Középfeszültségű hálózatok csillagpontkezelésének külföldi példái

MEE Vándorgyűlés, Szeged, 2016.09.15.

Dr. Raisz Dávid, docens

BME Villamos Energetika Tanszék

Villamos Művek és Környezet Csoport

MŰEGYETEM 1782

BME VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

Villamos Energetika Tanszék

Villamos Művek és Környezet Csoport

Előzmény

- MEE munkabizottság:
  - Útmutató a nagyfeszültségű hálózatokra vonatkozó új szabványok alkalmazására (2015)
- Ennek keretében: áttekintés külföldön alkalmazott megoldásokról
  - Helmut Melzer (ed.): Die Aktuelle Situation der Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV (D-A-CH), ETG Fachbericht 132, VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach
  - Egyéb, szakirodalomban talált érdekes megoldások

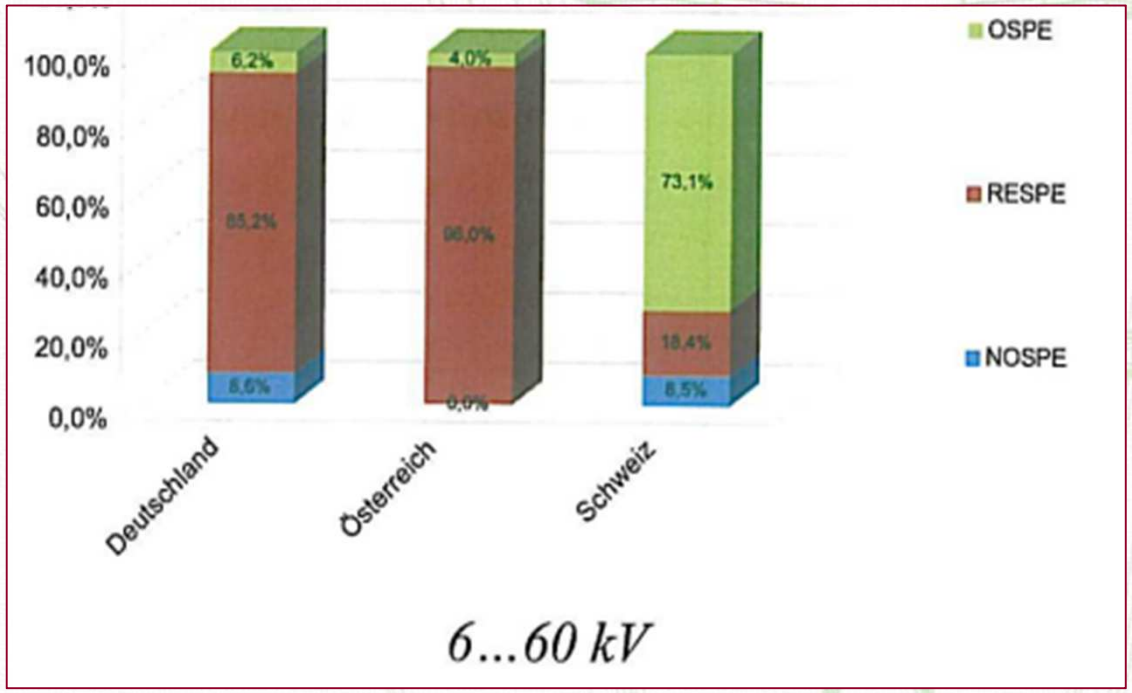
Tartalom

- D-A-CH felmérés
  - A csillagpontkezelés módja
  - Jellemző kapacitív földzárlati áramok nagysága
  - Maradékáramok és hangoltság
  - Földzárlat tartás jellemzői
  - Szelektív vonalkiválasztási eljárások
- Egyéb csillagpontkezelési megoldások
  - Pontos kompenzálás
  - Maradékáram kompenzálás (RCC)
  - Maradékáram harmonikus tartalmának csökkentése
  - Szabályozható csillagpont földelő transzformátor

D-A-CH felmérés, 2011

D-A-CH sajátosságok

- D: köf hálózat döntően 20 kV (196e km*), és kisebb mértékben 10 kV (68e km*)
  jelentős a kábelarány: **70%**
- A: **63%**
- CH: **60%**



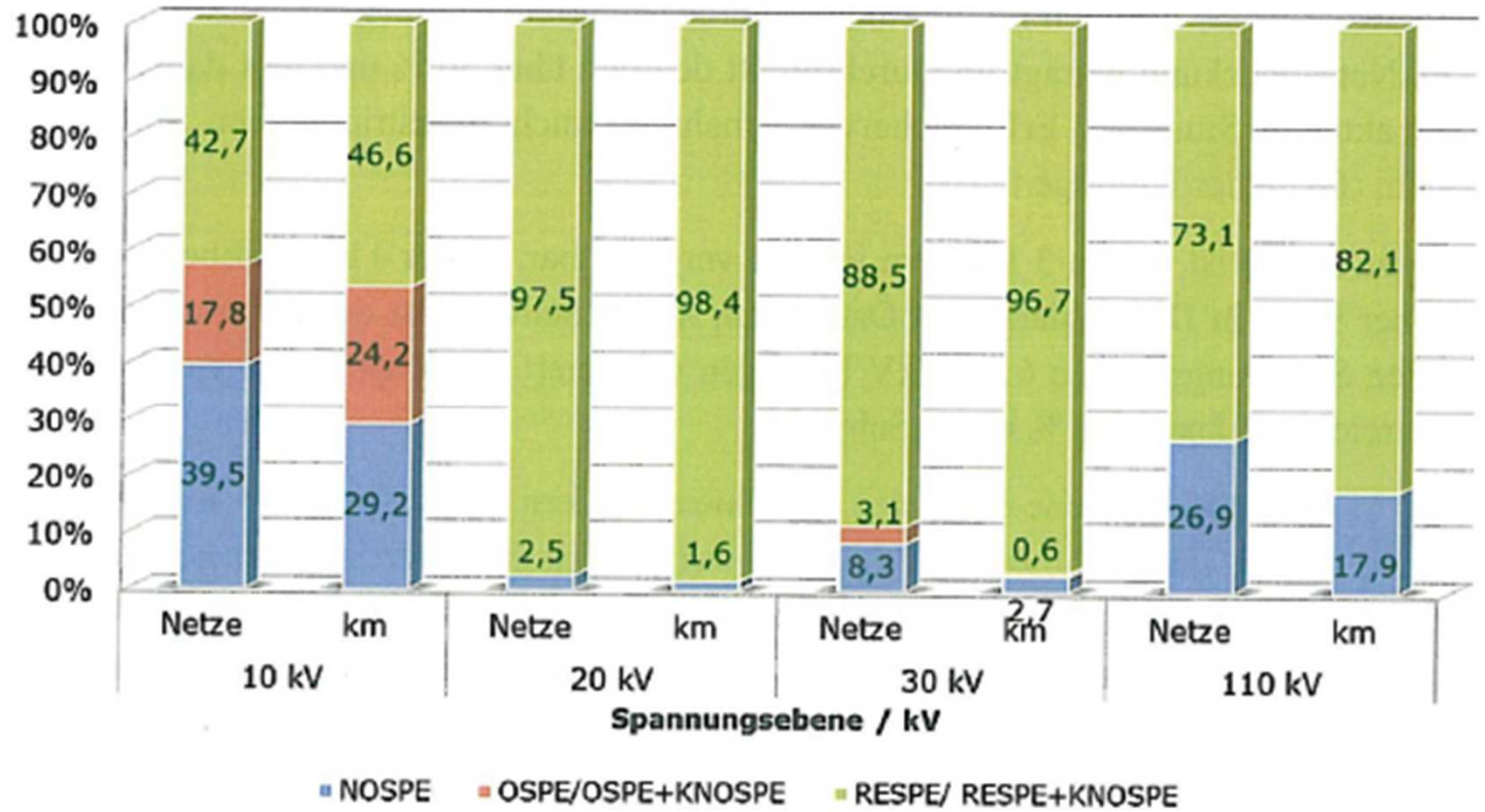
Szigetelt

Kompenzált

Hosszú föld

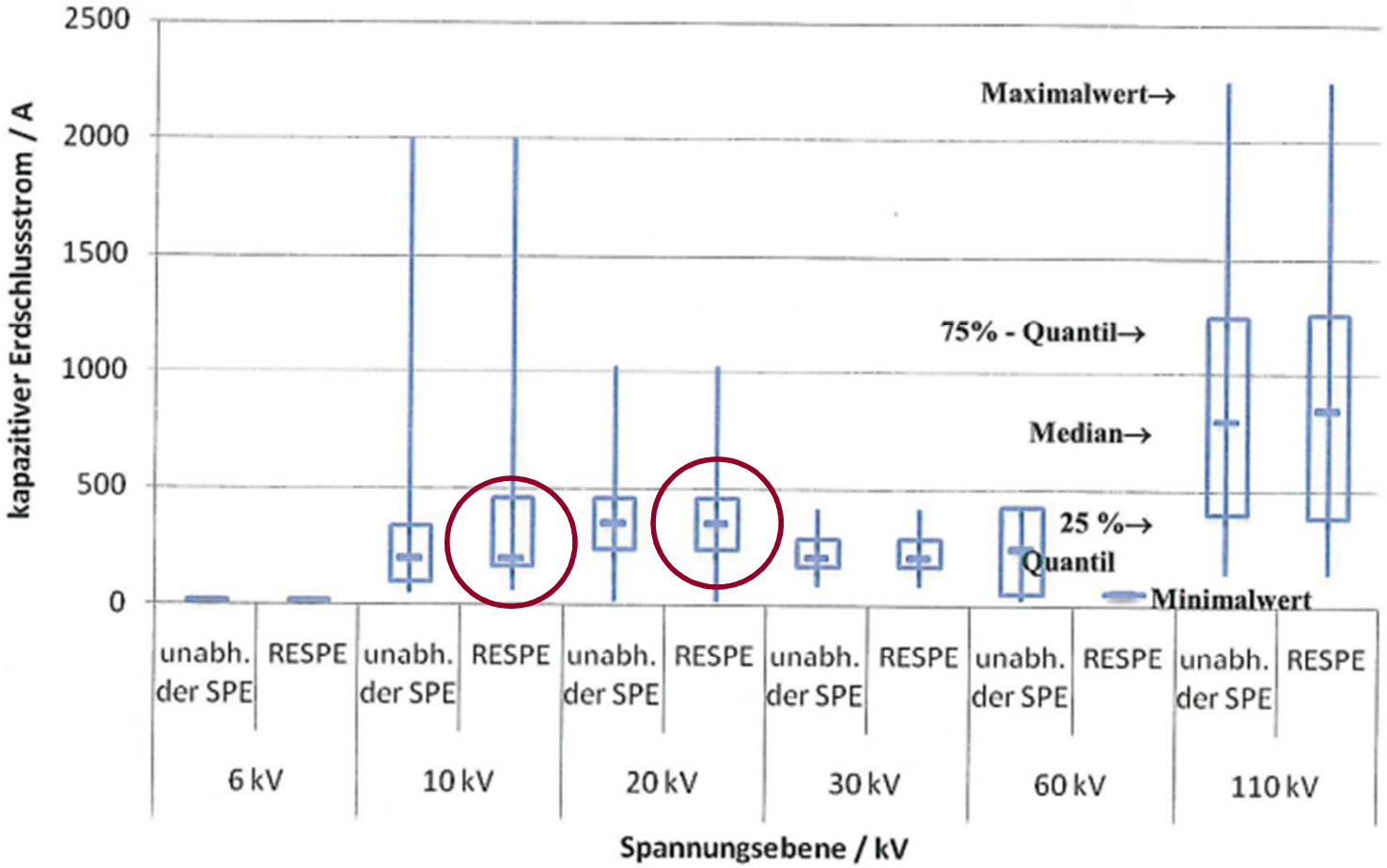
* A felmérésben szereplő hálózatok

Német sajátosságok



Hosszú föld *Szigetelt* *Kompenzált*

Kapacitív fz. áram nagysága (D-A-CH)



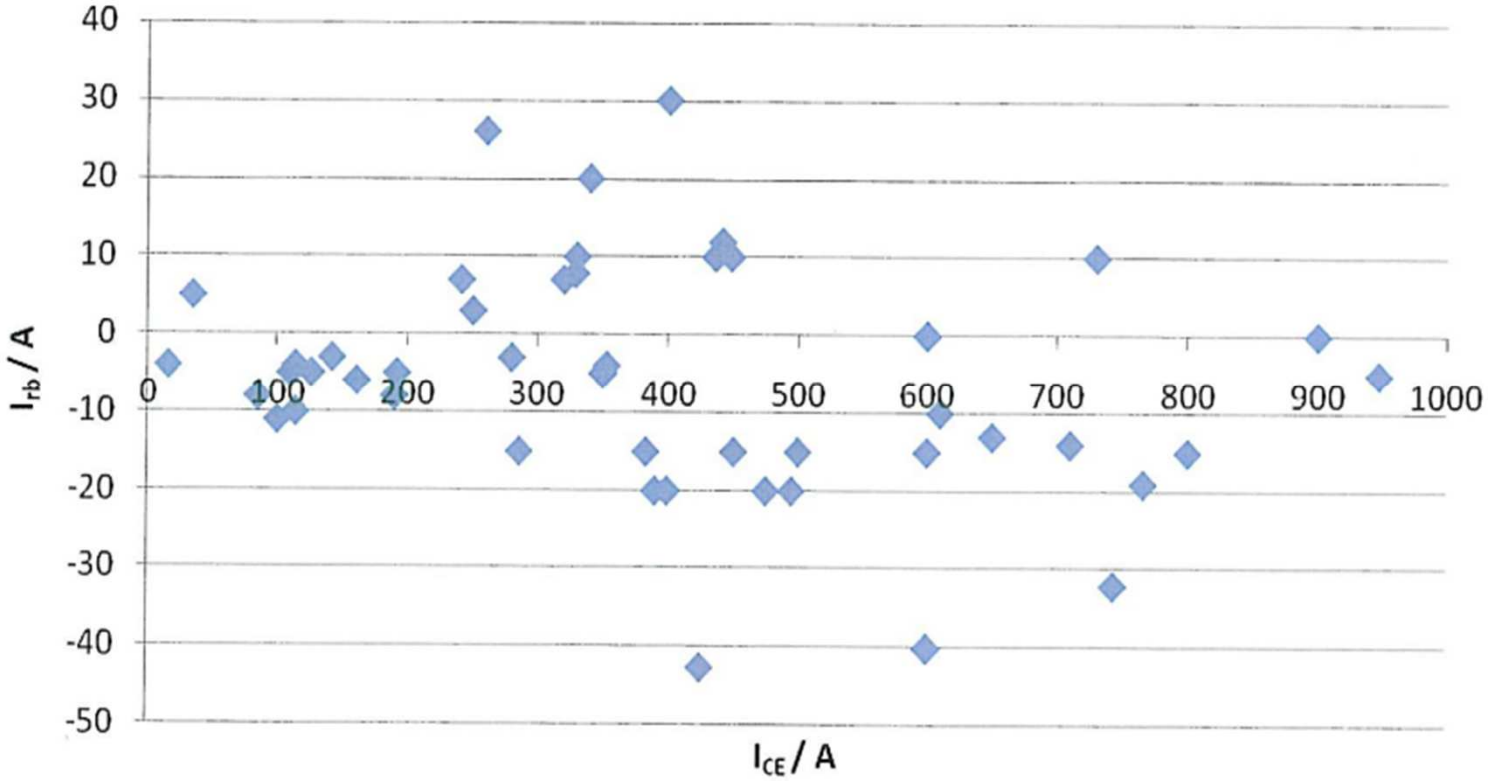
4-23: Vergleich des kapazitiven Erdschlussstroms in resonanzsternpunktgeerdeten Netzen und allen erfassten Netzen unabhängig der Sternpunkterdung in Deutschland, Österreich und der Schweiz

D, 20 kV, meddő maradékáramok

Alulkompenzált

Meddő maradékáram

Túlkompenzált



Kapacitív földzárlati áram nagysága

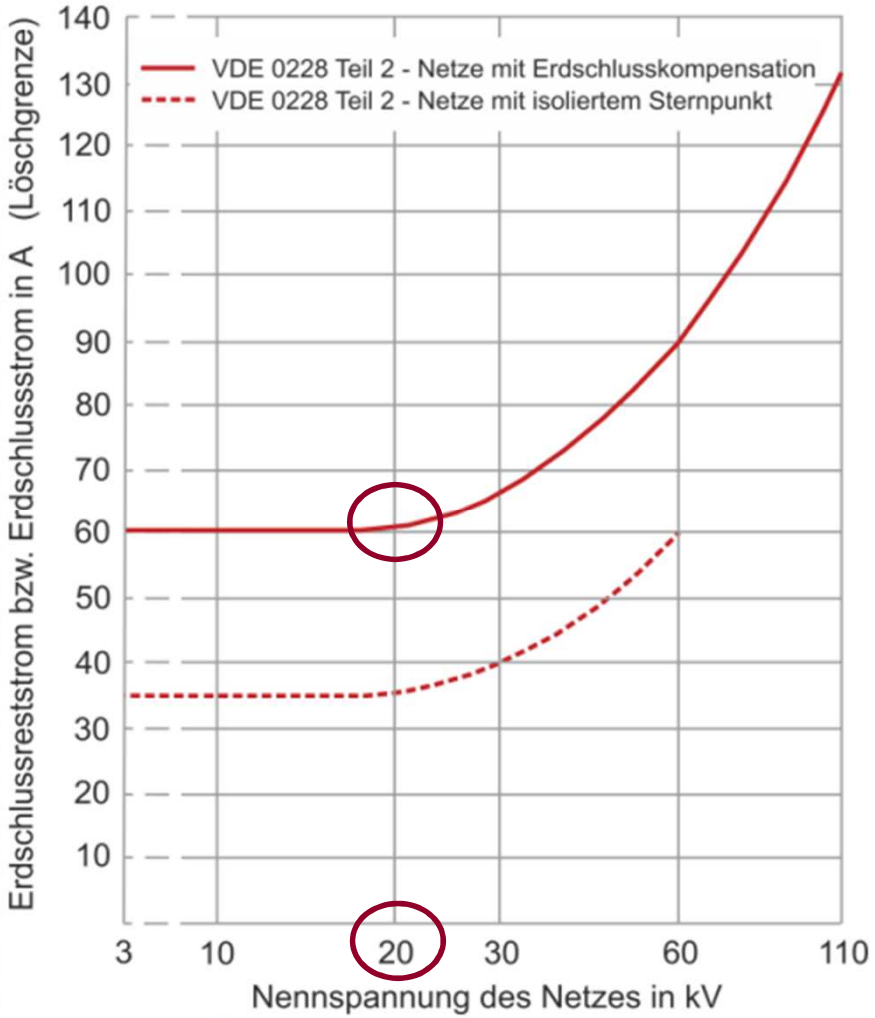
„Ívkialvási határáram”

A maradékáram nagysága a német 20 kV-os hálózatok 68%-ában **60 A** és 19%-ában 40 A.

Ennek oka: VDE 0228-2:1987-12

➔➔ *Hogyan tudják az érintési feszültségeket betartani?*

- *Görbesereg közül a legnagyobb értékeket tartalmazó görbe használata*
- *Oszlopok csoportosítása megközelíthetőség alapján*
- *Mérések*
- *Kiegészítő intézkedések*
- *Konkrét DSO: 15.000 oszlop, 800: alaposabb vizsgálat, 400: intézkedések*



Szelektív vonalkiválasztás

- D, 20 kV: csak a hálózatok 6,4%-ában van FÁNOE
  - folyamatosan bekapcsolt ellenállás a wattos maradékáram 5..10 A-rel történő megnövelésére
  - hibamentes üzemben ellenállás bekapcsolva tartása, 5..20 A-es maradékáram növelés a zárlat utáni néhány másodpercig, utána ellenállás kikapcsolása
  - rövid idejű wattos maradékáram növelés 300 A-es nagyságrendben
- A: köf hálózatok 3,4%-án FÁNOE

Szelektív vonalkiválasztás, D

Egy elosztó többet is használ

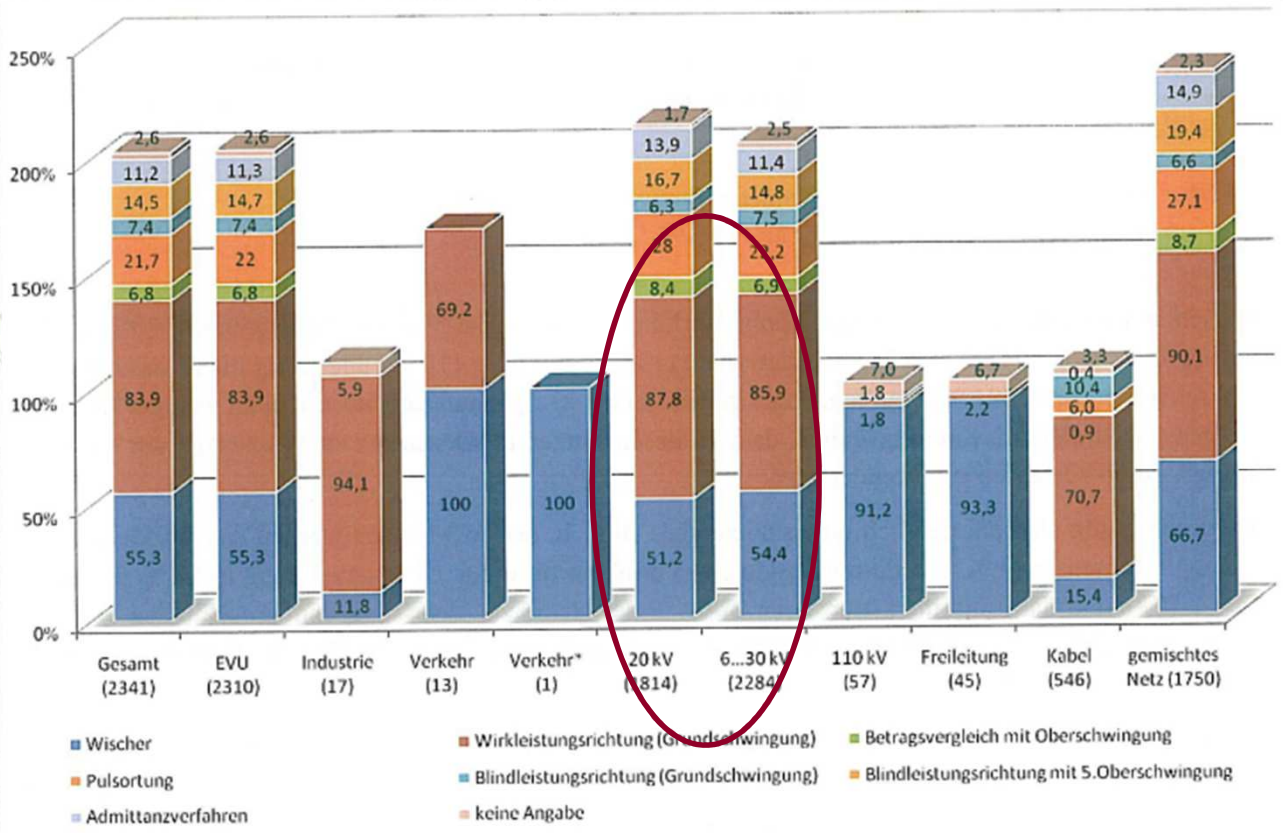


Bild 4-63: *Verfahren zur selektiven Erdschlusserfassung in Netzen in Deutschland (Bezugsgröße: Netzgebiete; siehe Frage 4.11)*

Szelektív vonalkiválasztás, A

Egy elosztó többet is használ

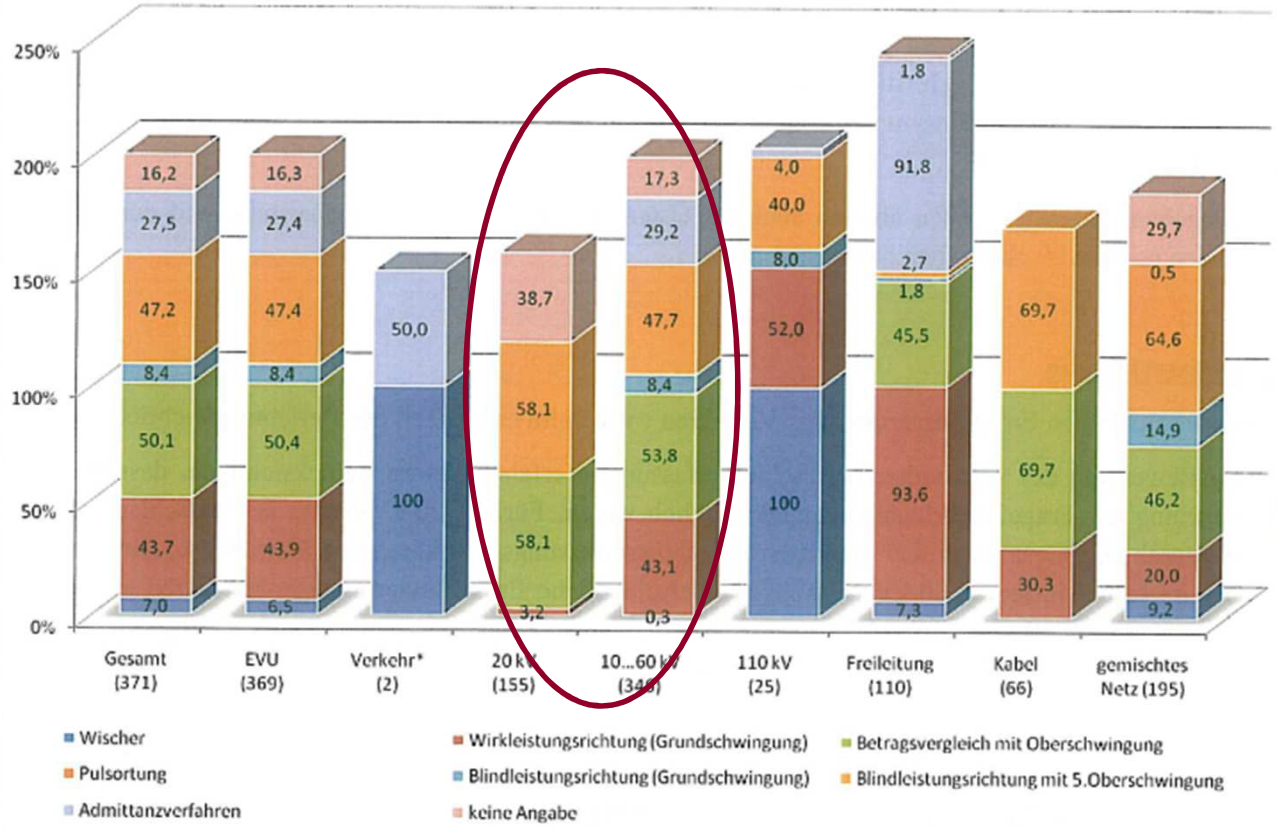


Bild 4-64: *Verfahren zur selektiven Erdschlusserfassung in Netzen in Österreich (Bezugsgröße: Netzgebiete; siehe Frage 4.11)*

Földzárlat tartás

- A lekapcsolás nélküli hibahely behatárolás (földzárlat tartás) a német középfeszültségű hálózatok kb. 25%-ában jellemző
- A többi helyen megengedett a lekapcsolással járó hibahely behatárolás.
- Azonban a hálózatok több mint 80%-ában lehetőség van a kiesés nélküli hibahely behatárolásra.

Érdekességek

Pontos kompenzálás

- Általában nem szokás: aszimmetria ➔ U0 ➔ rezonancia
- De zárlat közben jó lenne
- Zárlat közben történő hangolás nem elég gyors

➔

- Zárlatmentes állapotban pontos kompenzálásra hangolt ívoltó tekercs
- Segédtekercsen induktivitás: biztosítja a túlkompenzálást
- Zárlat közben ezt kiveszik

Maradékáram aktív kompenzálása

- RCC (Residual Current Compensation)
- Ívoltó tekerccsel párhuzamosan egy inverter
- Ez a maradékáramot a hibahelyen (ellenirányú injektálással) kioltja

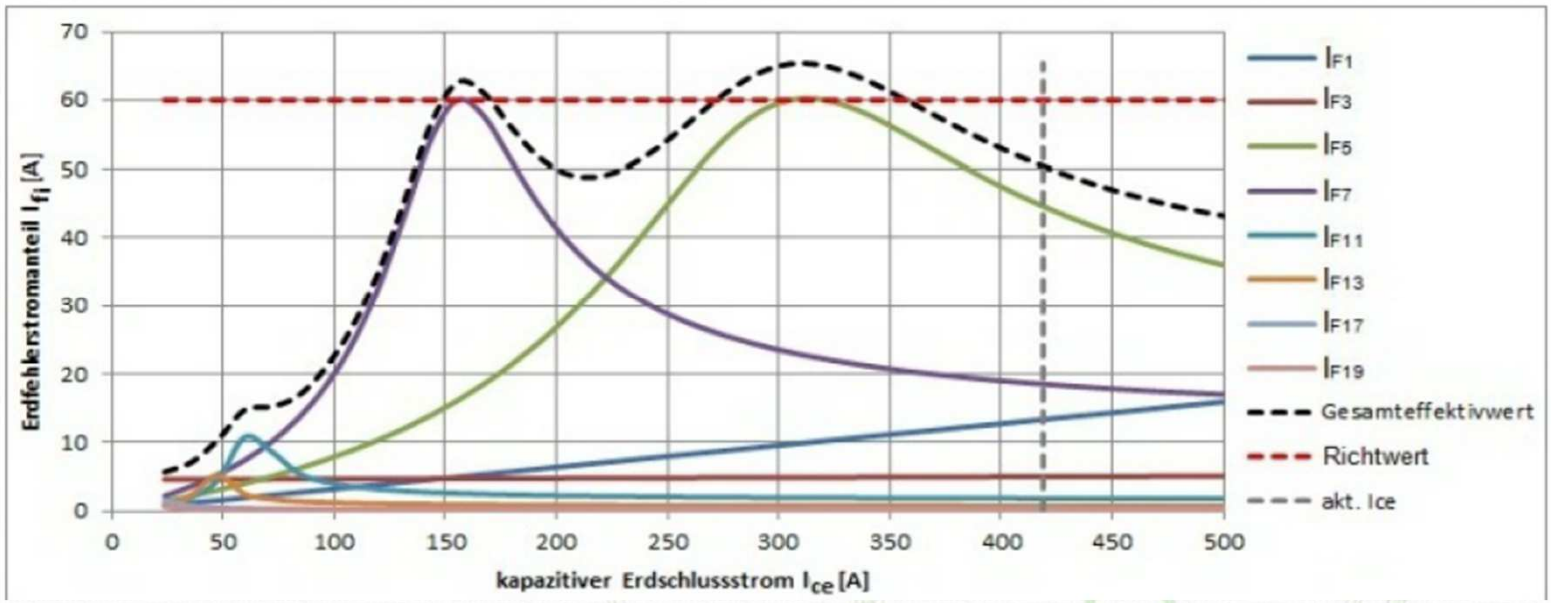
➔ Oszlopföldelési ellenállás értékétől függetlenül veszélytelen érintési feszültség!

Szükséges teljesítmény: pl. 20 kV, 10A ➔ 115 kW inverter

Tesztelték 110 kV-os hálózaton is

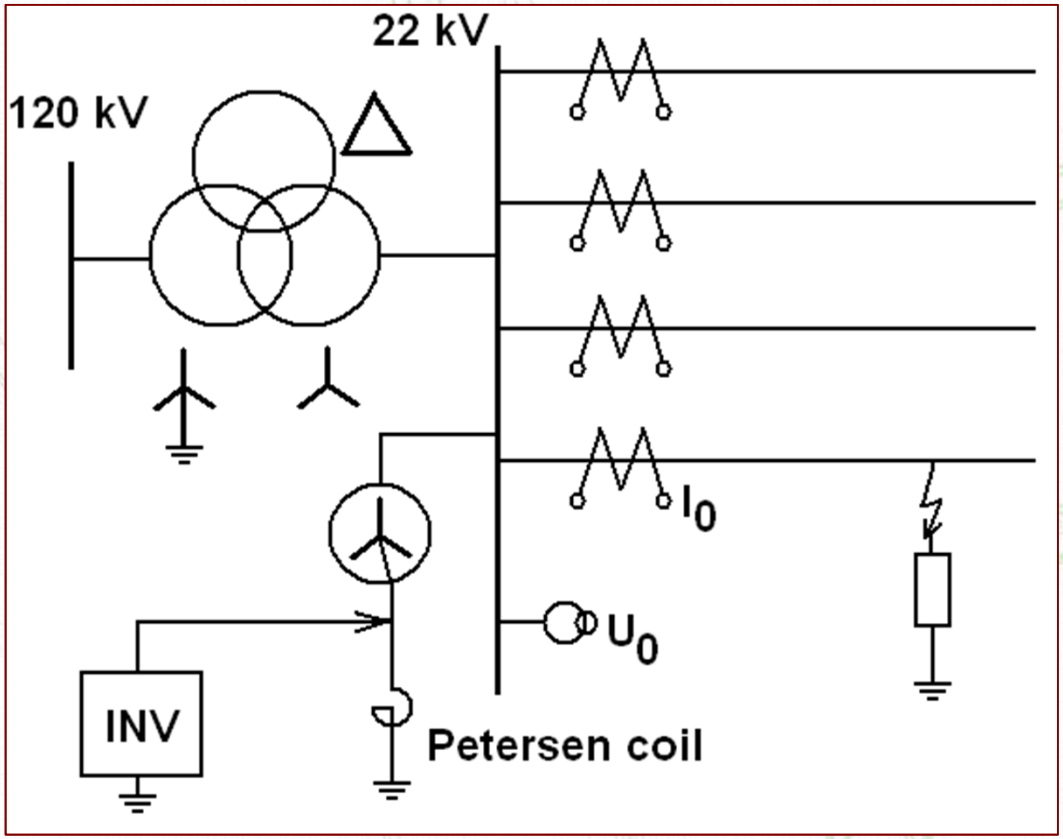
Maradékáram harmonikus tartalma!

- Növekvő DG és növekvő kábel-részarány ➔ egyre nagyobb harmonikusok a maradékáramban

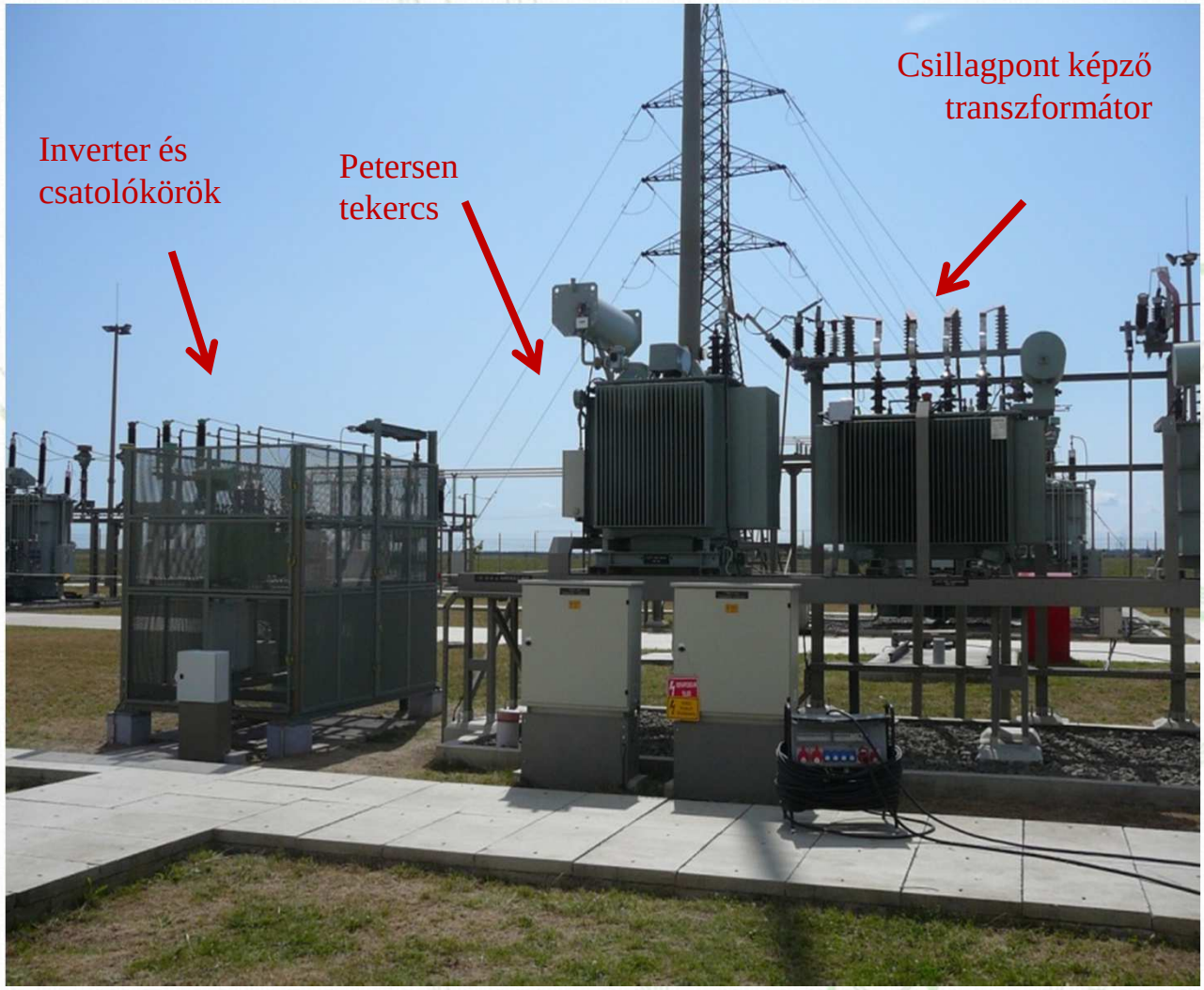


- Ill. szélparkok közelében a hosszú földelő ellenálláson túl nagy harmonikus áramok hibás kioldásokhoz vezettek!

Hazai megoldás: FZHM

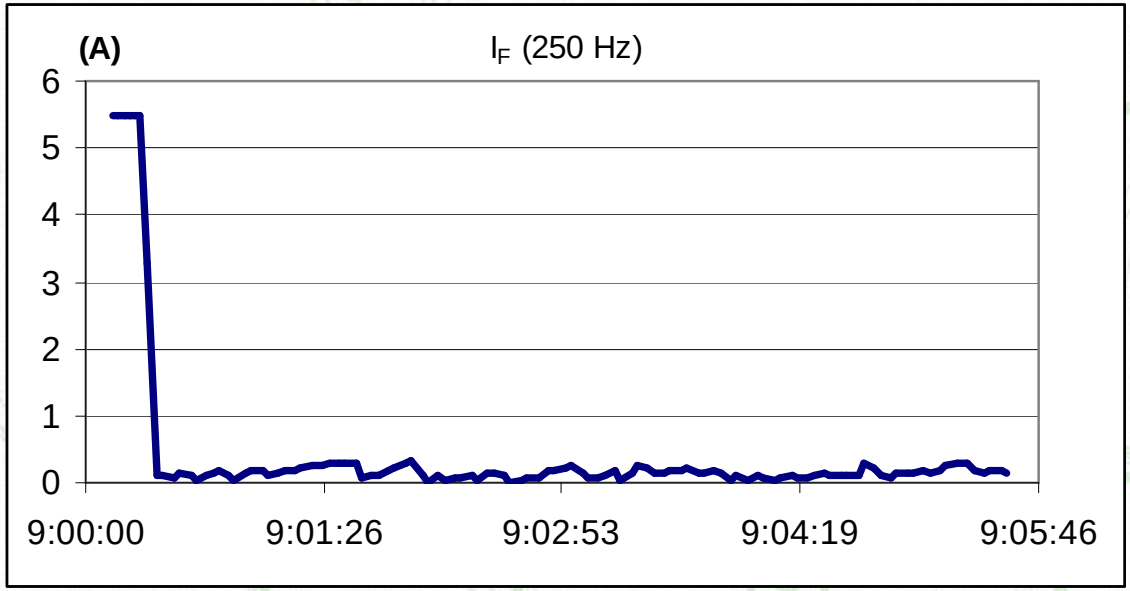


Telepített berendezés



Eredmények – hibahelyi maradékáram 5. harmonikus tartalma

- Helyszíni mérés I.:

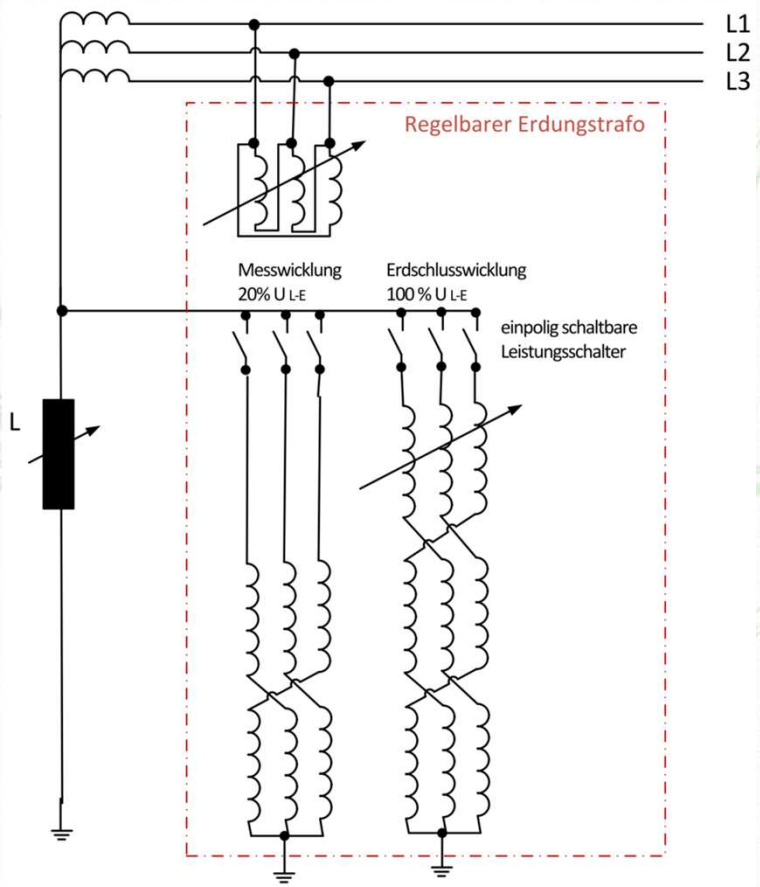


- Helyszíni mérés II.:

250 Hz : 8.3 A ➔ 0.3 A

Szabályozható csillagpont földelő tr.

- Az alapharmonikus maradékáramot kompenzáló inverter egyelőre drága
- Helyette:



- Szabályozása lassabb
- Egyelőre csak kísérlet

Villamos Energetika Tanszék

Villamos Művek és Környezet Csoport

Köszönöm a figyelmet!

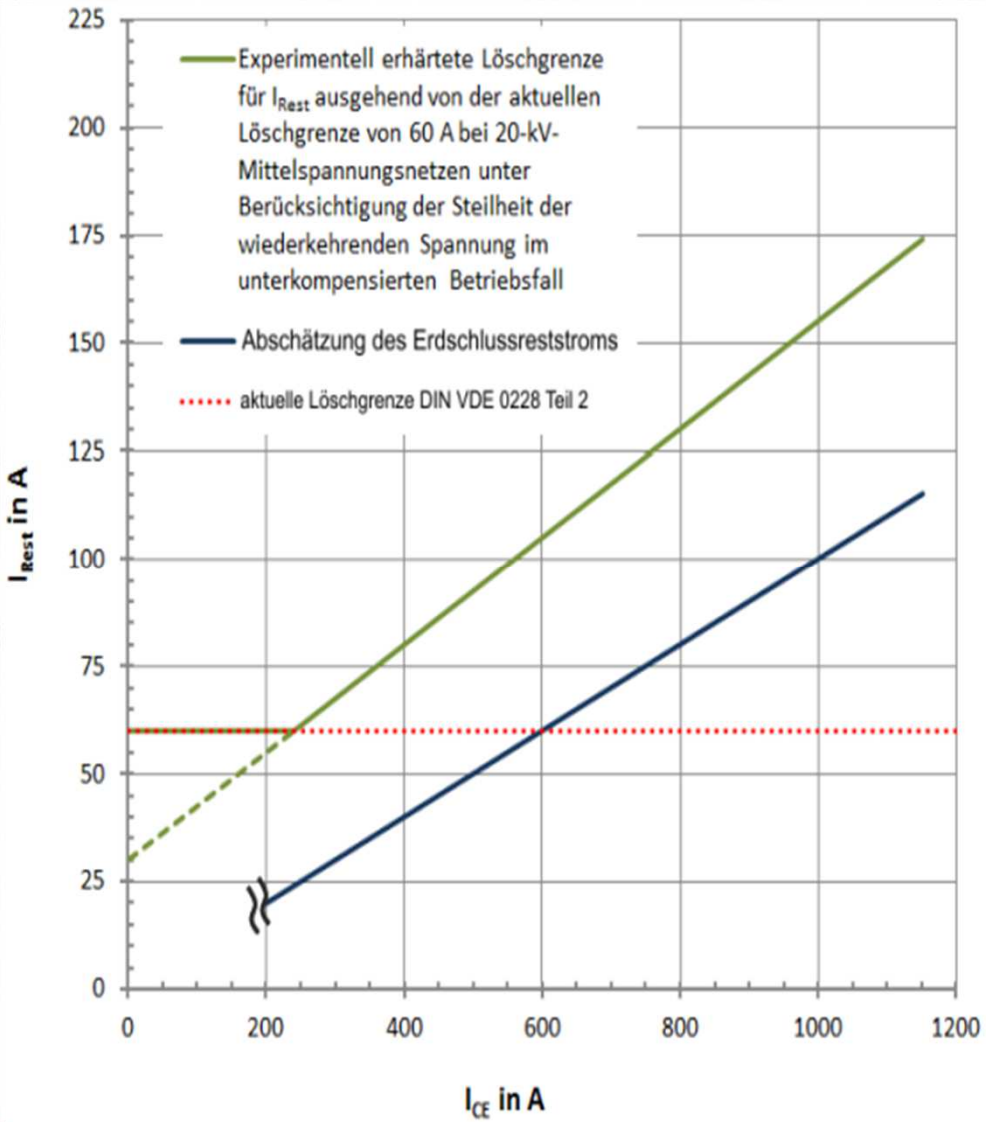
Dr. Raisz Dávid, raisz.david@vet.bme.hu

Hátrasorolt diák

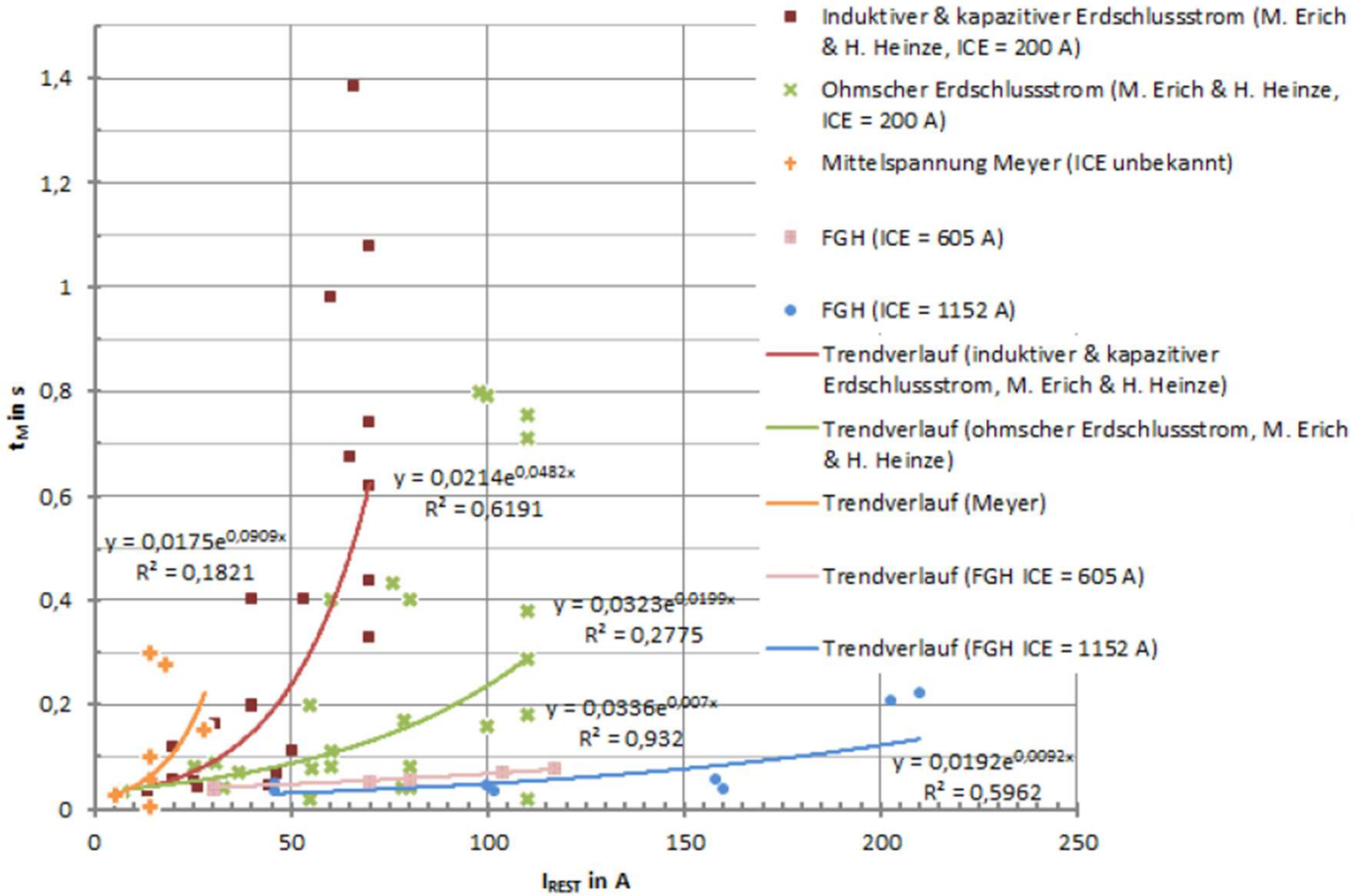
„Ívkialvási határáram”

Régi mérési eredmények újra feldolgozásával:

- Meg lehet haladni a 60A-t
- Minél nagyobb a hálózat (ICE), annál nagyobb az ívialvási határ

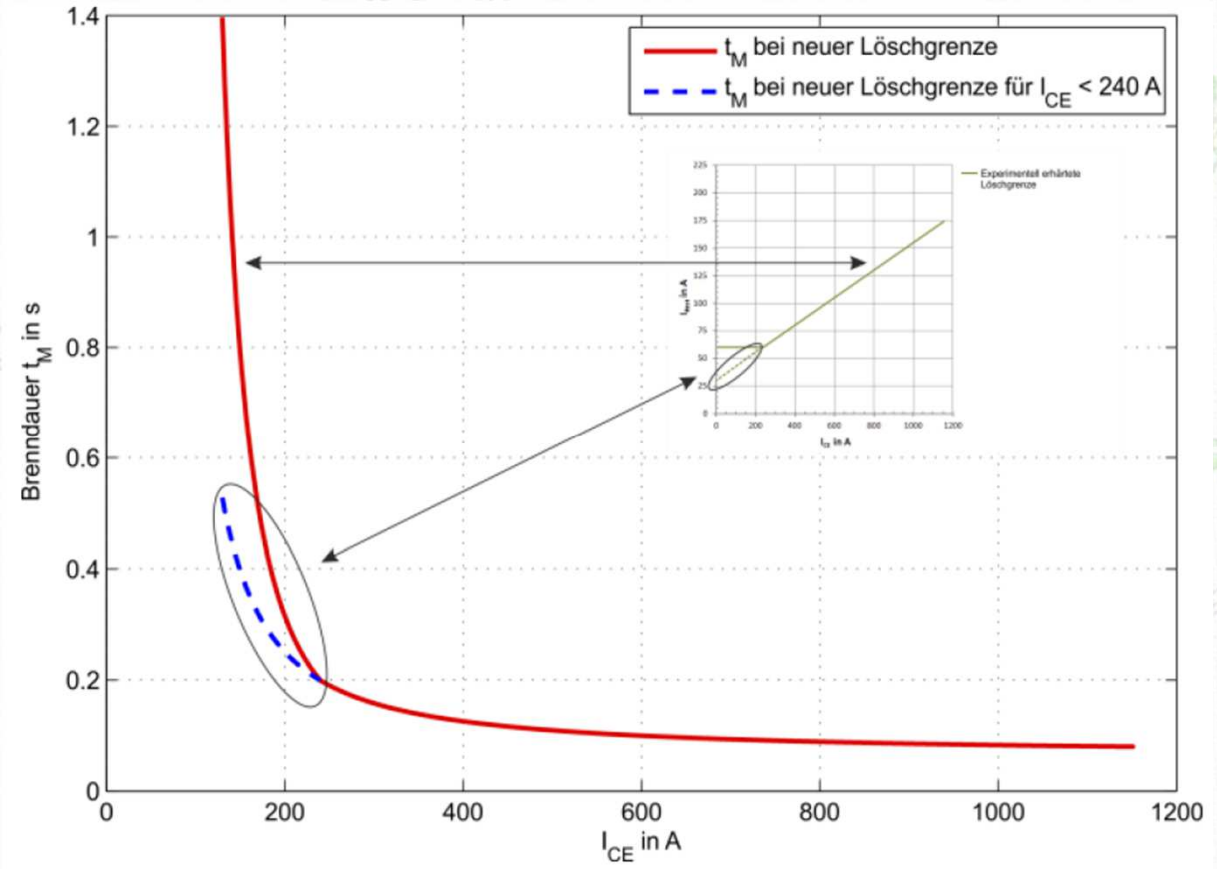


Ívkialvási idők (köf)



Ívkialvási idők

- Minél nagyobb a maradékáram, annál gyorsabban kialszik (???!?!?)



Kettős földzárlatok bekövetkeztének valószínűsége

schaltung des Erdfehlers erfolgt. Original-Wortlaut der Fußnote: „Wenn eine automatische Abschaltung von Erdschlüssen nicht vorgesehen ist, ist die Notwendigkeit zur Berücksichtigung von Doppelerdschlüssen abhängig von den Betriebserfahrungen"

- „Ha nincs automatikus földzárlatmegszakítás, akkor a kettős földzárlatok figyelembevételének szükségessége az üzemviteli tapasztalatoktól függ."
- Tehát a **fz. tartás** engedélyezése érdekében figyelemmel kell lenni a kettős fz-okra is. Egy cikk azt vizsgálta, hogy mekkora ezek bekövetkezésének a valószínűsége **kábelhálózatokon**
- 65-ször nagyobb a valsége

közlekedési halálozásnak

- 1000-szer nagyobb a közvetlen

villámcsapás általi halálnak

	Doppel- und Mehrfacherdschluss pro 100 km	Eintrittswahrscheinlichkeit (pro m Stromkreislänge)
2007	0,146	$1,41 * 10^{-6}$
2008	0,172	$1,72 * 10^{-6}$
2009	0,141	$1,46 * 10^{-6}$
2010	0,185	$1,85 * 10^{-6}$
2011	0,132	$1,32 * 10^{-6}$
2012	0,140	$1,40 * 10^{-6}$

Vonalkiválasztás - FPE

Faulty Phase Earthing

- Voltak hazai kísérletek is, de végül elvetették
- Gond: terhelő áram egy része a hibahelyi áramot növeli

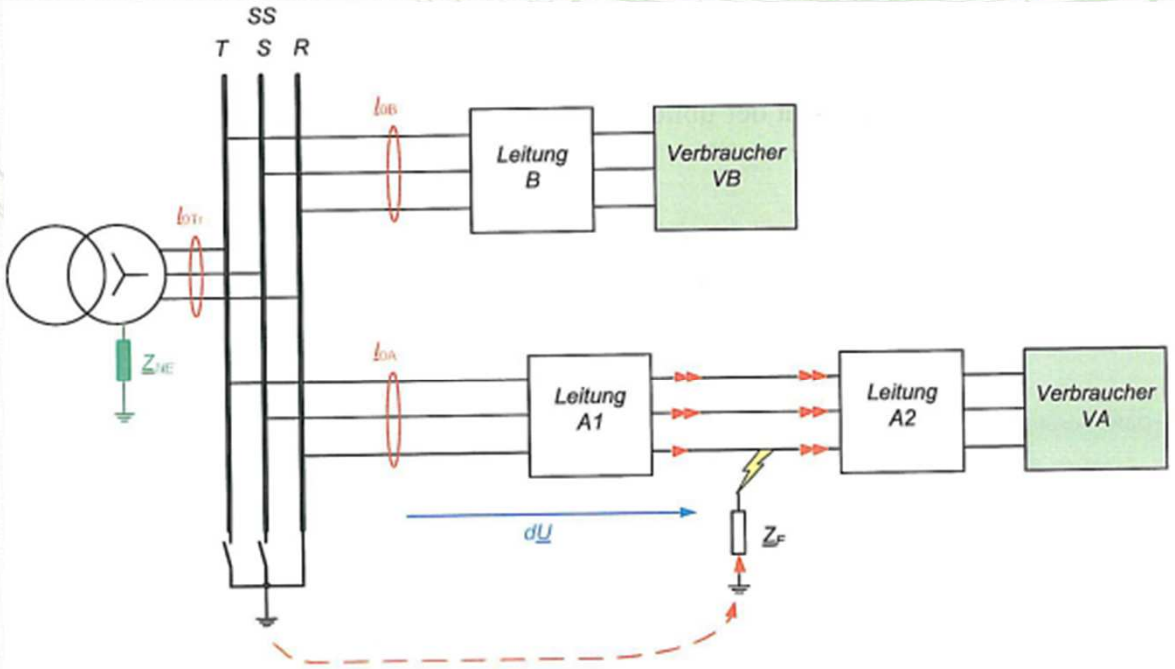
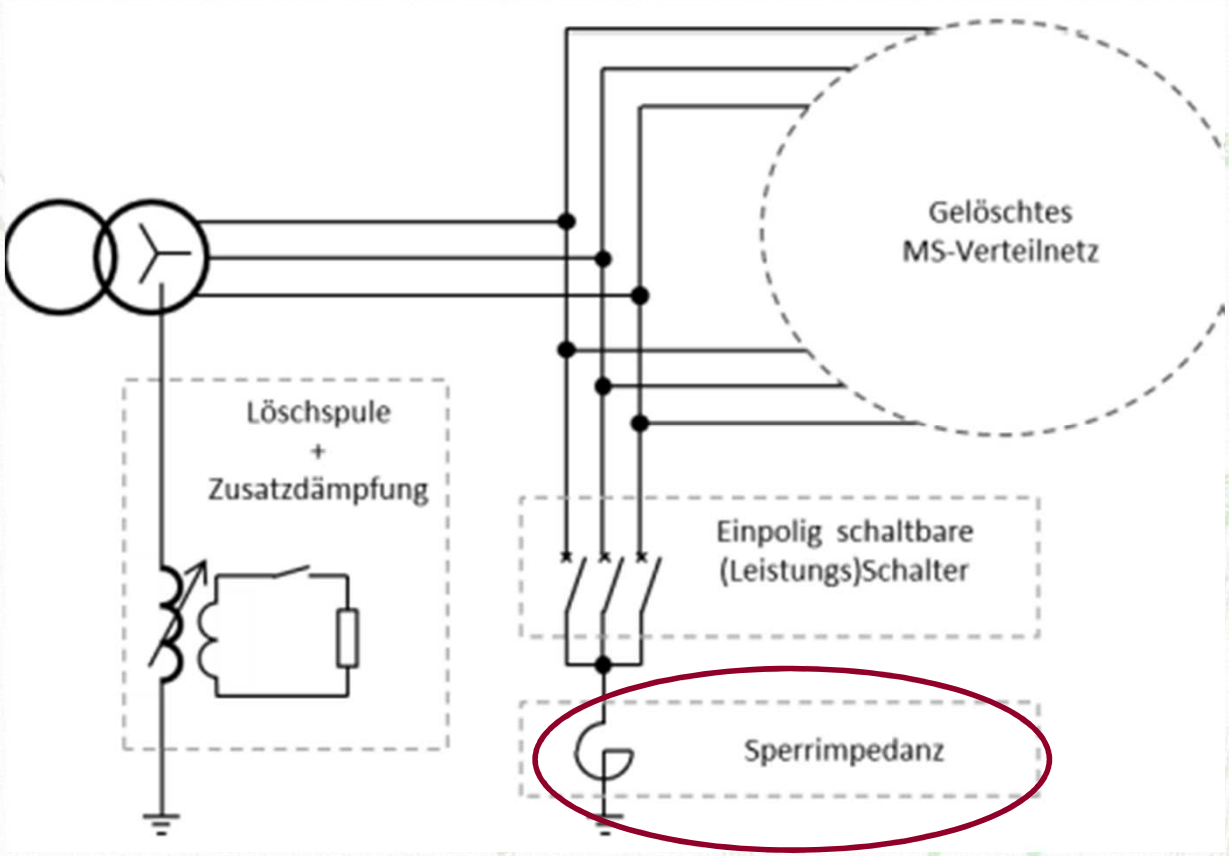


Bild 3-42: *Erden der fehlerhaften Phase im Umspannwerk*

Vonalkiválasztás - FPE

- Mégis: svájcban alkalmazzák, cseheknél is kezdik



Vonalkiválasztás - FPE

- Ha impedancia túl nagy: nem csökken a zárl.mardékáram
- Ha túl kicsi: a terhelő áram nagyobb része átfolyik a hibahelyen

MEGOLDÁS:

5..15 Ohm közötti érték (hálózatfüggő) az ideális

(Kábelhálózaton csinálják!)

Vonalkiválasztás - FPE

- 460 A kap.fz.áramú hálózat
- 90-120 A terhelő áram
- Változó hibahelyi ellenállás (80..600 Ohm)

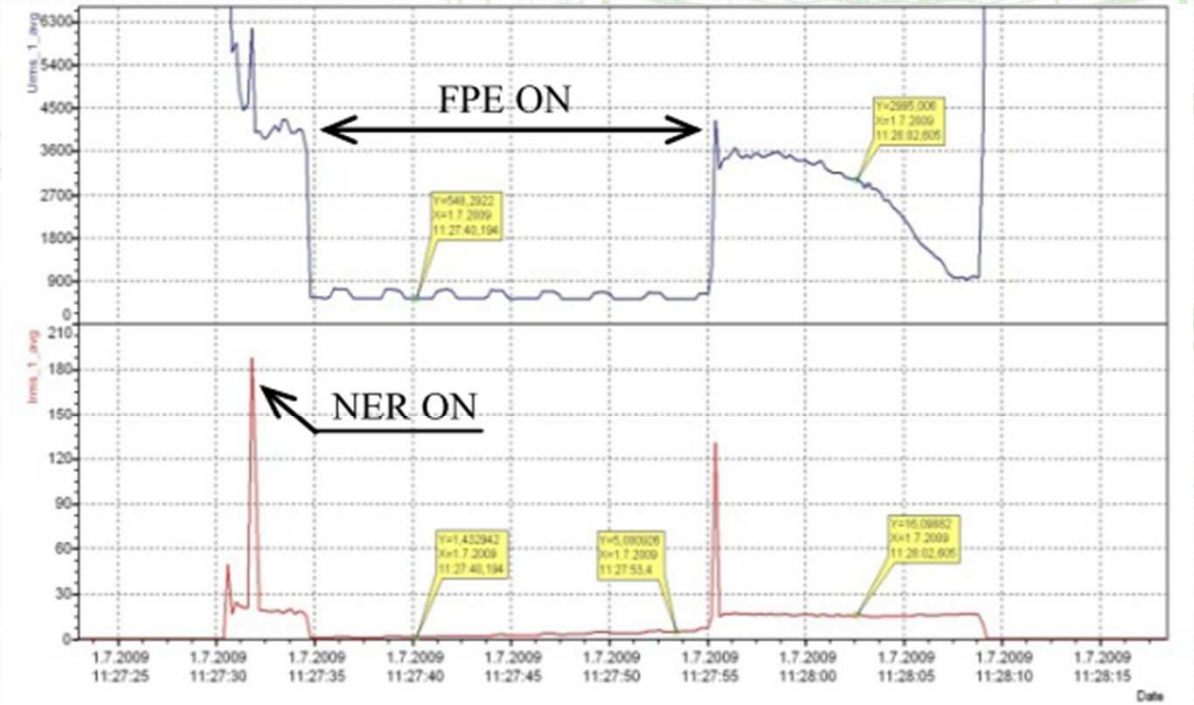


Bild 5: Spannung und Strom an der Fehlerstelle – Versuch mit variablem Fehlerwiderstand.

Vonalkiválasztás - FPE

- 460 A kap.fz.áramú hálózat
- 90-120 A terhelő áram
- Megfúrt kábel (szikraköz, ívkialvás)

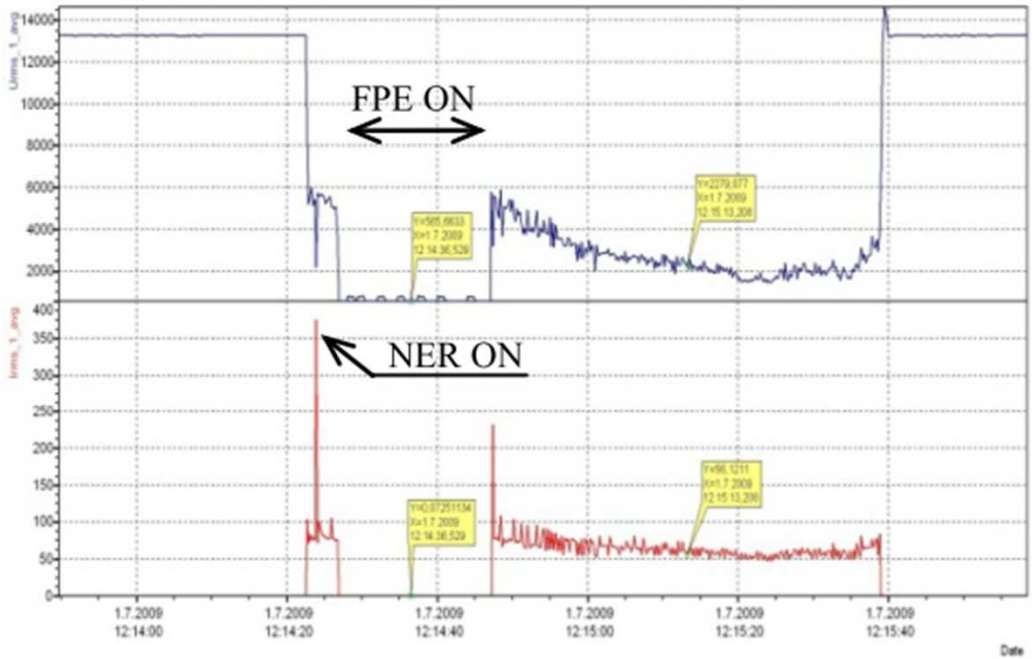


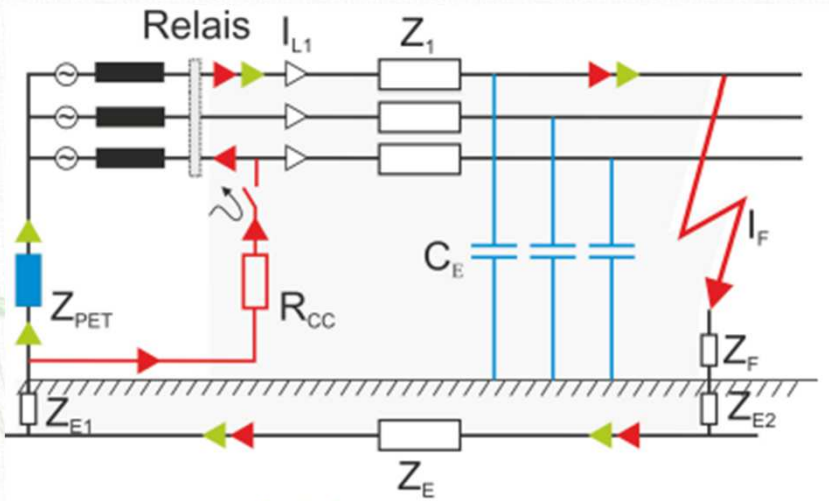
Bild 6: Spannung und Strom an der Fehlerstelle – Versuch mit einer Funkenstrecke.

Vonalkiválasztás - HPE

Healthy Phase Earthing!

Kettős földzárlat előidézése

➔ egyszerű védelmi működés



D, A: távolsági védelem ~10% pontosságú hibahely (?!)

Sikeres kísérlet;

Globális földelő rendszer volt,

2 helyen kellett elszigetelni a kapcsolóhelyet

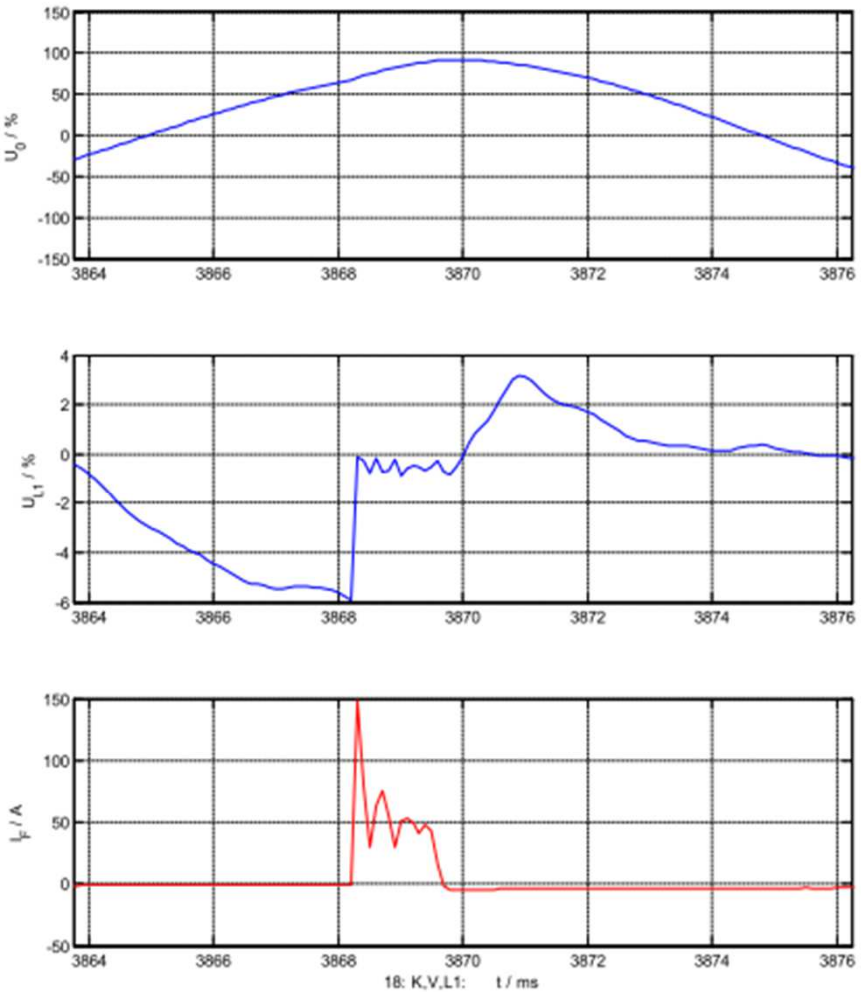
Bild 2: Messung von Berührungsspannungen

Kábelhálózat – kompenzálva?!?!

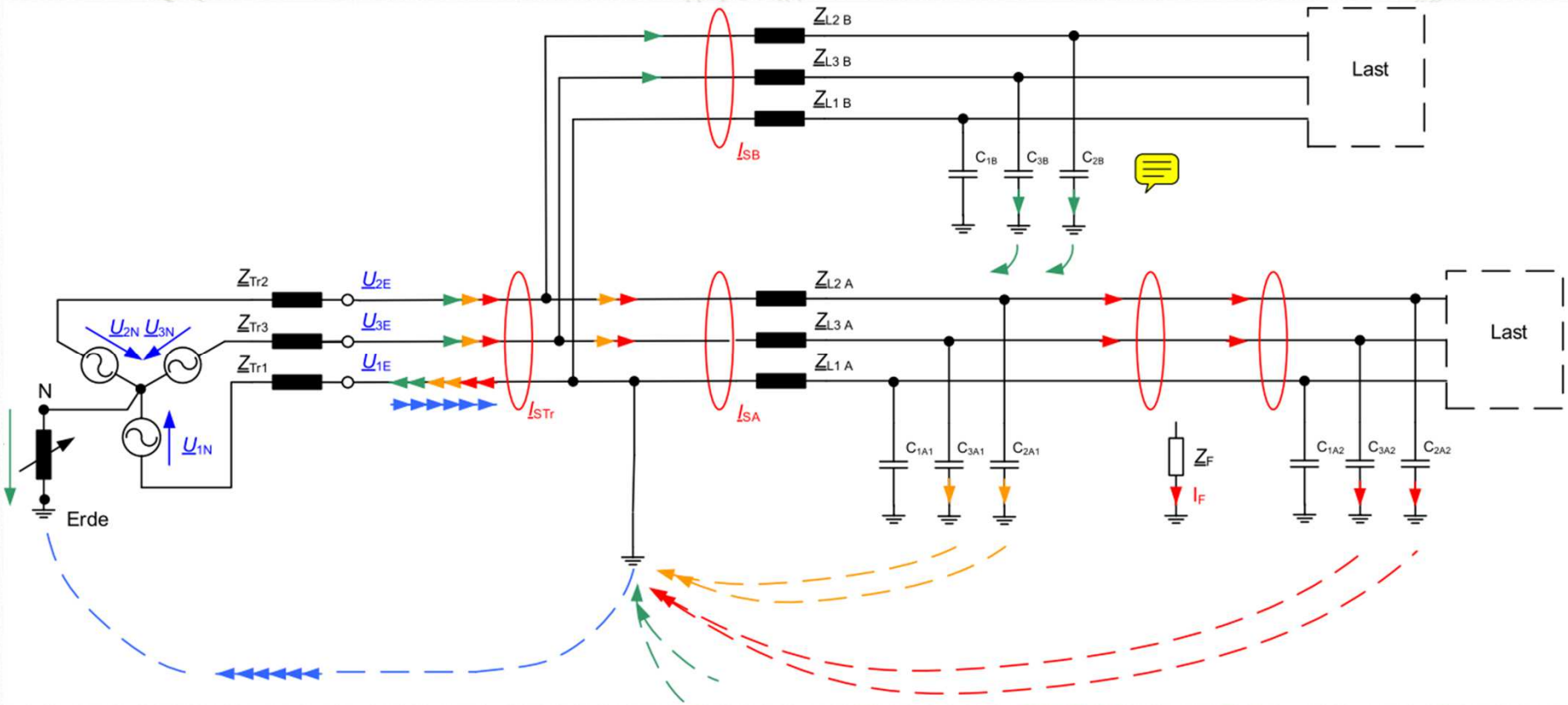
Félelem: 1FN ➔ 2FN zárlatba megy át, a hibahelyen felszabaduló nagy energia miatt

Mérés: a vándorhullámok miatt (ebben az esetben) csak 1,4 ms-ig áll fenn az (újragyulladó) ív

Teljesítmény csak 200W..1kW



Kábelhálózat + FPE

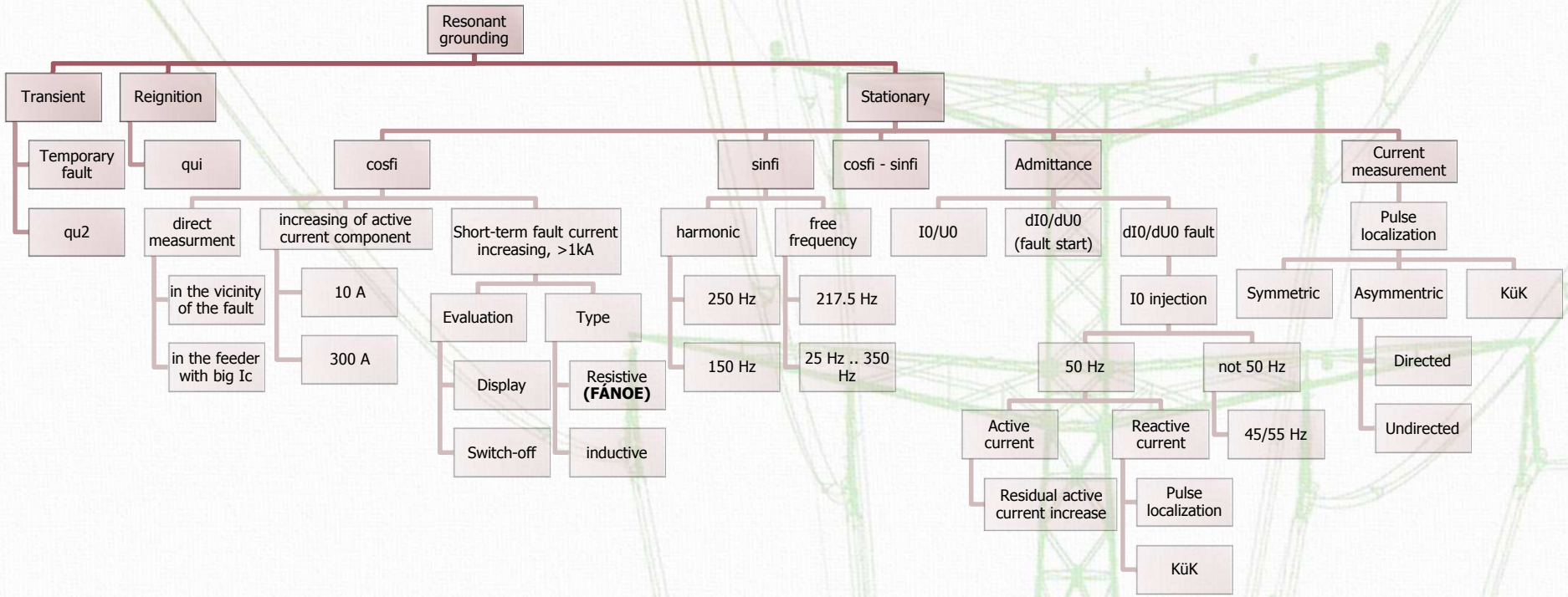


Kábelhálózat + FPE

Miért nem zavaró a terhelő áram a hibahelyen keresztül?
- Ha van globális földelőrendszer, az azt jelenti, hogy a hibahelyen a földelési ellenállás értéke 0, tehát akármekkora az áram rajta keresztül, nem lesz érintési feszültség ==> érdektelen...
- Ha nincs glob.földelőrendszer, akkor ezt azt jelenti, hogy nem kicsike a hibahelyen a földelési ellenállás: nagyobb, mint amit az alállomásban csinálunk ==> NEM fog a hibahelyen megnőni az áram, mert a terhelési áram nem fog a nagyobb ellenállású úton haladni. ...Az egészet azért javasolják, hogy kábelen is fenn lehessen tartani a zárlatos üzemet. De a döntés az operátor kezében marad: ha úgy látja, hogy nagy a hibahelyi áram, lekapcsolhatja a hálózatot. (Lehet érzékelni az alállomásban, hogy megnő-e a hibahelyi áram a terhelő árammal...)

Zárlatos vonal kiválasztásának módszerei

Sokféle módszert ismer az irodalom…

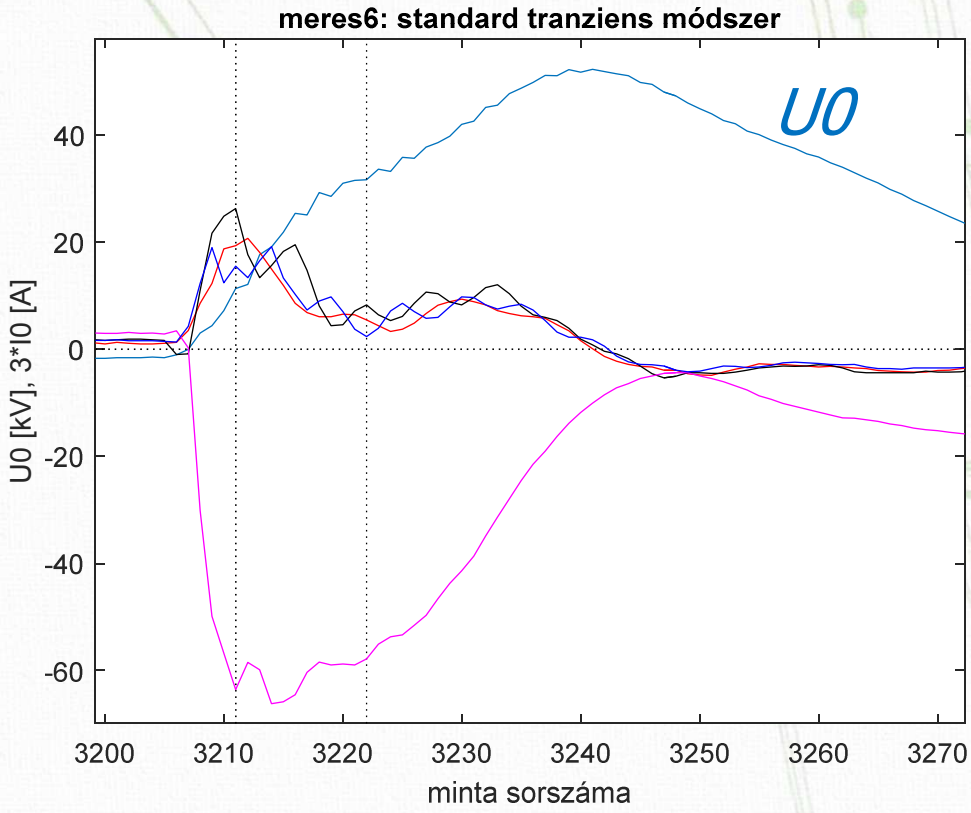


Az általunk vizsgált eljárások

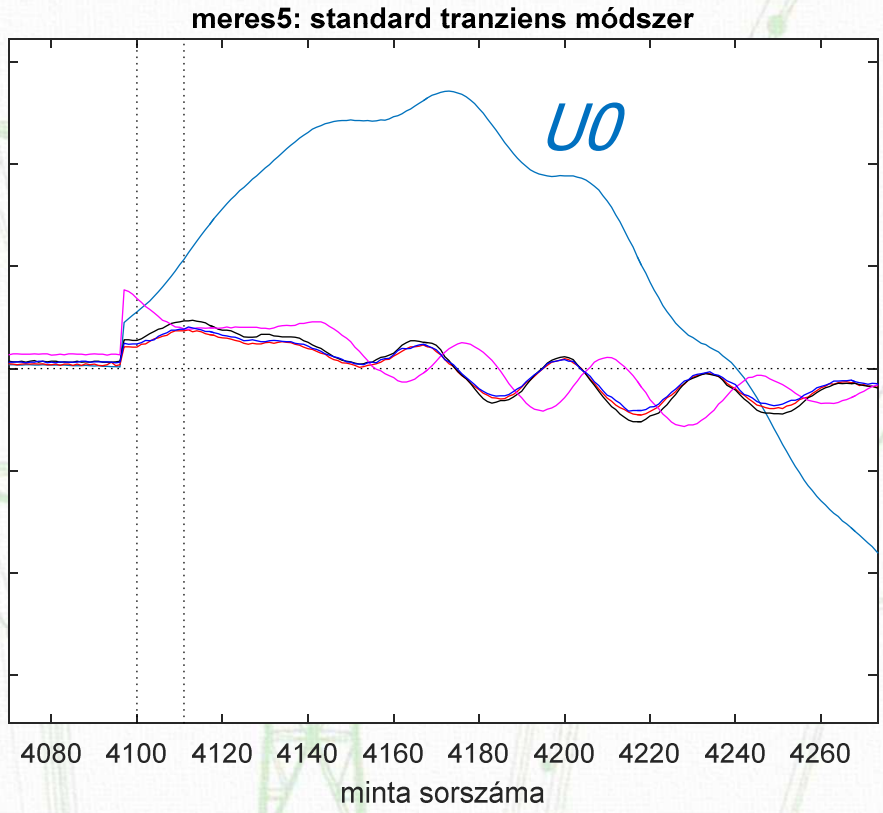
- Standard tranziens módszer („Wischer”)
- qu módszer
- qui módszer
- Cosφ (Wattmetrikus)
- Sinφ (szigetelt csp. esetén működik, kompenzáltnál nem)
- 250 Hz sinφ
- Admittancia
- DESIR

Standard tranziens módszer

Kis Rh

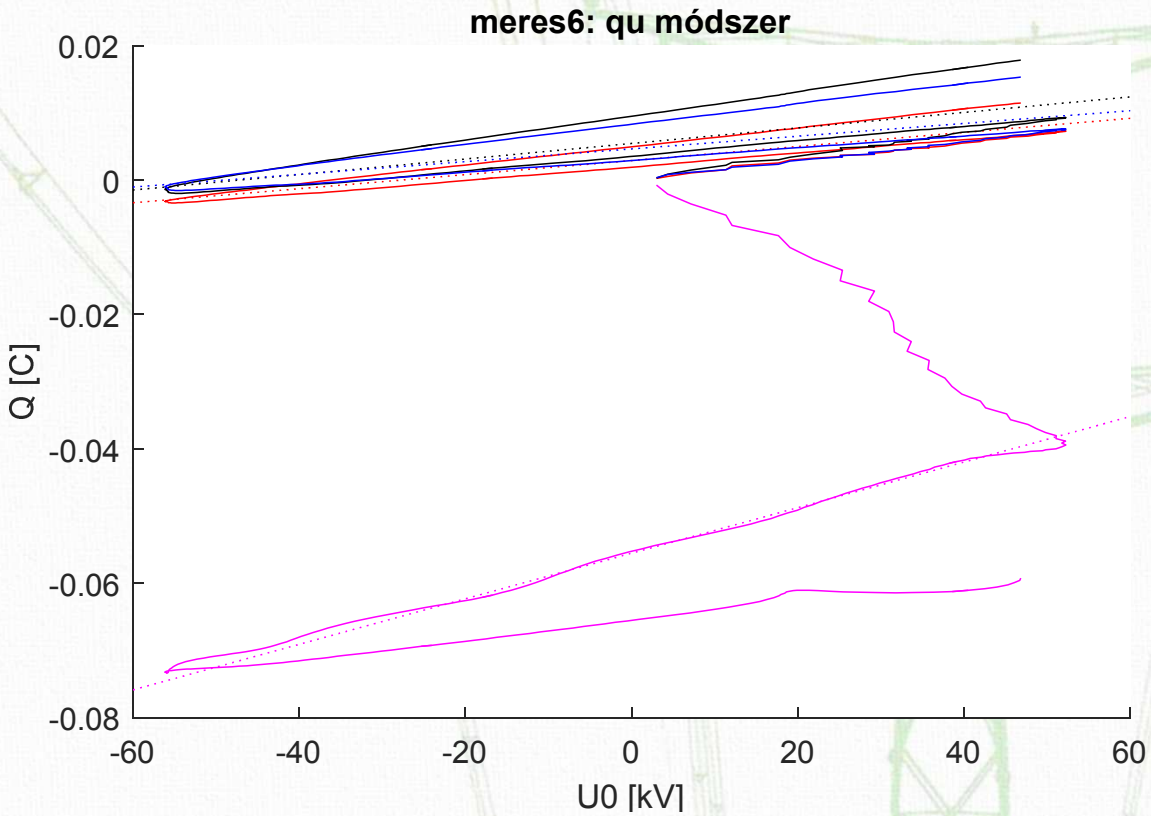


Nagy Rh



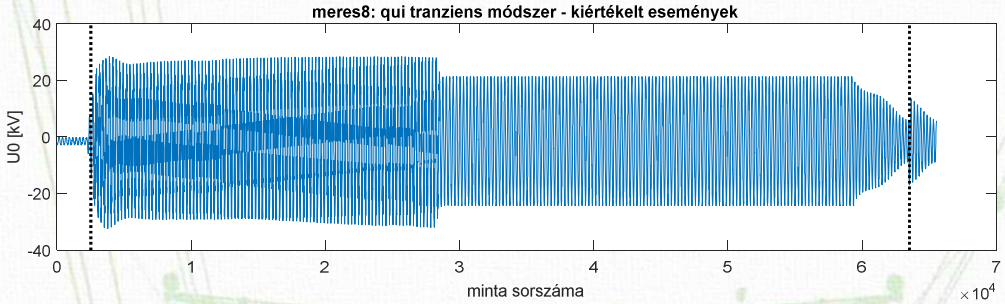
A qu módszer

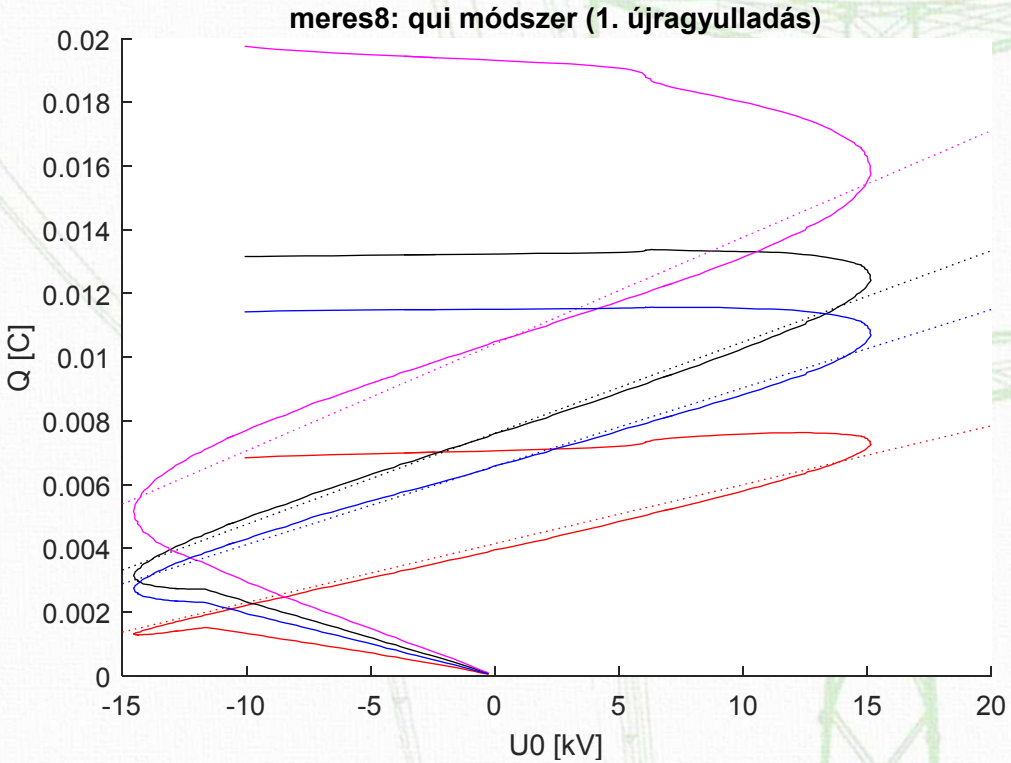
Ép vonalak zérus sorrendű áramának integrálja (töltés) arányos az u_0 feszültséggel, zárlatos vonalé nem



A qui módszer

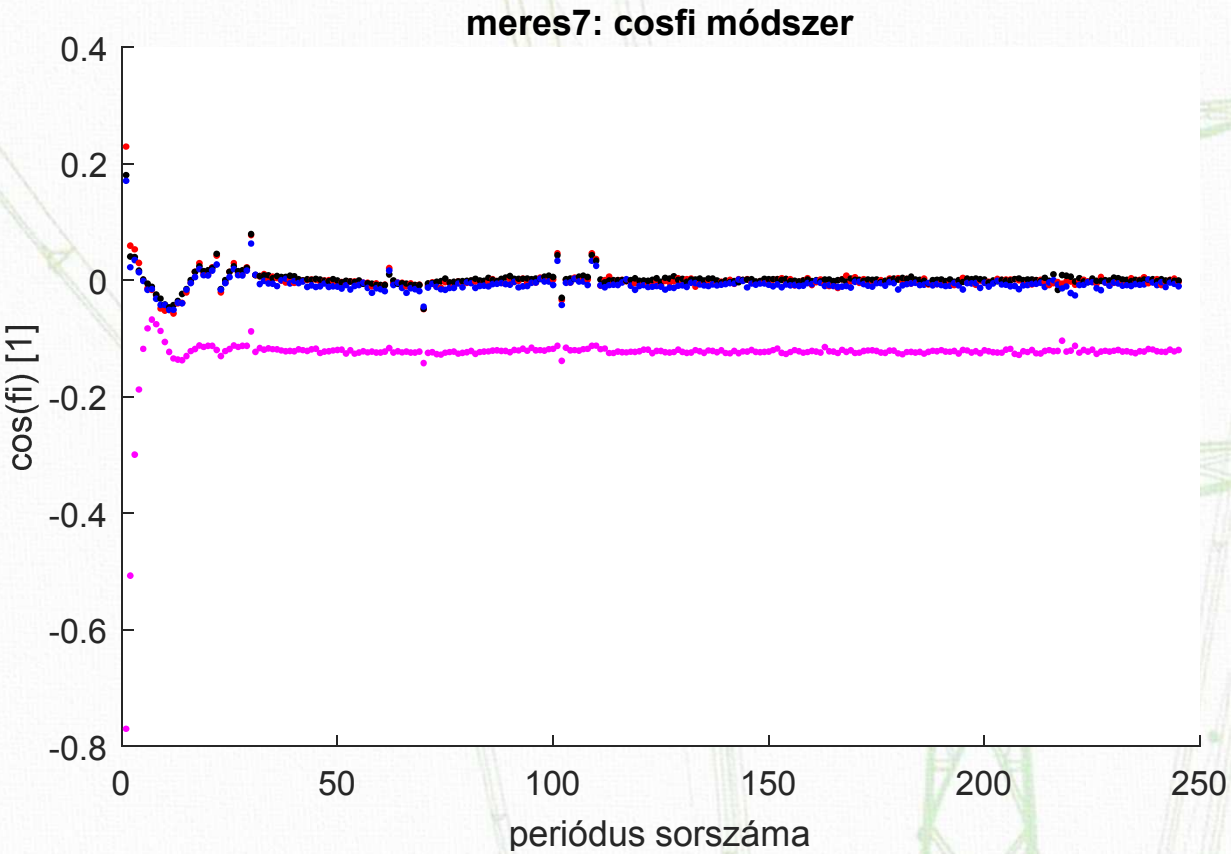
Újragyulladás esetén





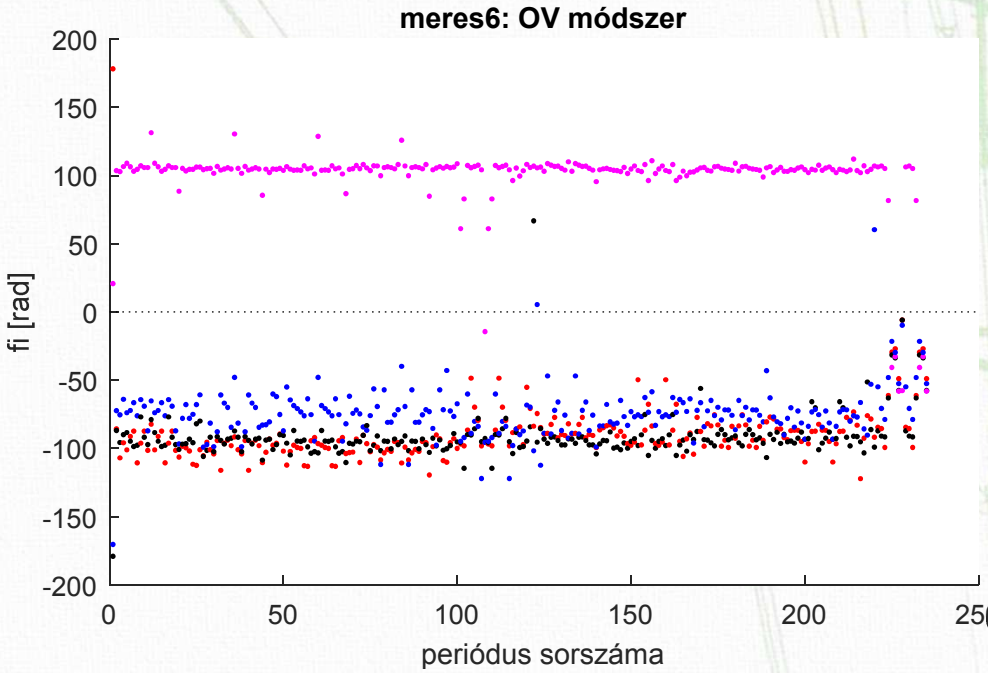
A cosφ módszer

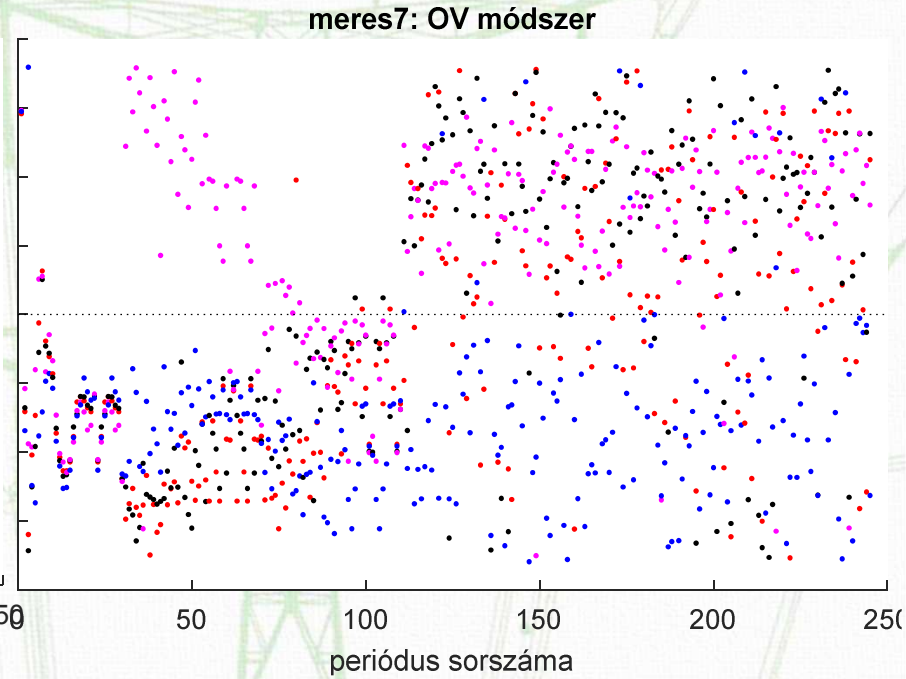
P0 előjele alapján – bizonytalan lehet



A sinφ (250 Hz) módszer

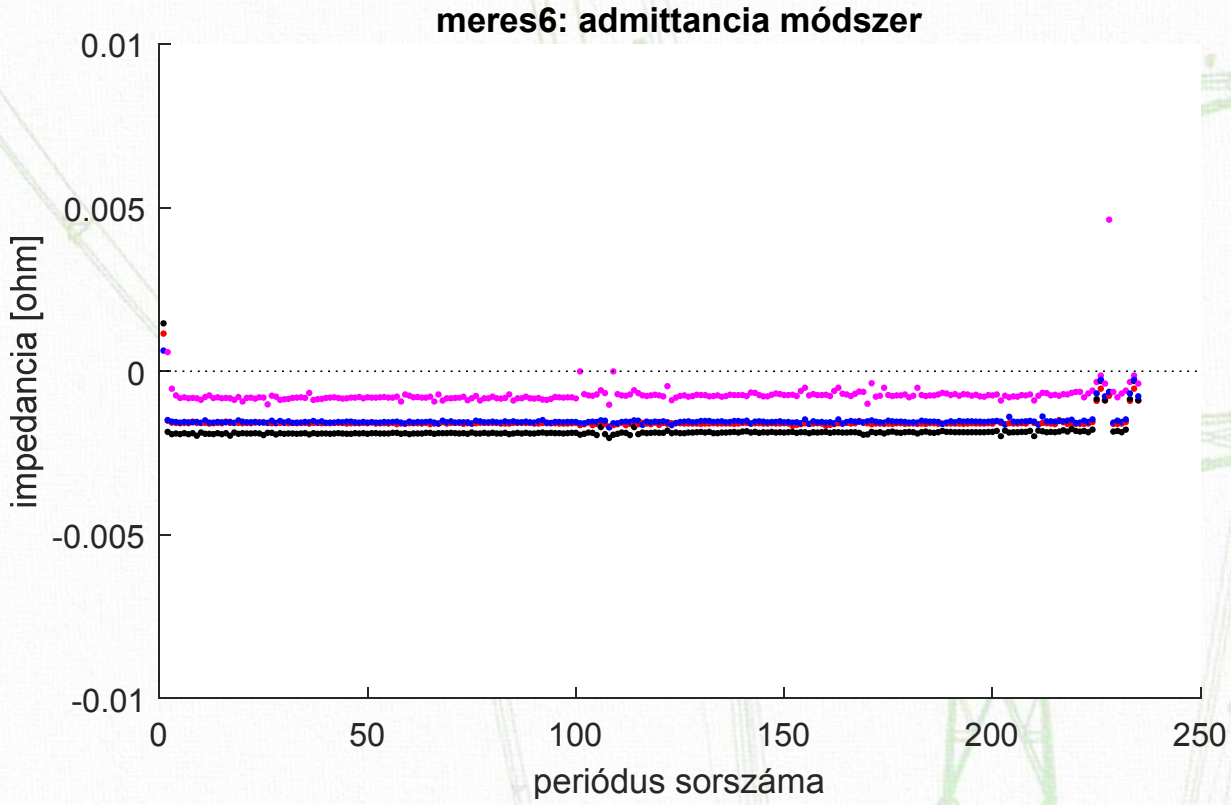
Nagy Rh esetén bizonytalan lehet (bár az átlag helyes eredményt adott)





Admittancia (zárlat – zárlat előtt)

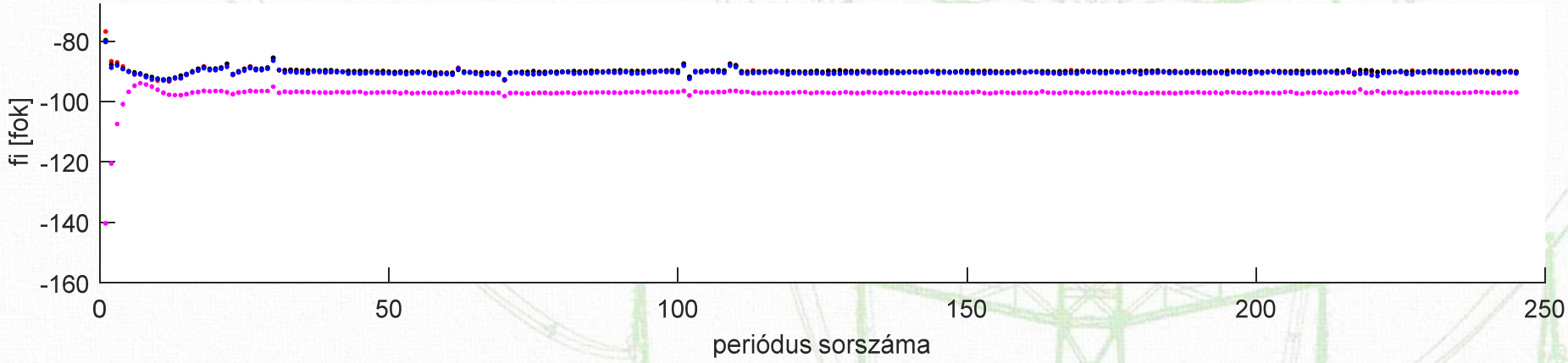
Nagy Rh esetén bizonytalan lehet



DESIR

Csak I0 áramok szögei alapján

Mindig helyes eredményt adott



Értékelés

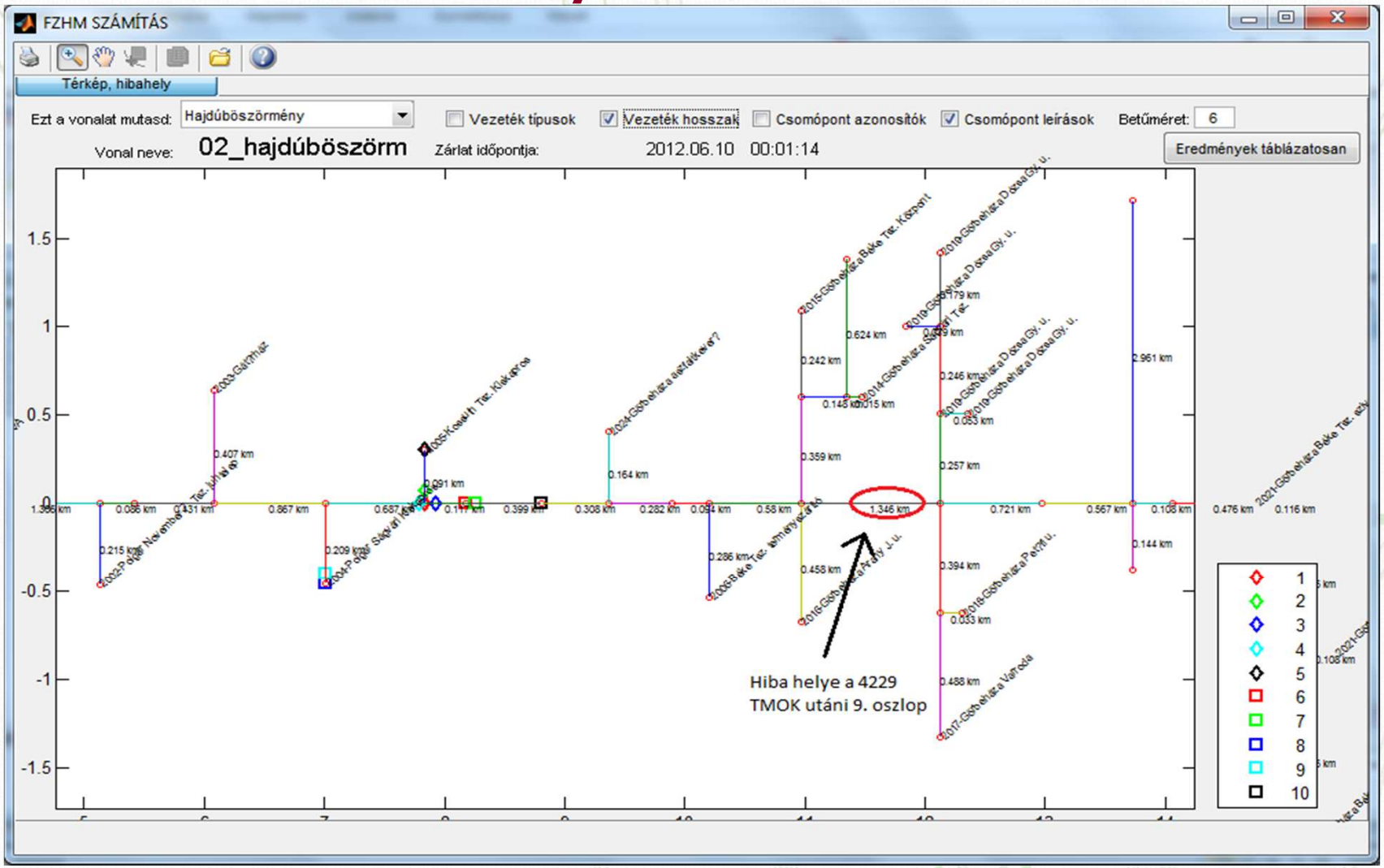
1. DESIR, qui (qu szükségtelen, a qui mellett)
2. Cosφ, Admittancia
3. Sinφ (250Hz)

4. Standard tranziens

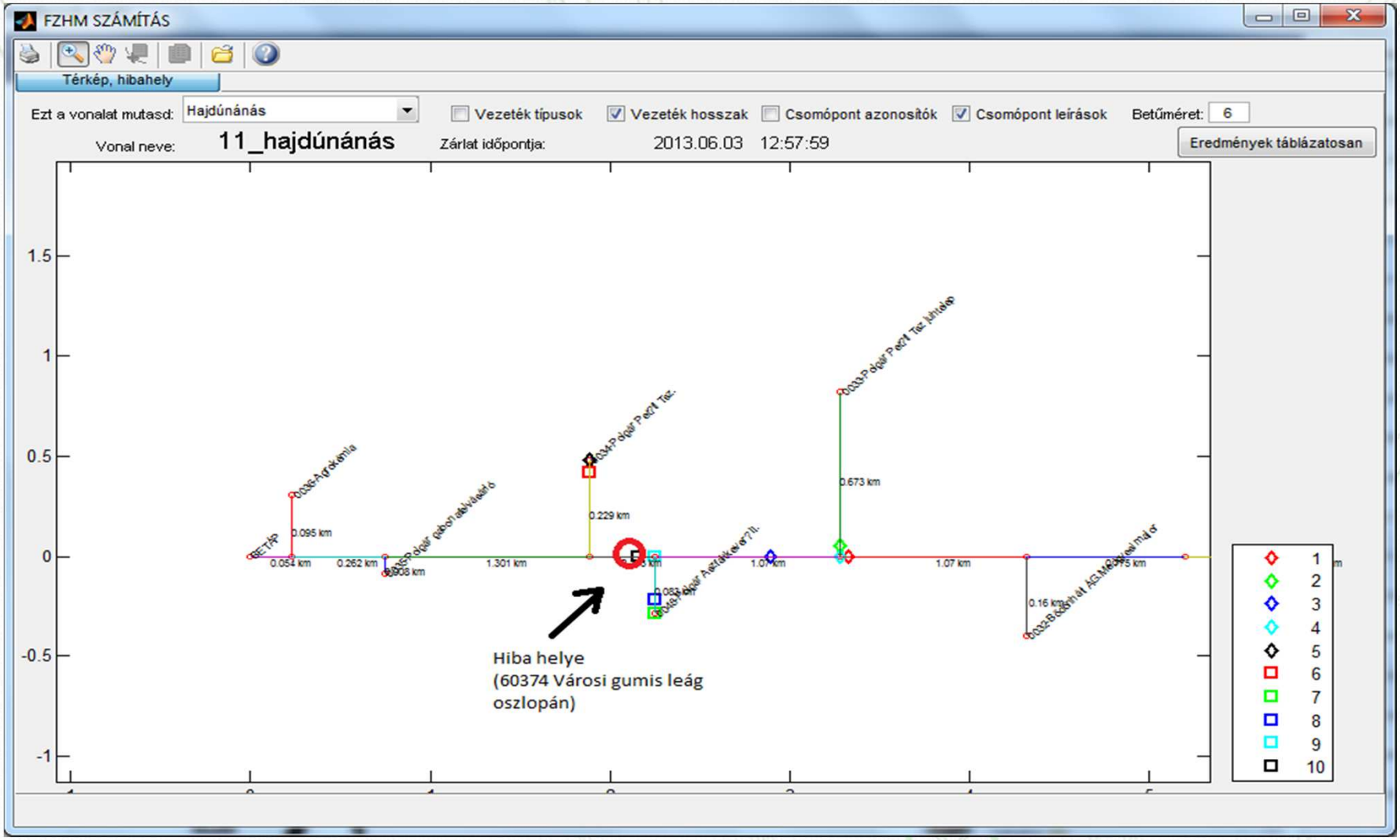
FZHM hibahely behatárolási módszer és berendezés

Részletes ismertetés korábbi fórumokon

Hibás eredmény



Nagyon jó eredmény

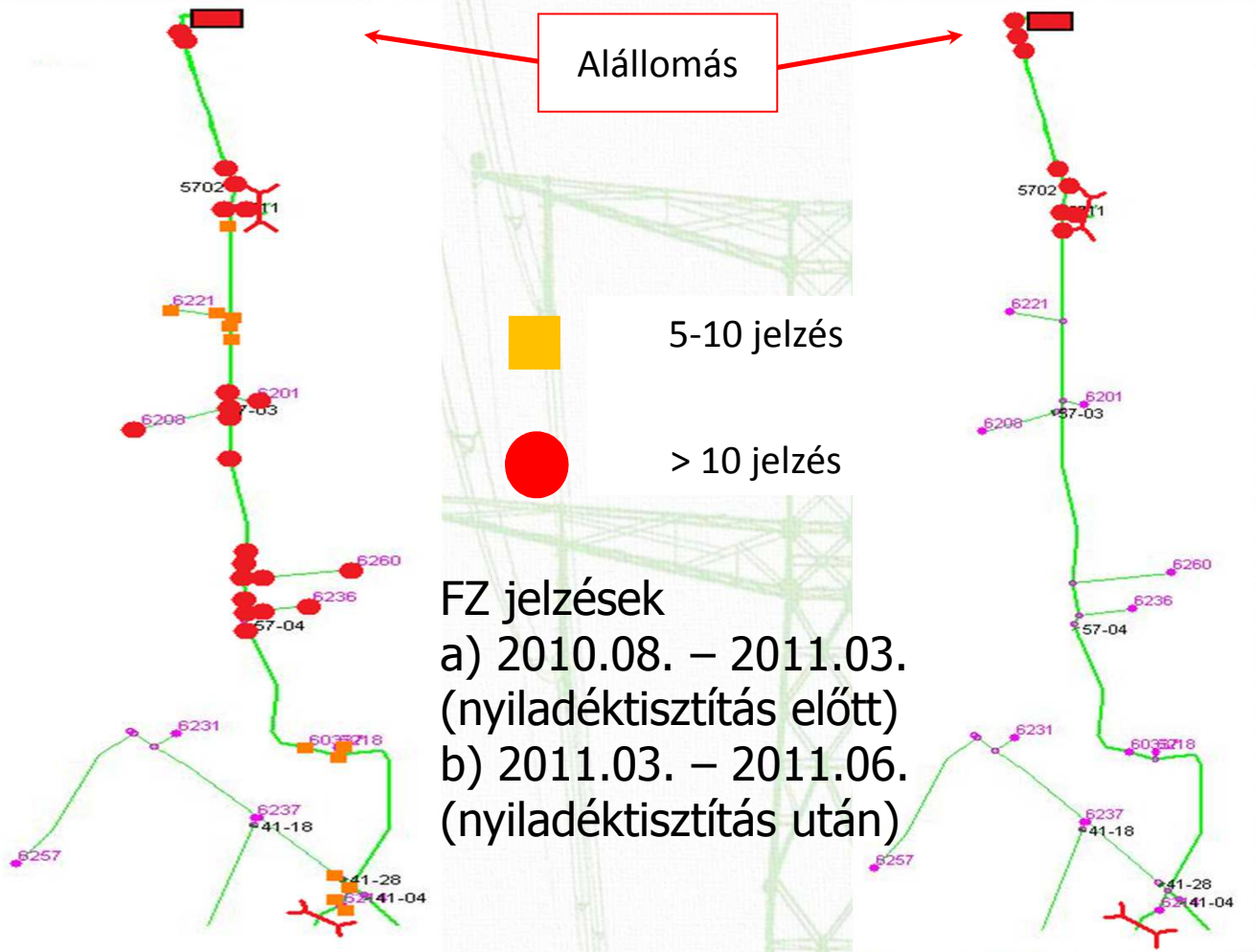


Eredmények

- Polgár alállomás, 2011. szeptember – 2014. április

Vonal	Legjobb találat (km)	Legjobb találat (v.e.)	Javasolt találat (km)	Javasolt találat (v.e.)	Mérések száma
Balmazújváros 1	**0.00**	**0.00**	4.29	1.27	10
Balmazújváros 2	**0.85**	**1.06**	12.97	0.98	12
Hajdúböszörmény 1	**0.29**	**0.00**	2.12	0.81	5
Hajdúnánás 1	**0.00**	**0.00**	0.00	0.00	20
Hajdúnánás 2	**0.19**	**0.06**	3.35	2.50	6
Hajdúnánás 3	**0.00**	**0.00**	1.19	0.71	7
Hajdúnánás 4	**1.21**	**0.72**	3.91	0.91	6
Polgár Kelet 1	**0.19**	**0.03**	0.80	0.14	5
Polgár Kelet 2	**0.00**	**0.00**	0.00	0.00	9
Polgár Kelet 3	**0.44**	**0.09**	2.73	0.48	8
Polgár Nyugat 1	**0.00**	**0.00**	0.00	0.00	5
Polgár Nyugat 2	**0.05**	**0.03**	0.30	0.21	3
Tiszacsege 1	**0.25**	**0.03**	0.25	0.03	4
Tiszacsege 2	**0.78**	**0.09**	3.71	0.47	4
Tiszacsege 3	**0.00**	**0.00**	2.06	0.12	16
Tiszacsege 4	**0.20**	**0.01**	15.13	0.87	7

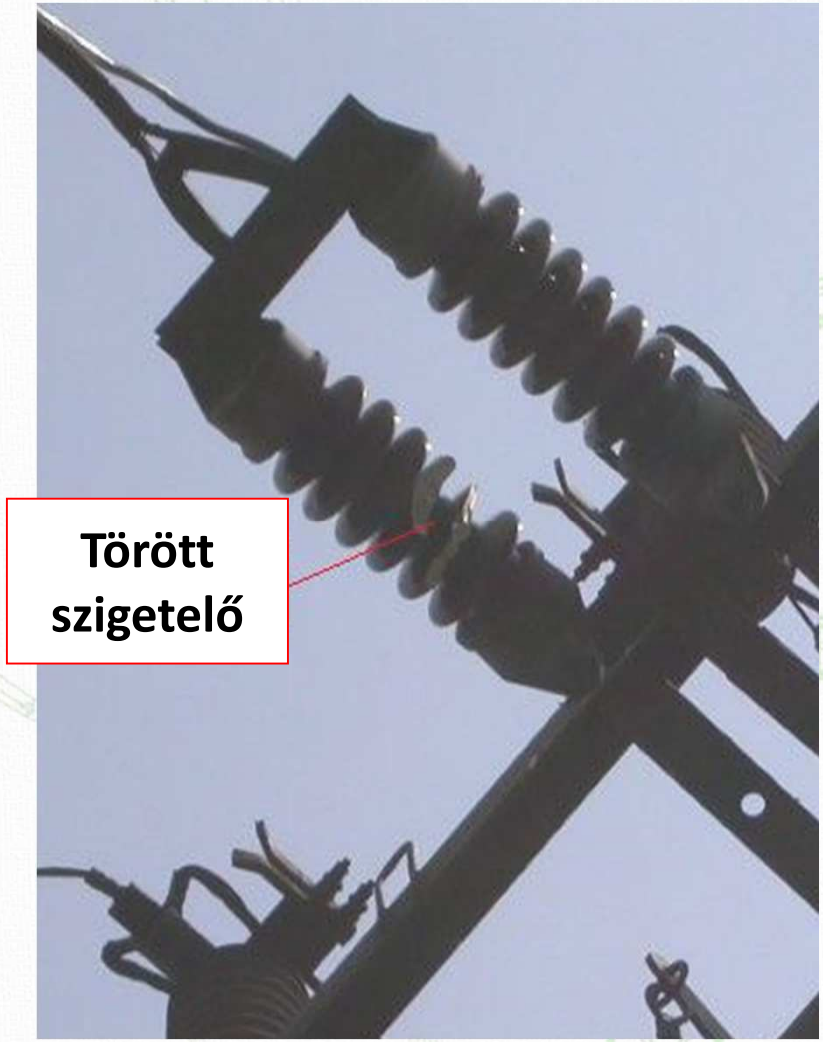
Eredmények – múló zárlatok behatárolása



FZ jelzések
a) 2010.08. – 2011.03. (nyiladéktisztítás előtt)
b) 2011.03. – 2011.06. (nyiladéktisztítás után)

Eredmények – múló zárlatok behatárolása

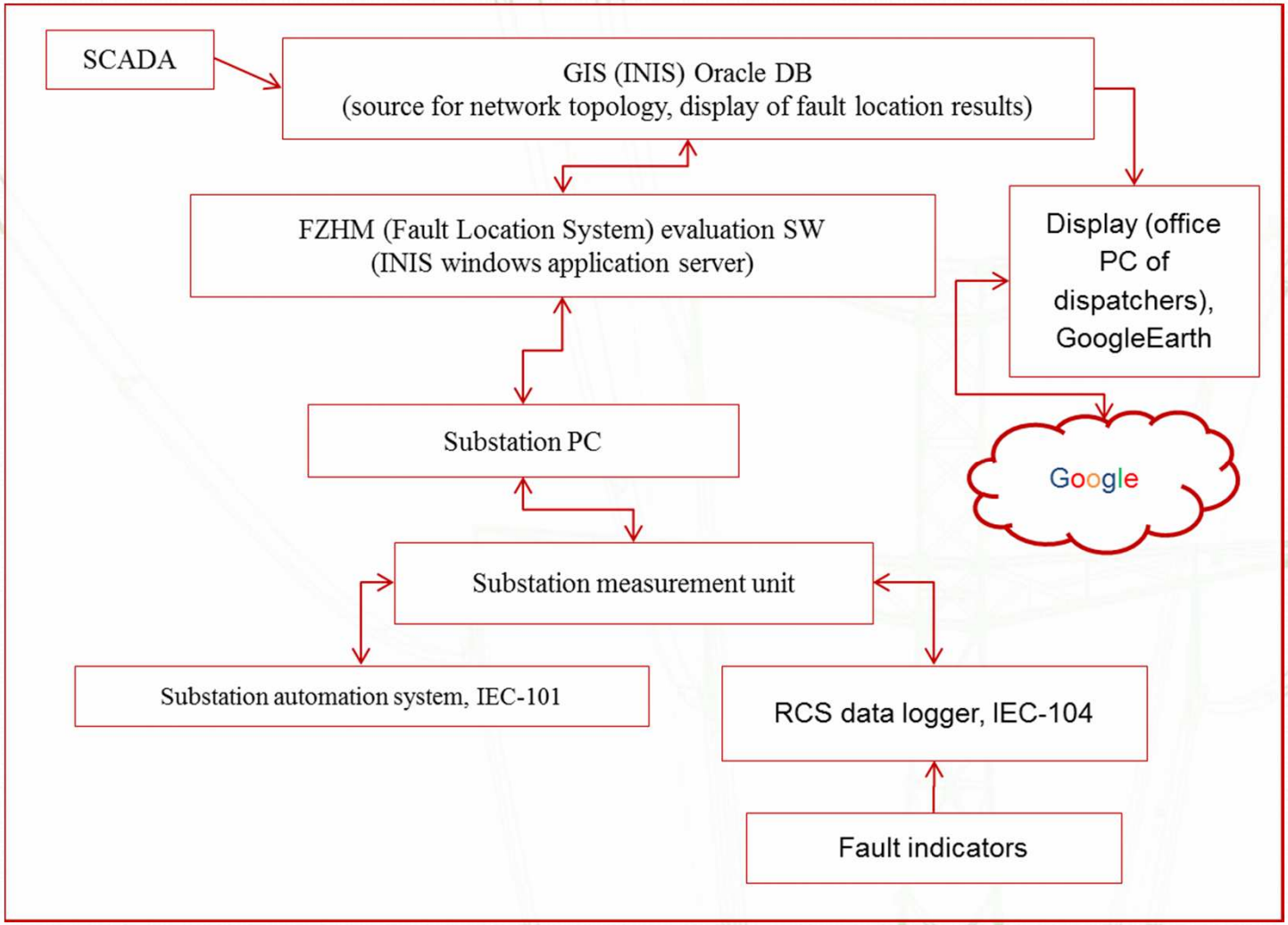
Eredmények – múló zárlatok behatárolása



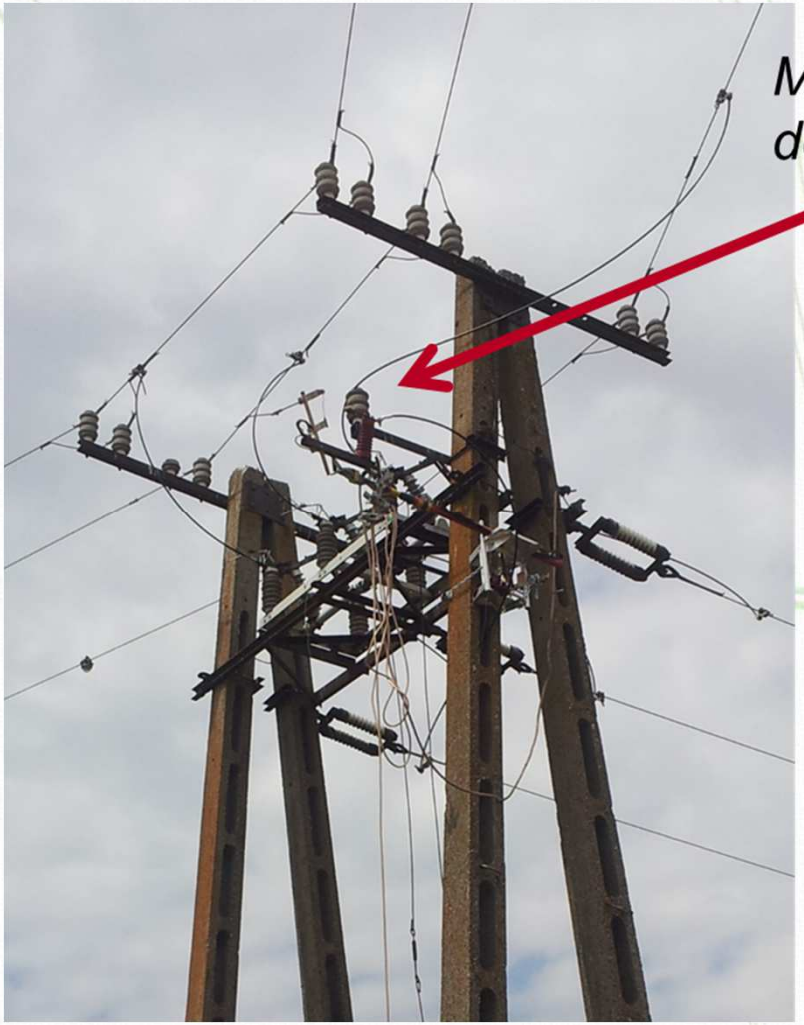
Integrálás az üzemirányítási rendszerbe

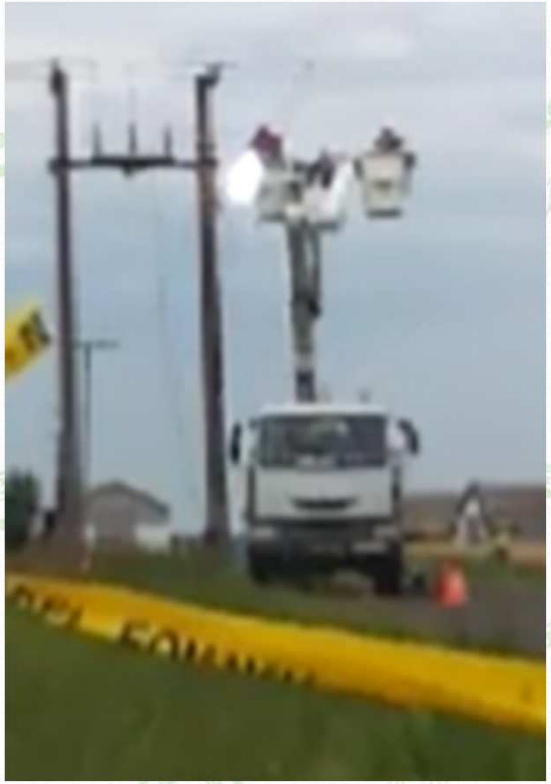
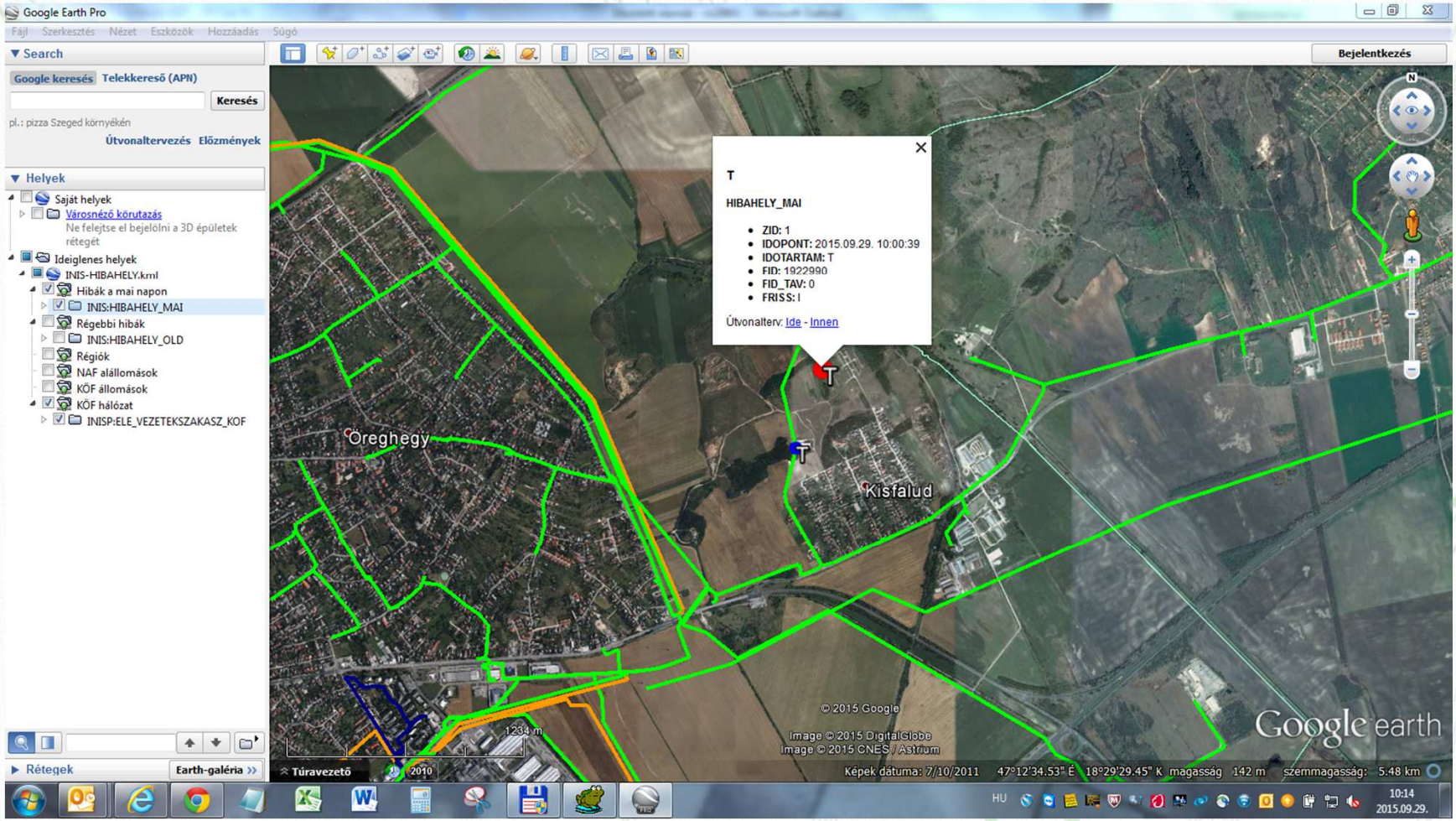
Köszönet az E.ON munkatársainak!

Rendszervázlat



Zárlatjelzők tesztelése





Megjelenítés