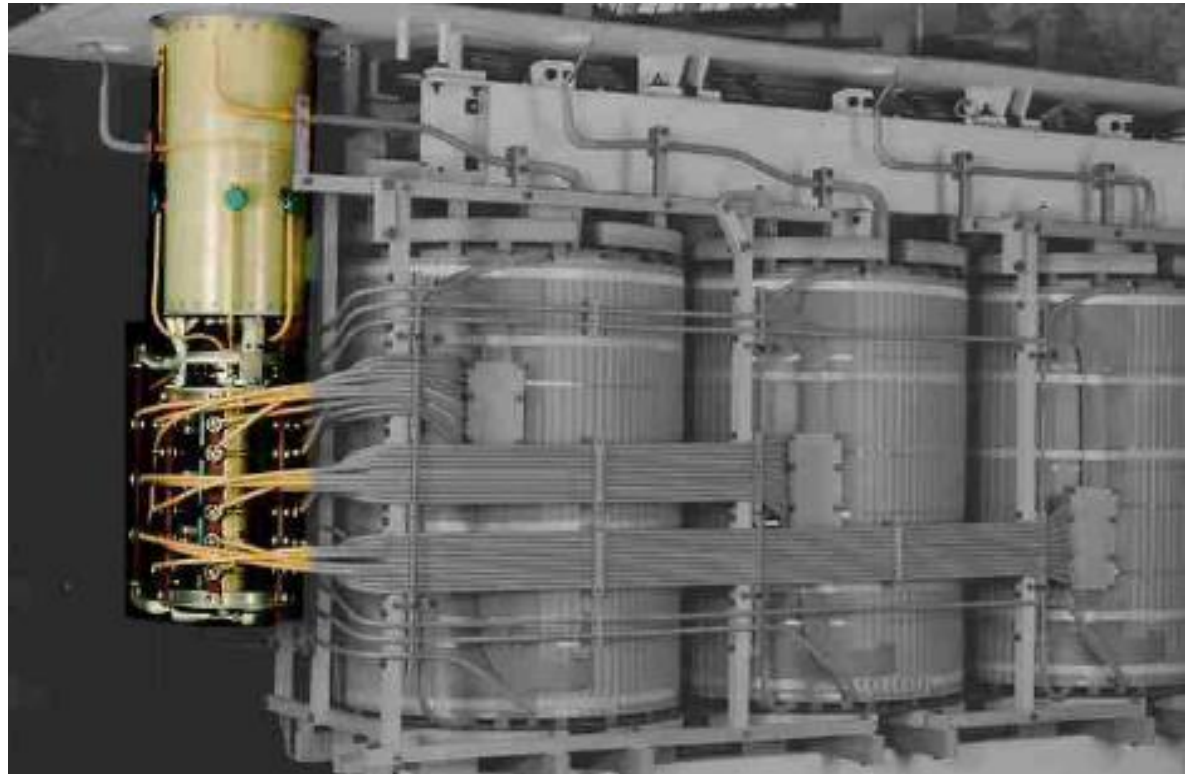
Transzformátor részei

- 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.

A kén szerepe az olajban

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

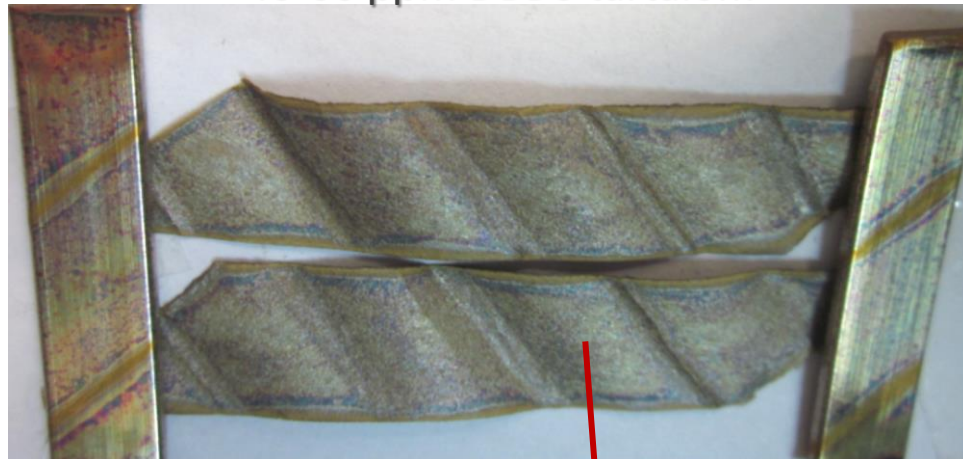
- **Az olaj oxidációja savasodást és üledékképződést idéz elő**
- **A nagy oxidációs stabilitás csökkenti:**
 - **Üledék lerakódást**
 - **Villamos veszteséget, hibákat**
 - **Fémkorróziót**
 - **Növeli a szigetelés élettartamát**
- **A korrózív ill. reaktív szerves kén vegyületeknek nagy az affinitása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

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

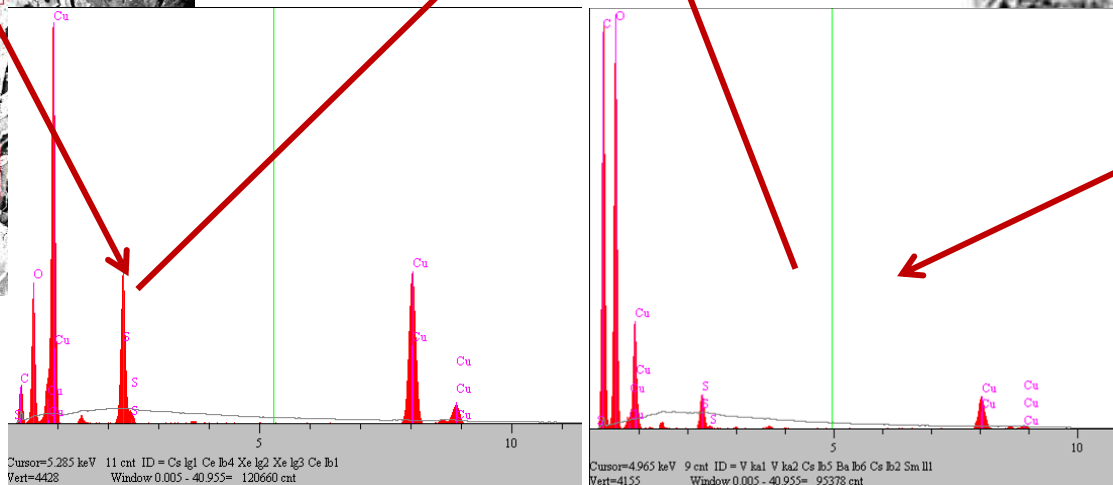
IEC 62535 szabvány korrózív kén teszt eredménye:

200-250 ppm DBDS tartalom

40-60 ppm DBDS tartalom



Cu_2S



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)

TRANSZFORMÁTOR ESETTANULMÁNYOK

Esettanulmány – Ganz 400/120/18 kV, 250 MVA

-25-30 év használat

-HGA hibát jelzett

-Papír égés



Endoszkópos vizsgálat

Képen:
Olajban lévő
fokozatkapcsoló



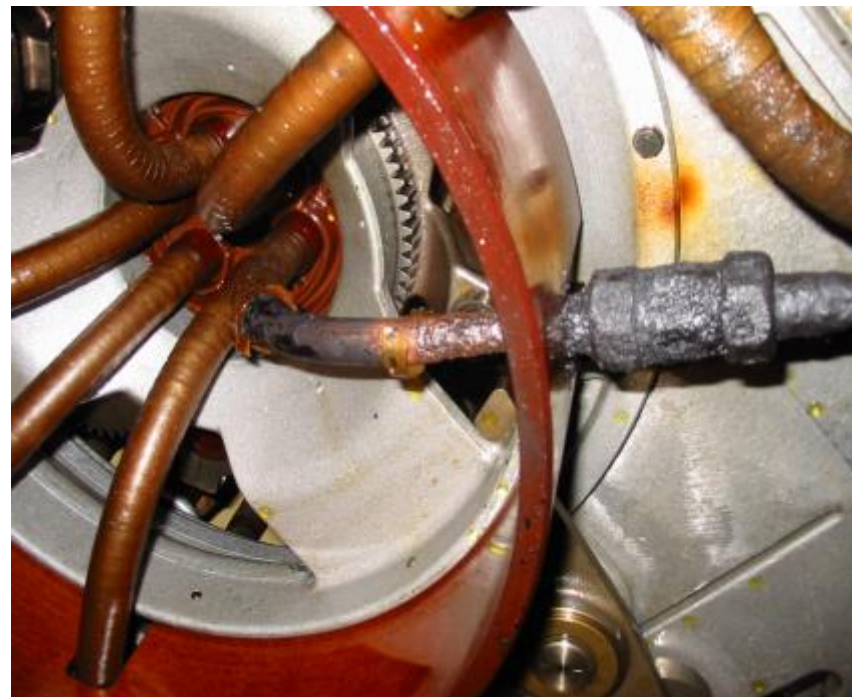
Olaj leengedése után látható a hibás odavezetés

Hiba oka:

A fokozatkapcsoló egyik odavezetésén látható préselt kötés átmeneti ellenállása nem megfelelően kis értékű, emiatt a vezető melegedett, majd leégett róla a papír szigetelés



A hibás préselt kötés, leégett papír szigetelő



Transzformátor megnyitását igénylő helyi karbantartás esetén nincs mód vákuumkezelésre a transzformátor összeszerelése után



Transzformátor fedelének felemelése, a transzformátor megnyitása

- Olajkezelővel felmelegítik és keringetik az olajat a transzformátorban ($\sim 60^{\circ}\text{C}$ -ra)
- Kinyitáshoz leengedik az olajat
- Megnyitják a transzformátort
- Elvégzik a szükséges szemrevételezést, karbantartást (ha megoldható)
- Lezárják a transzformátort
- 2-3 napos olajkezelés
- Helyszíni gerjesztéses feszültségpróba (kb. 30% túlgerjesztéssel)



**Transzformátorra szerelt
hidraulikus emelő, mellyel a
fedelelet és az aktív részeket
emelik ki a transzformátor
házból, majd engedik vissza a
házba**





A gyárban összeszerelt új elemet a helyszínen meghajlítják a kellő mértékben, majd beszerelik





Elszíneződött hibás odavezetés



Kiszerelt hibás préselt kötés

Megjavított transzformátor összeszerelés és festés után



Transzformátor javítás költségei

NaF/NaF esetén:

Javítás: ~60-70-80 M Ft

**Szállítás: ~100 M Ft (400/120 kV)
~50 M Ft (220/120 kV)**

Gyárban történő javítás – szállítás vasúton

**Előkészítés:
Átvezető szigetelők és
konzervátor leszerelése**

**Kép:
Két vasúti kocsi, melyek
közé a transzformátor
kapcsolódik**



Gyárban történő javítás – szállítás közúton



Gyárban történő javítás – szállítás közúton



Gyárban történő javítás – szállítás közúton



Gyárban történő javítás

Szállítás

- Vasúton
- Közúton

-Szállítás esetén a használat közben fellazult tekercsek felrázódhatnak, megsérülhetnek

Kép:
NaF/NaF transzformátor
szállításra felkészítve



Fedél leemelése, és a transzformátor aktív részeinek kiemelése gyárban



Kép:
Szétszedett
transzformátor
-Tekercsek közepén a
NaF kivezetés látható
-Transzformátor ház
falán az átvezetők
helyei

Fedél + aktív részek (vasmag, tekercsek, szabályozó)



Eltávolítják a fedelet



**Aktív rész kiemelése
után, ha meghibásodás
volt, a transzformátort
kellő mértékben
szétbontják**



**Lelemezelik az oszlopokat összekötő járomokat, majd
leemelik a
tekercseket
kívülről befelé
haladva**



Fokozatkapcsoló – OLTC (On-load tap changer)



Rugós tekercsleszorítók



Transzformátor ház belülről

Kép:

- Prespán szigetelőlapok
 - Függőleges fémlemezek:
- Jó permeabilitásuk miatt mágneses söntként viselkednek a házban keletkező örvényáramok okozta veszteségek kiküszöbölése érdekében



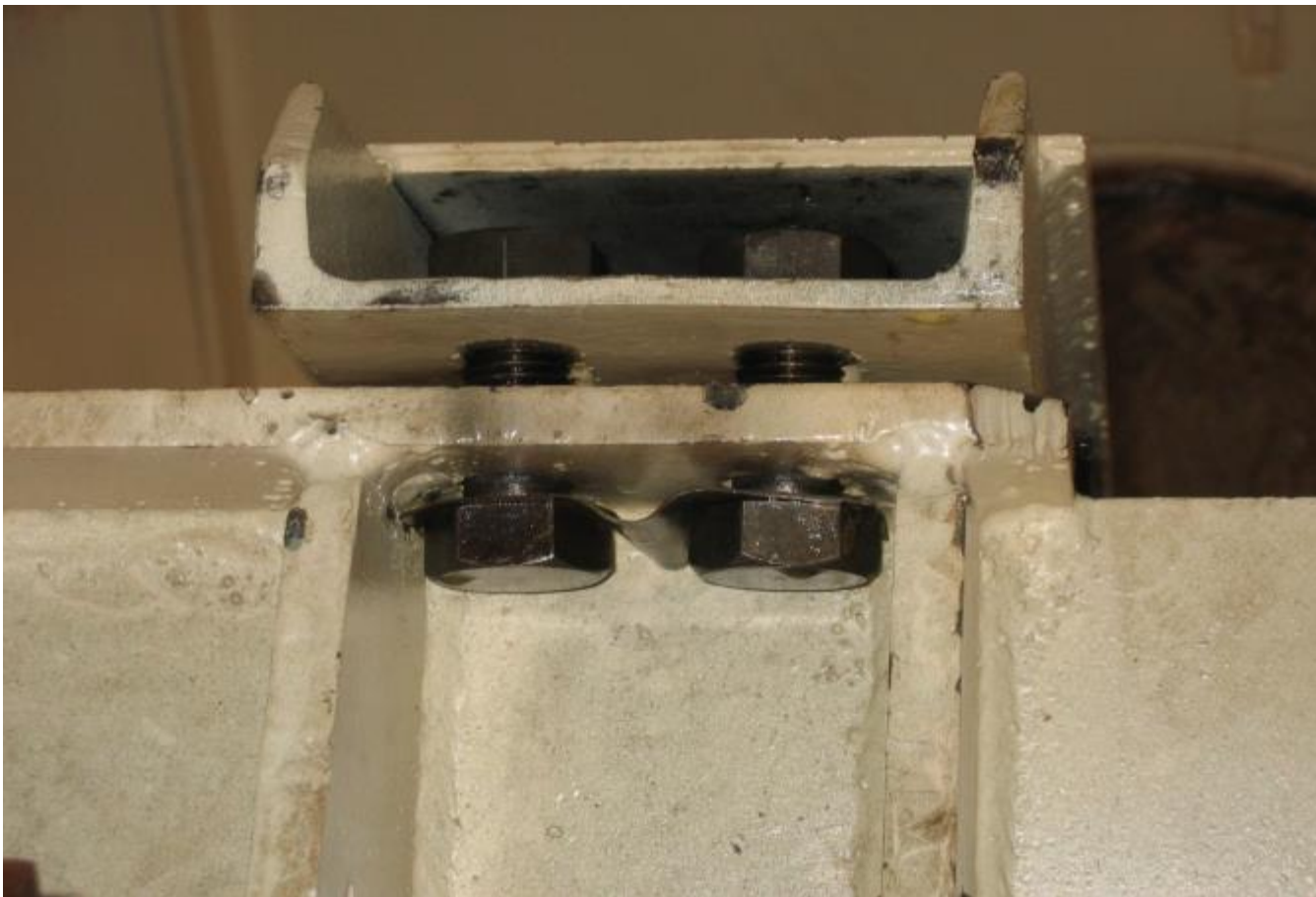
Előforduló hibák - Transzformátor

Sérült parafatömítés olajszivárgást eredményezhet



Előforduló hibák - Transzformátor

Üzem közben fellazult csavarok



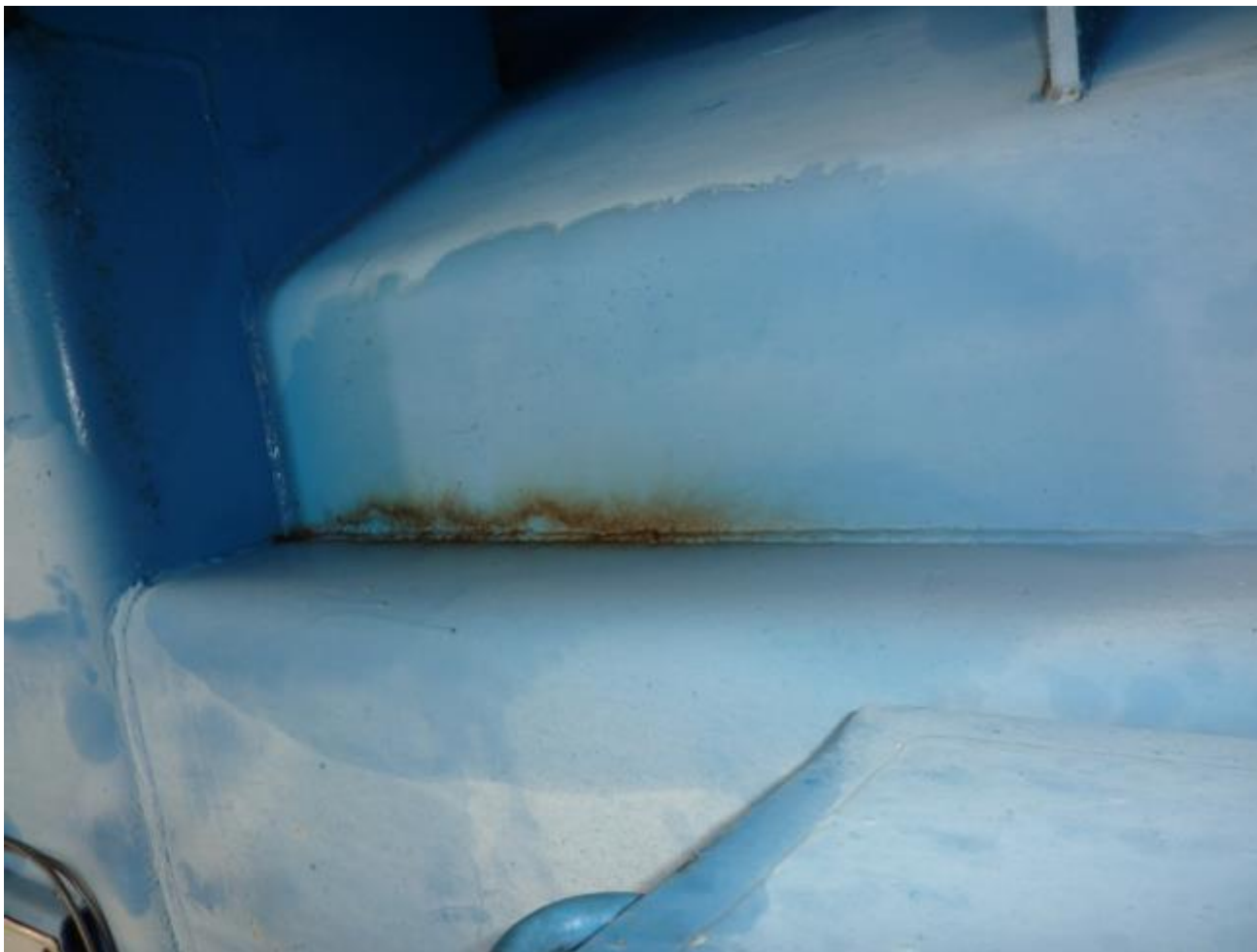
Előforduló hibák - Transzformátor

Átvezető szigetelő törés



Előforduló hibák - Transzformátor

Transzformátorház meghibásodása



Előforduló hibák - Transzformátor

Transzformátorház meghibásodása



Előforduló hibák - Transzformátor

Tekercsek között lévő prespán szigetelő henger törése



Előforduló hibák - Transzformátor

Tekercsek között lévő prespán szigetelő henger törése



Előforduló hibák - Transzformátor

Égett papírszigetelés, deformálódott tekercs, olvadt vezető



Előforduló hibák - Transzformátor

Tekercs menetek közötti átütés



Előforduló hibák - Transzformátor

Tekercs deformációja zárlati áramok hatásai miatt



Előforduló hibák - Transzformátor

Tekercs deformációja zárlati áramok hatásai miatt, átütés, papírszigetelő égése



Előforduló hibák - Transzformátor

Papír szigetelőhenger szakadása, zárlati erőkből adódó tekercsmozgások, deformációk hatására



Előforduló hibák - Transzformátor

Belső tekercszárlat, vizsgálathoz a külső tekercsek el vannak távolítva



Előforduló hibák - Transzformátor

Leszorító törés – A zárlatkor jelentkező tekercsmozgásokból, deformációkból adódóan



Előforduló hibák - Transzformátor

Tekercs deformáció



Előforduló hibák - Transzformátor

Menetek deformációja



Átvezető szigetelők (Bushing)

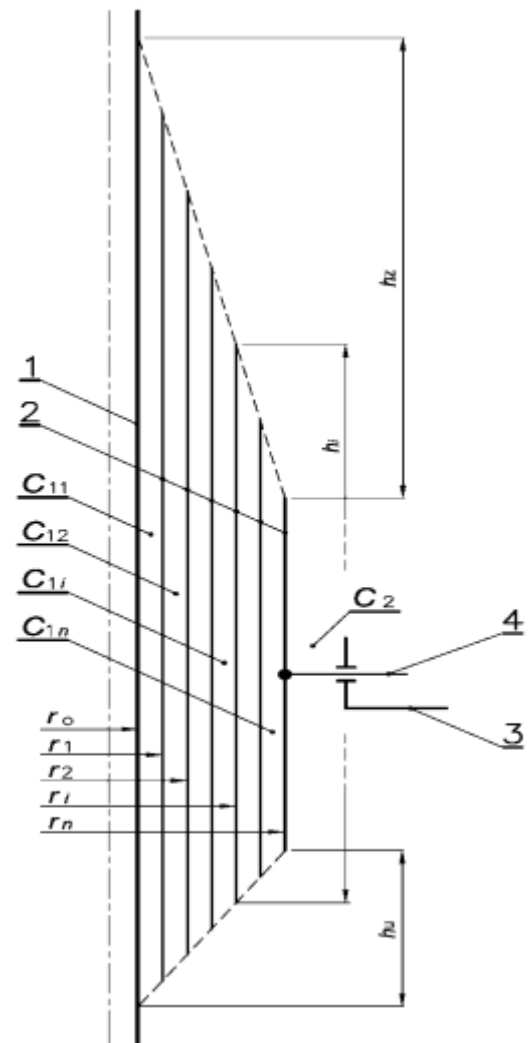
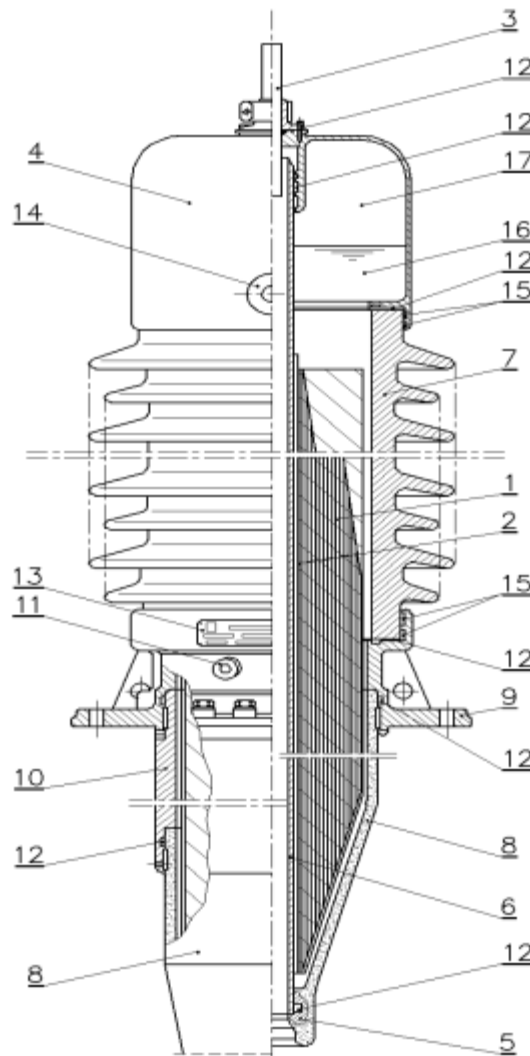
- Transzformátor elengedhetetlen része
- Értékük több is lehet, mint a transzf. teljes árának 10%-a
- Az átvezetők meghibásodása viszonylag magas
- Egy transzformátor elég sok átvezetővel rendelkezik, meghibásodási rátájuk 5-50 %, átlag 25 %
- Átvezető hibák gyakran okoznak tüzet



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,
- $Tg\delta/C$
- On-line $Tg\delta/C$ mérés
- Polarizációs mérések: FDS, RVM, PDC



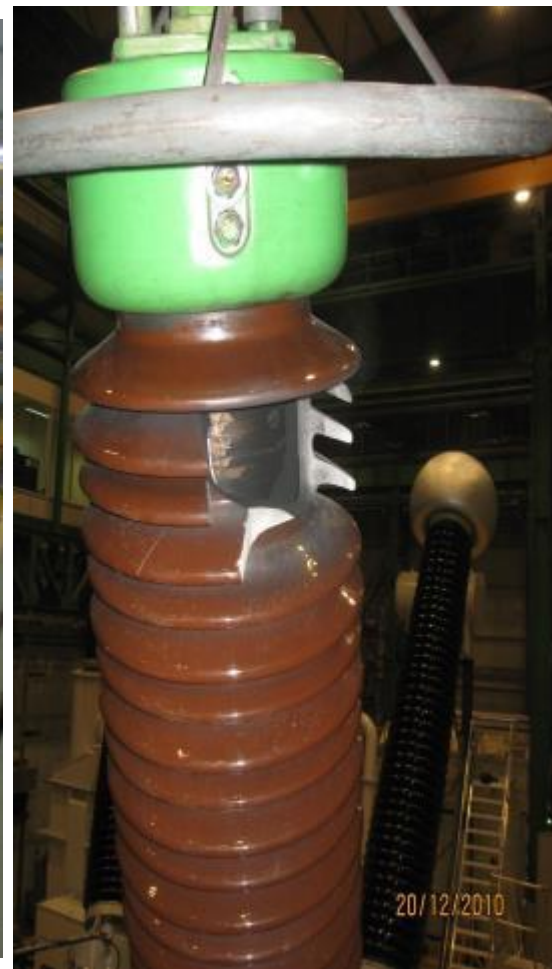
245 kV átvezető szigetelő meghibásodás – esettanulmány

- **Transzformátor:** 400/220/35 kV (500 MVA)
- Az átvezető szigetelő névleges feszültsége: 245 kV
- A gyártás éve: **1978** (átvezető szigetelő), **1979** (transzformátor)
- A vizsgálat éve: **2010**
- A transzformátor 32 éves volt, amikor az átvezető szigetelő hibája megjelent
- A transzformátort felújították a gyárban; a felújítást átvételei vizsgálati eljárások követték
- Az első üresjárási indukált feszültség próbán a névleges feszültség kb. **50%**-nál az áram elkezdett növekedni.

245 kV átvezető szigetelő meghibásodás – esettanulmány

- *Második gerjesztés:* a névleges feszültség **90%**-ánál erős zaj és 4-5 kV feszültségesés jelent meg:
- *Bucholz-gáz vizsgálat:* nem észleltek éghető gázokat
- A gáztalanító folyamatot üresjárási feszültség vizsgálat követte. *Első gerjesztés:* a névleges feszültség **85%**-ánál a zöld fázisban a 220 kV-os átvezető szigetelőből egy darab porcellán „kirobbant”.

245 kV átvezető szigetelő meghibásodás – esettanulmány



245 kV átvezető szigetelő meghibásodás – esettanulmány

Sérült átvezető



245 kV átvezető szigetelő meghibásodás – esettanulmány

Sérült átvezető

- A földre nem folyt olaj, az olaj szint normálisnak tűnt
- A szétszerelés után a robbanás oka kimutathatóvá vált: az átvezető szigetelő olaj hiányzott, az olaj szint mutató hibája (hibás kijelző).



Előforduló hibák - Transzformátor

Átvezető szigetelő felülete – átvezető szigetelő azon fele, mely az olajban van



Kép:
Részkisülés
következtében
kialakult sérülést

NAF TÁVVEZETÉK ESETTANULMÁNYOK

NaF távvezeték oszlop kidőlés – /Martonvásárhely – Litér/ - 400 kV



NaF távvezeték oszlop kidőlés – /Martonvásárhely – Litér/ - 400 kV



NaF távvezeték oszlop kidőlés – /Martonvásárhely – Litér/ - 400 kV



NaF távvezeték oszlop kidőlés – /Martonvásárhely – Litér/ - 400 kV



NaF távvezeték oszlop kidőlés – II. Eset - Gödöllő



NaF távvezeték oszlop kidőlés – III. eset



NaF távvezeték oszlop kidőlés – IV. eset



NaF távvezeték oszlop kidőlés – V. eset



NaF távvezeték oszlop kidőlés – VI. eset



NaF távvezeték oszlop kidőlés – VI. eset



NaF szigetelőlánc törés



NaF szigetelőlánc törés – Brittle fracture (ridegtörés)



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 távvezetékét, a távvezeték környezetét, az üzemvitelt -> jelentős kockázat

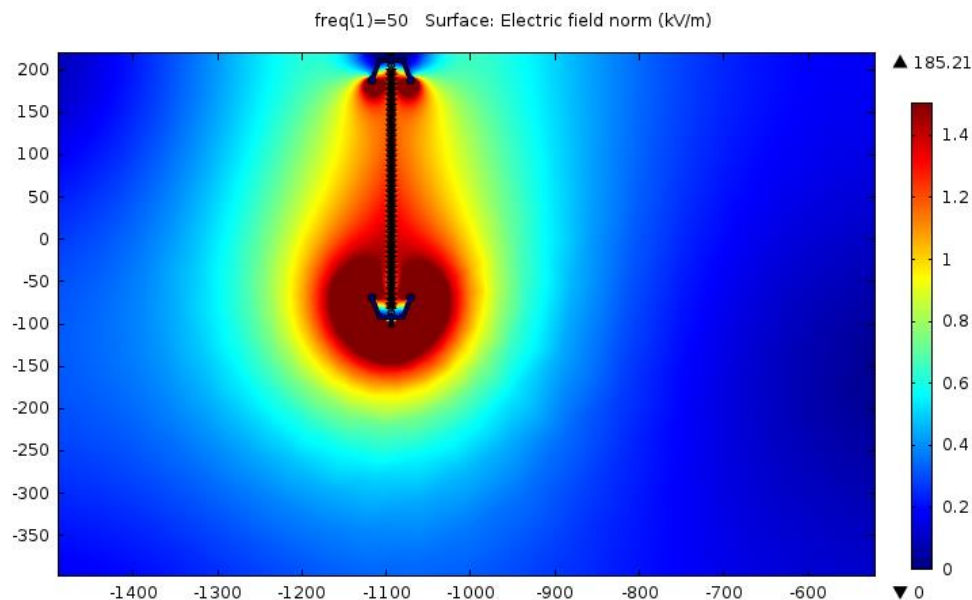
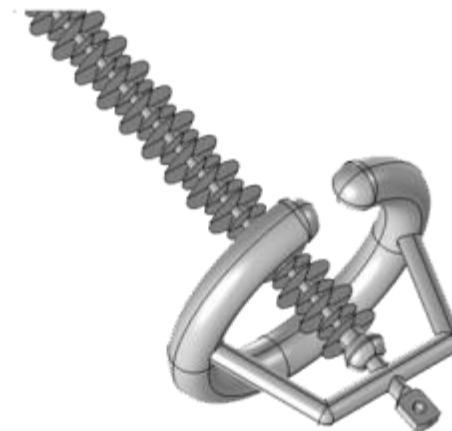
Vizsgálati módszerek:

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

NaF kompozit szigetelőlánc törés – Brittle fracture

További vizsgálati módszer:

- Végeselem módszer
 - 3D CAD modell
 - Számítás
 - Szimuláció végeselem módszerrel
 - Potenciáeloszlás
 - Villamos tér



Rideg törés tipikus helye:

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

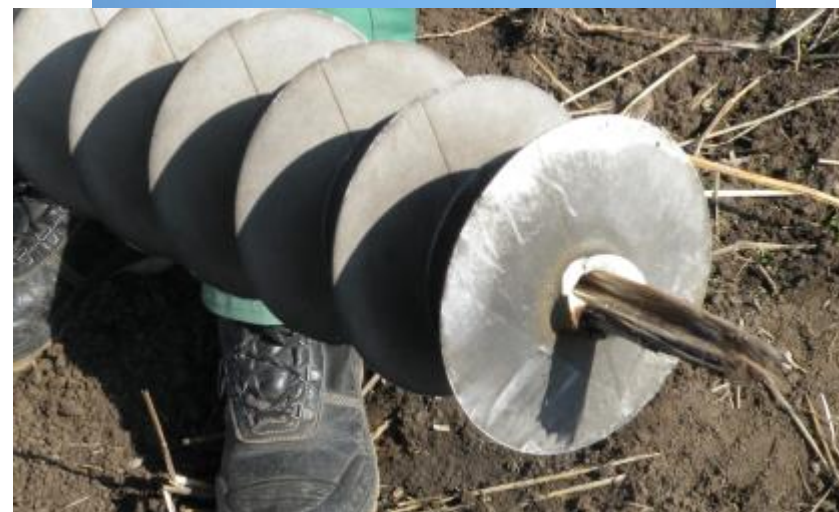
Nagy villamos térerősség

+

Nedvesség



Brittle fracture



NaF szigetelőlánc törés - helyreállítás

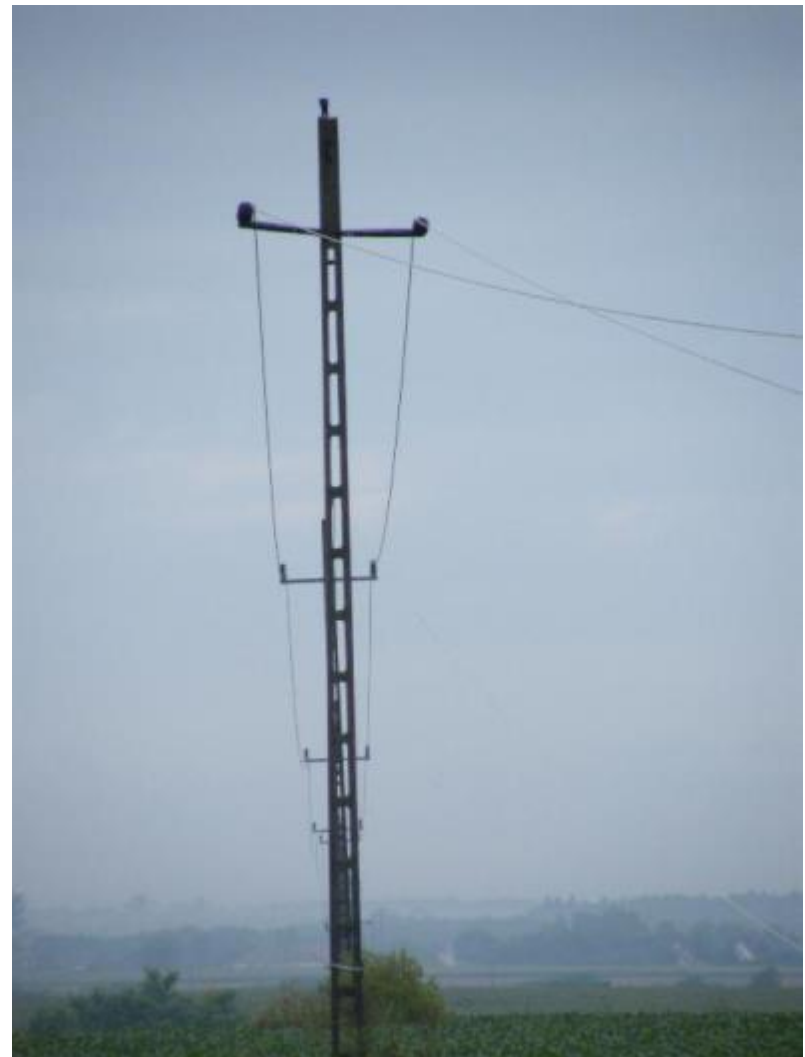


KÖF ESETTANULMÁNYOK

KöF szigetelő törés



KöF szigetelő törés



KöF kötés meghibásodás / sodronyszakadás



KöF távvezeték oszlop kidőlés



Havária – 2013

Előjelek:

- Veszélyjelzés: 100 km/h-nál erősebb szellőkések 30% valószínűséggel, 3 cm havazás, ónos eső nélkül
- > Készenlét megerősítése az ÜIO, EHS, EH-SZER körében, külső vállalkozók értesítése

	EDE	EED	ETI
<i>Első üzemzavar kezdete:</i>	márc.14. 06:47	márc.14. 07:45	márc.14. 09:22
<i>Legtöbb egyidejűleg időpont:</i>	márc.14. 16:00	márc.15. 12:00	márc.15. 07:00
<i>kisesett fogyasztó: ~ db:</i>	12 500	13 500	130 000
<i>Minden fogyasztó ellátva:</i>	márc.17. 00:23	márc.17. 00:30	márc.22. 23:21

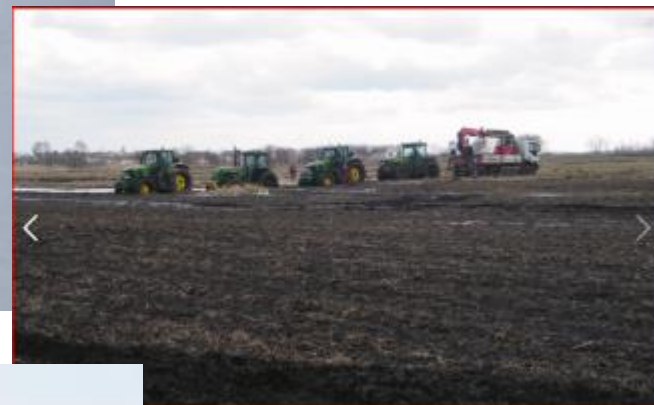
Havária – 2013 – Körülmények

- Dunántúl: 100 km/h feletti szél, nagy mennyiségű hó, hófúvás
- Tiszántúl: ónos eső, vezetékeken, oszlopokon + viharos szél
- Oszlopra mászás, kosarazás életveszélyes, OK-k befagytak
- Ibrány TP: rengeteg üzemzavar, próbakapcsolásokhoz sincs feszültség alatti hálózatrész
- Közlekedés ellehetetlenülése
- Lezárt utak, hatósági útzárak –
pl. 8-as út, LITÉR-Öskü 20 kV, Sóly-Hajmáskér ÜZ elhárítás



Havária – 2013 – Behatárolás elhárítás

- Helikopteres bejárással gyorsították a hibakeresést
- Erőgépeket, honvédségi speciális járműveket vontak be



Havária – 2013 – Sérülések

- ~ 400 oszloptörés
- ~ 600 vezetékszakadás



Köszönöm a figyelmet!



BME Nagyfeszültségű Laboratórium
Magyarország, Budapest
1111, Egry József u. 18.
Telefon: +36 1 463 2784
Fax: +36 1 463 3231
E-mail: nemeth.balint@vet.bme.hu
<http://nfl.vet.bme.hu>



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Nagyfeszültségű Laboratórium

