



Forgógép diagnosztika 1.

Állórész tekercselés

2023

Csépes Gusztáv

Kispál István

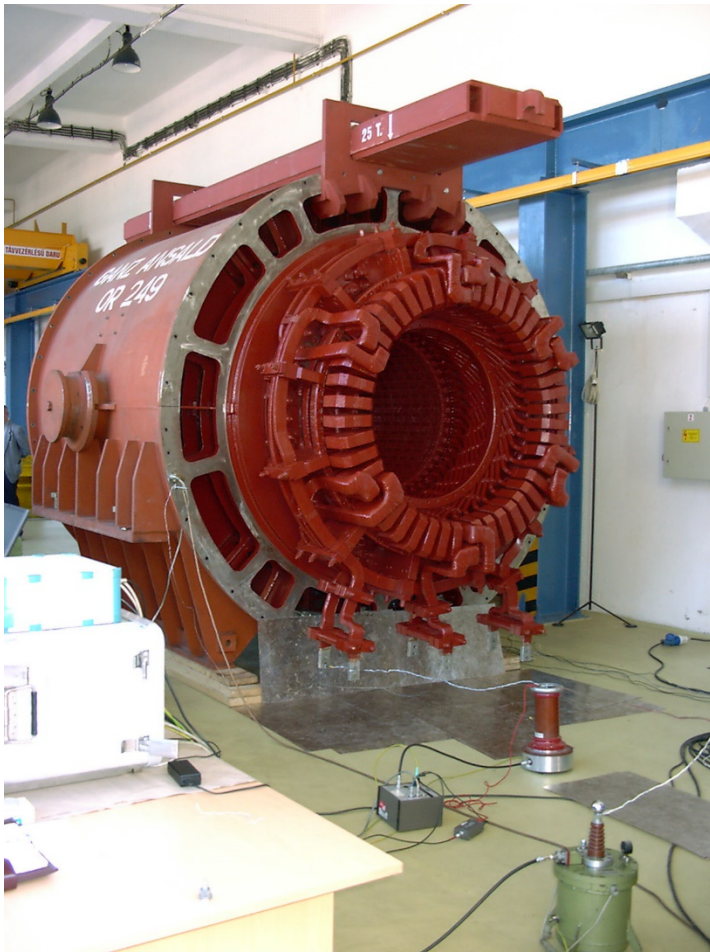
Faragó András régebbi előadás anyagai forrásként szerepelnek

XXI. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia

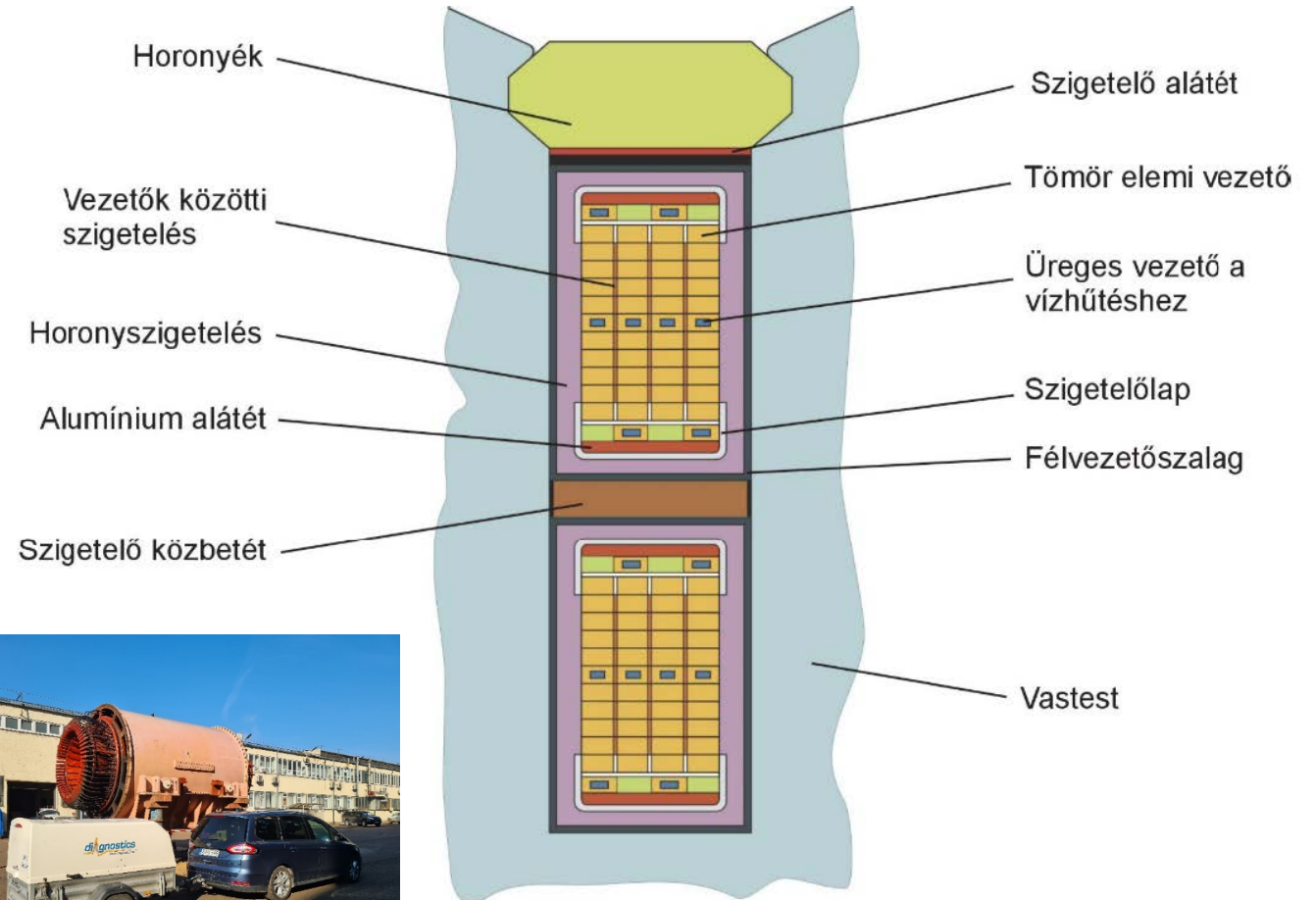
Sopron, 2023. 05. 3-5.

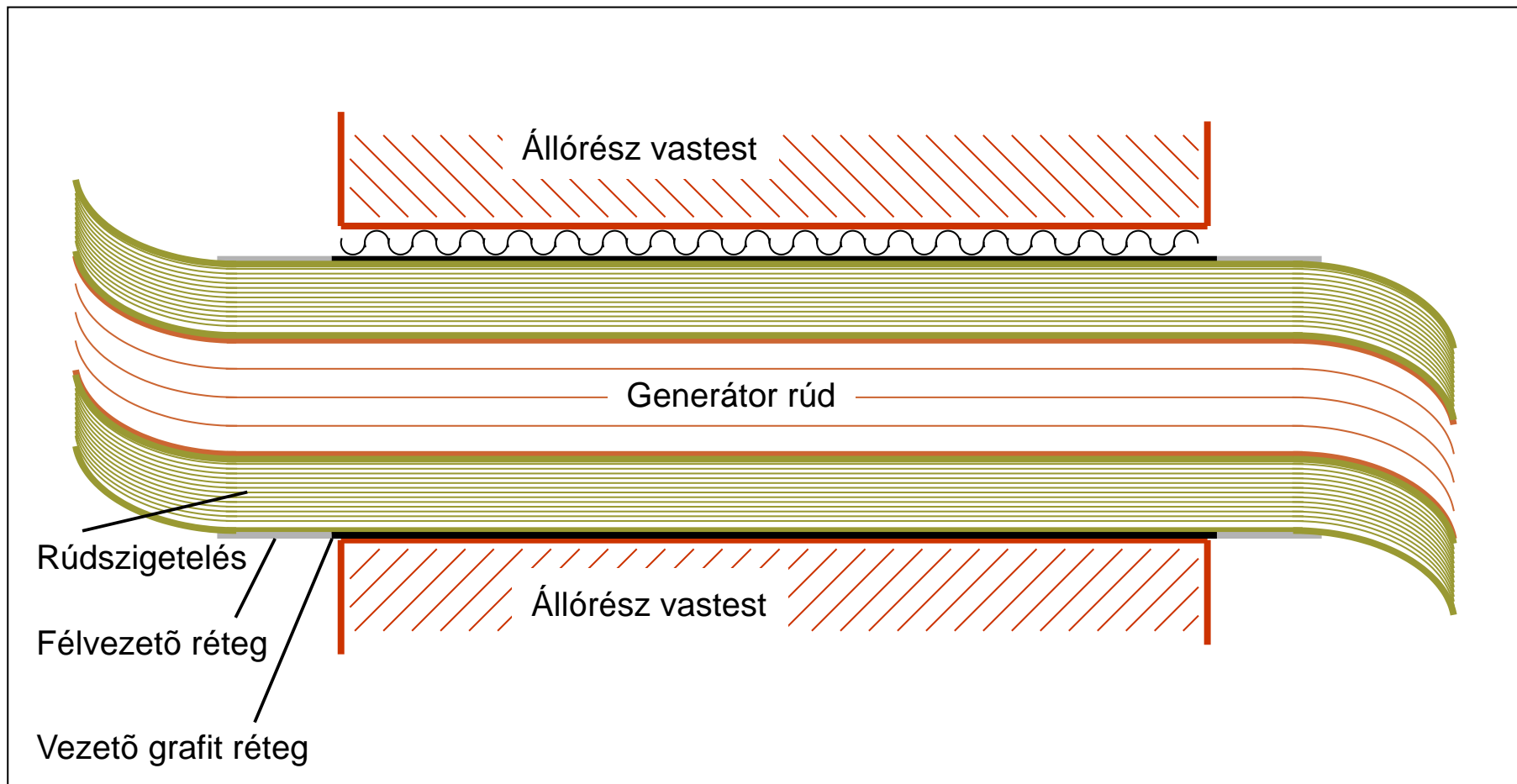


Generátor állórész tekercselése



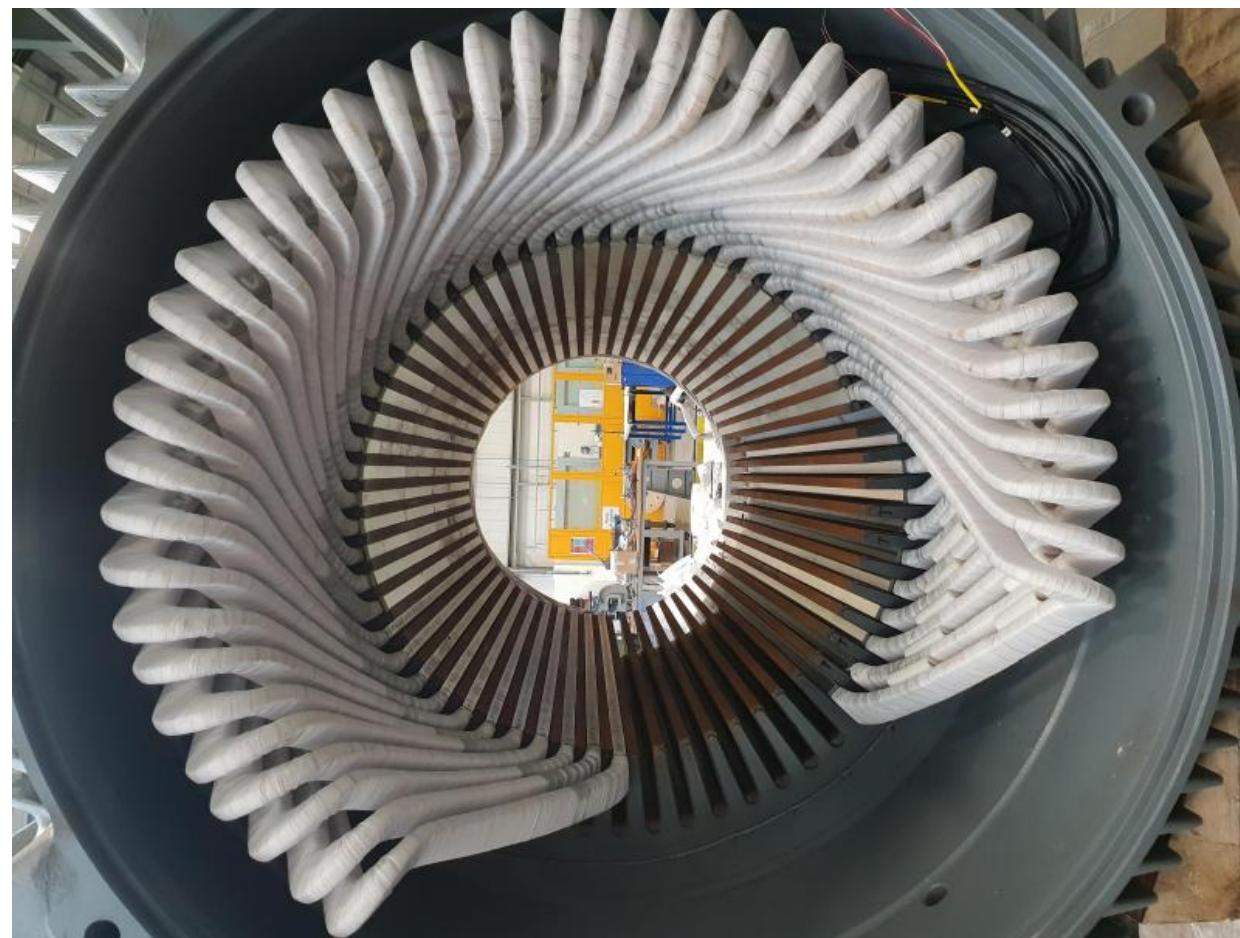
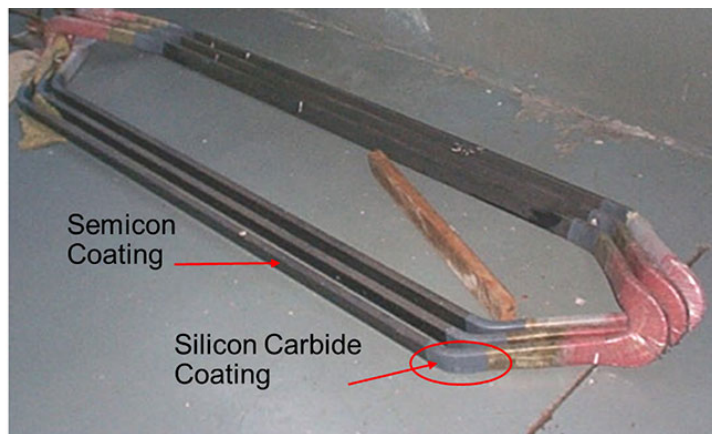
Generátor rúd





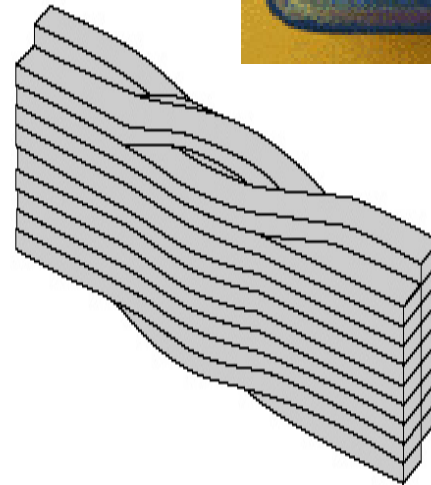
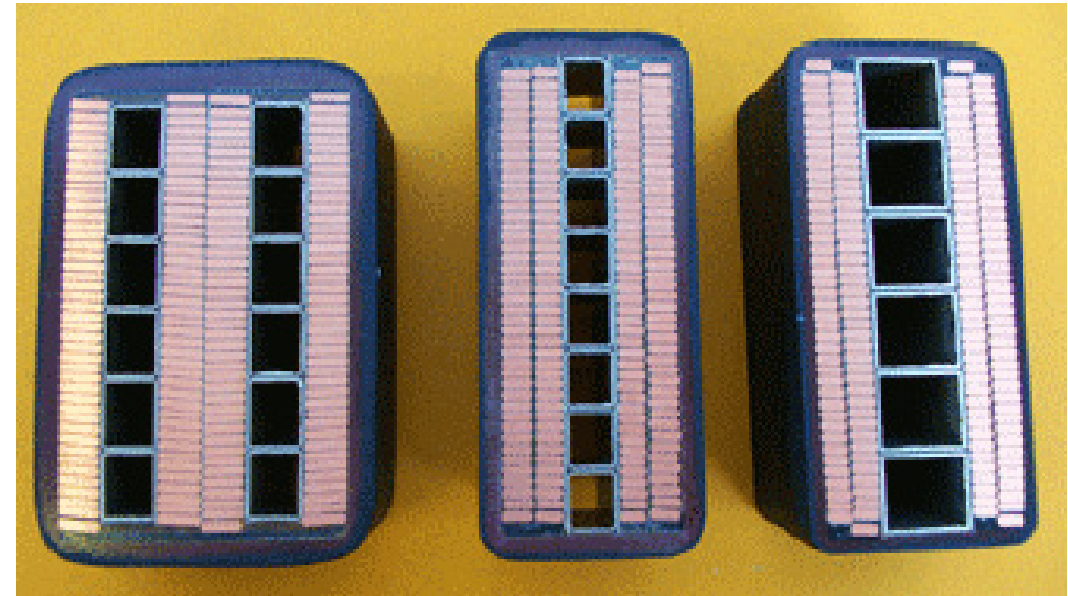
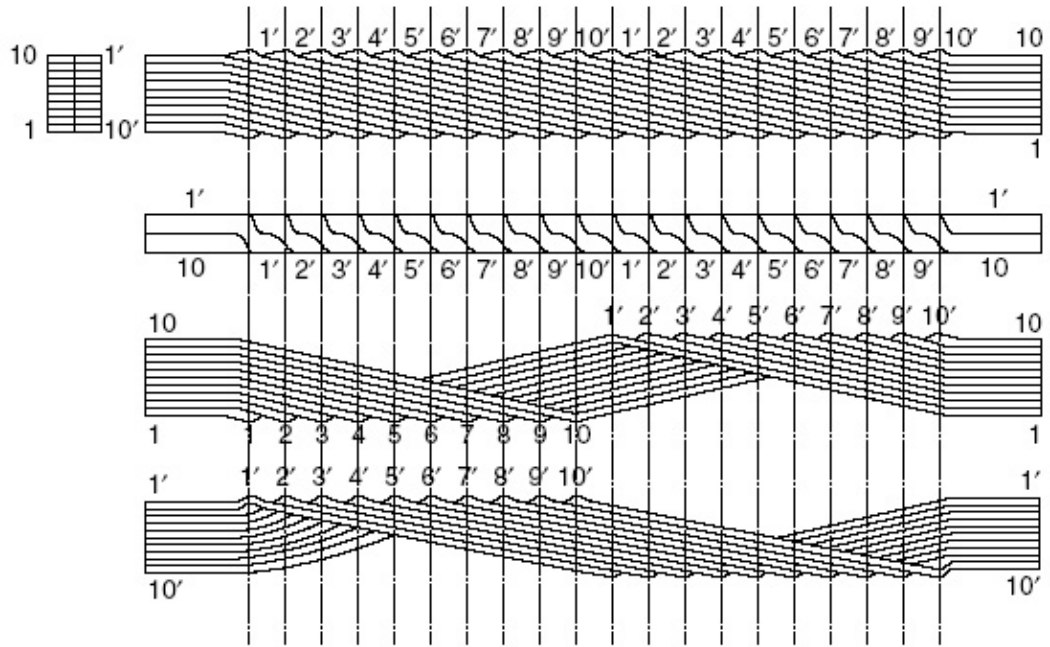


Nagyfeszültségű motor állórész tekercselése



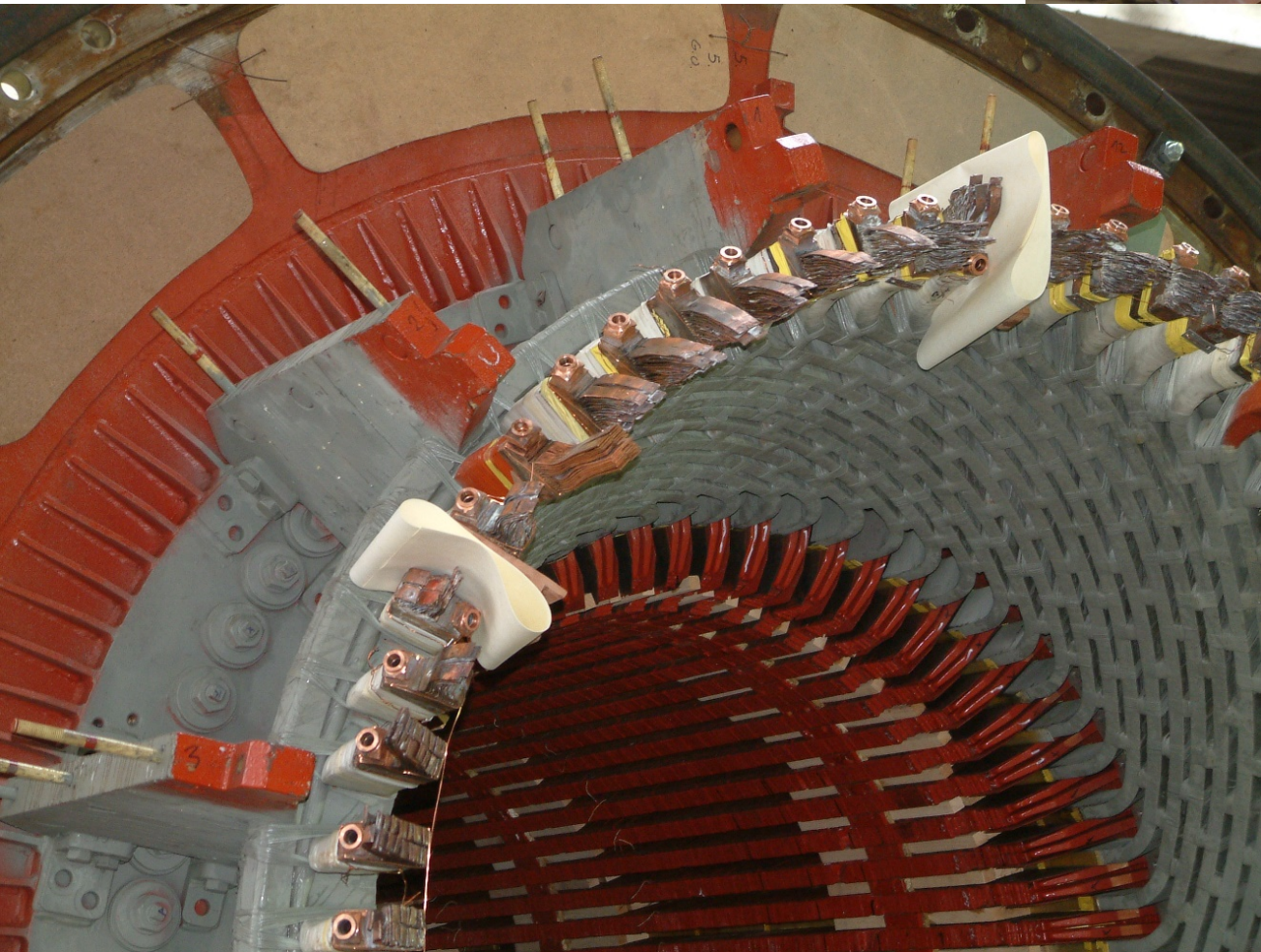
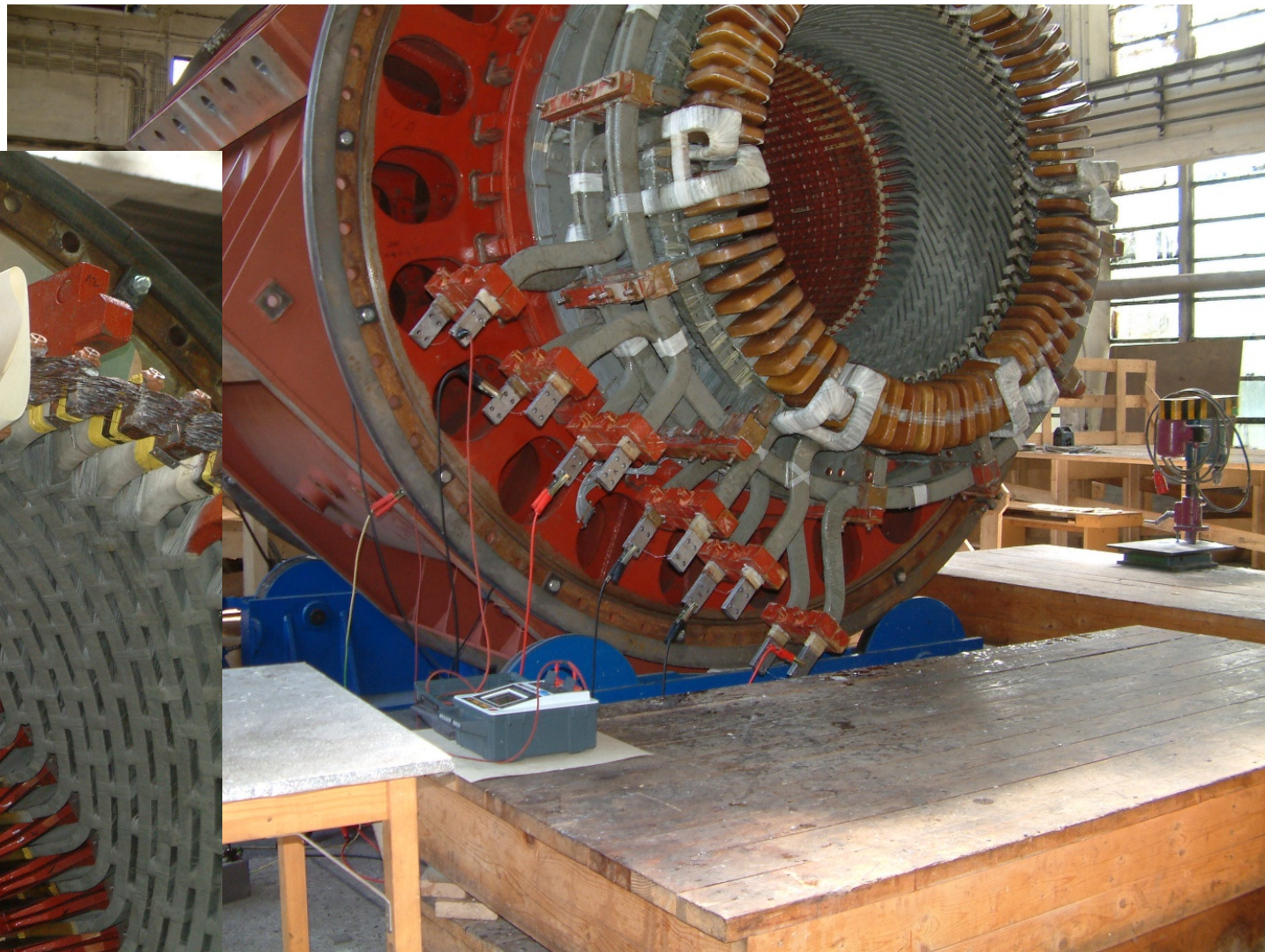


Roebel rúd



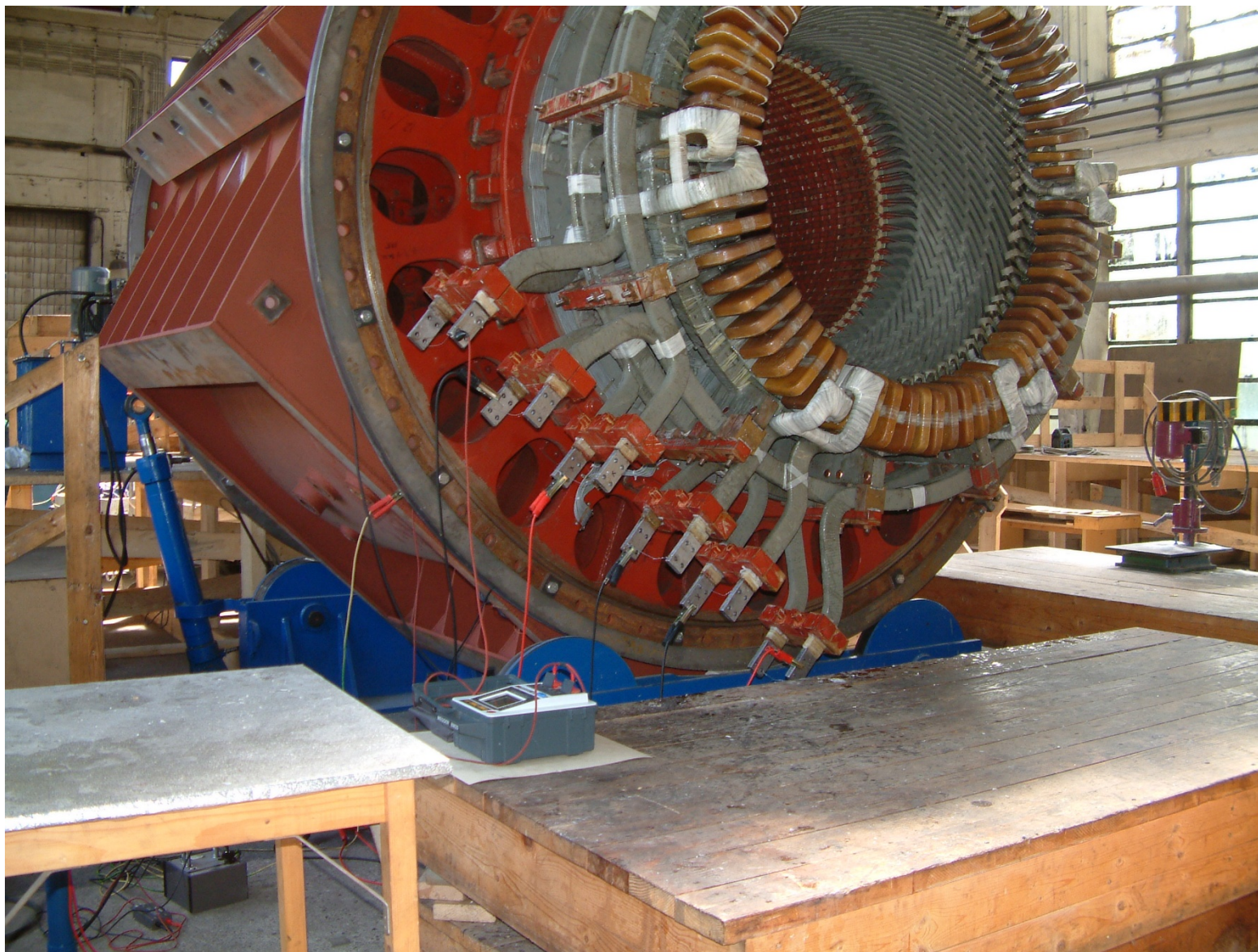


Generátor állórész tekercselése



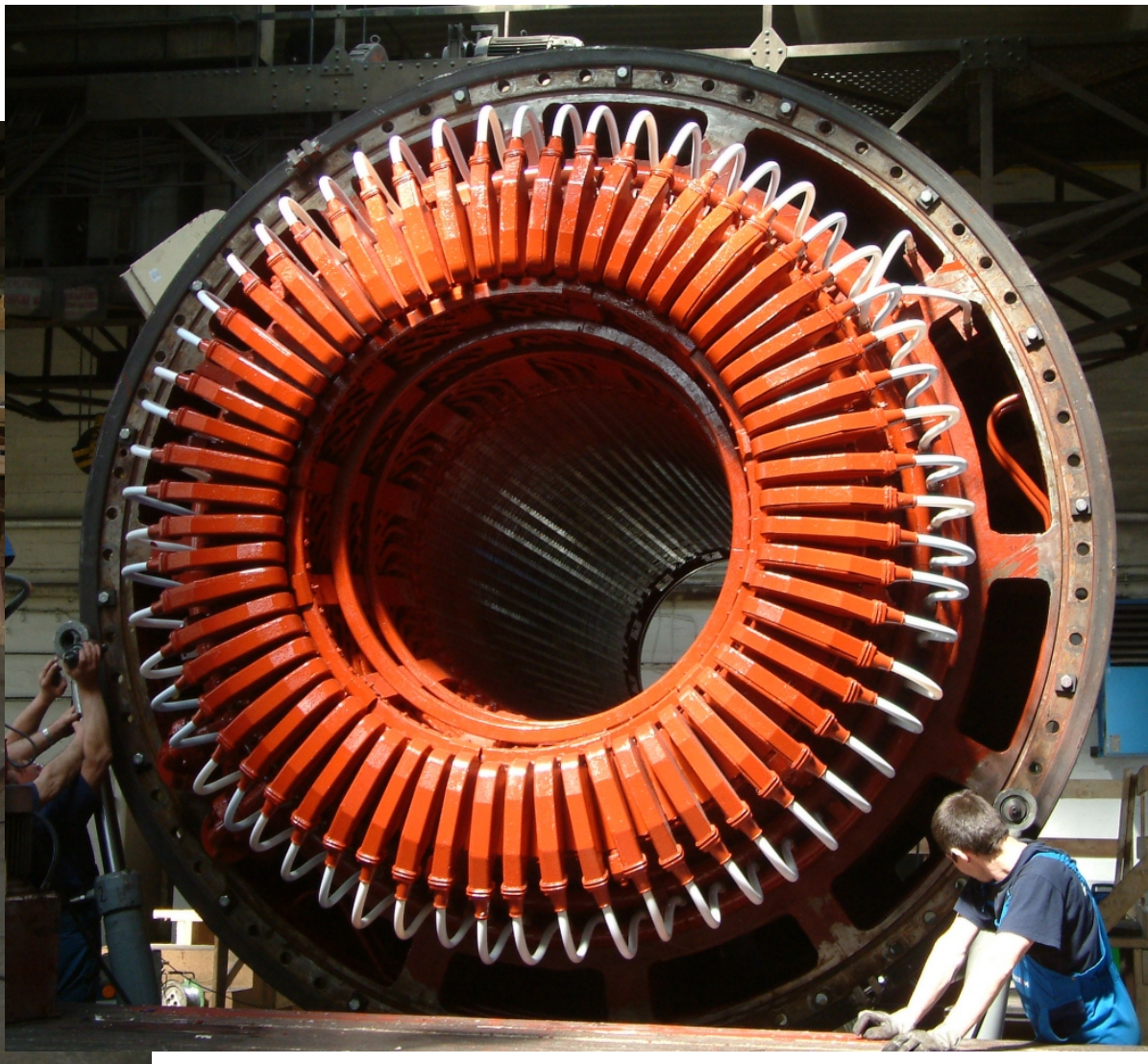


Generátor állórész tekercselése





Generátor állórész tekercselése





Ganz állórész és konstruktőre

Bláthy Ottó Titusz

Furatátmérő: 1660 mm

***Bláthy Ottó
magassága: 166 cm***

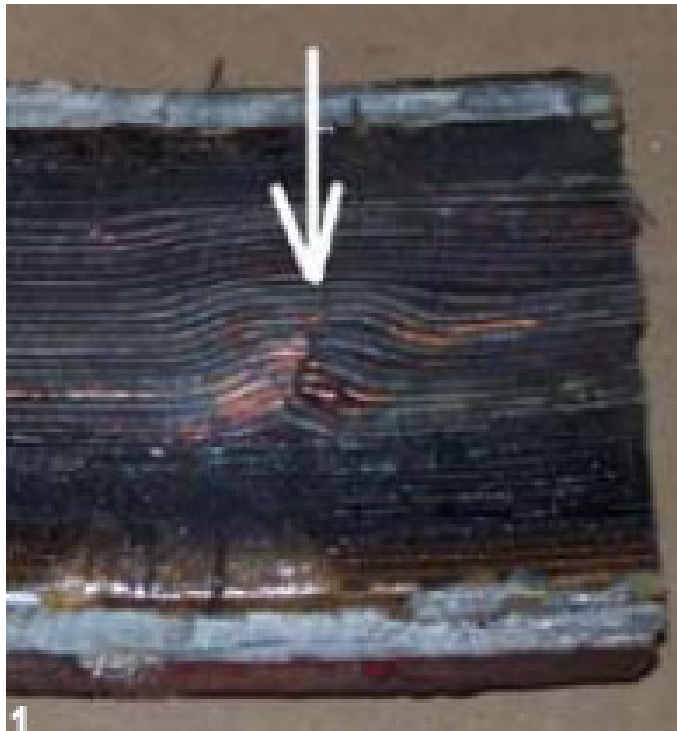


Tiszalök 3. generátor





Generátor tekercselés hibái



Fáradásos törés



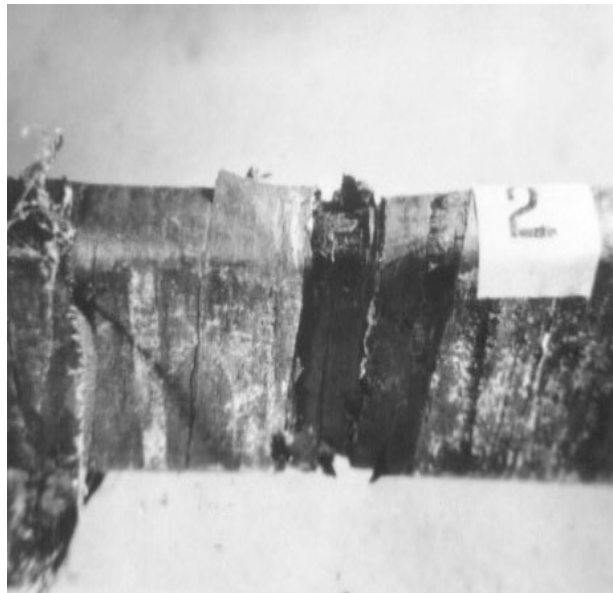
Túlmelegedés



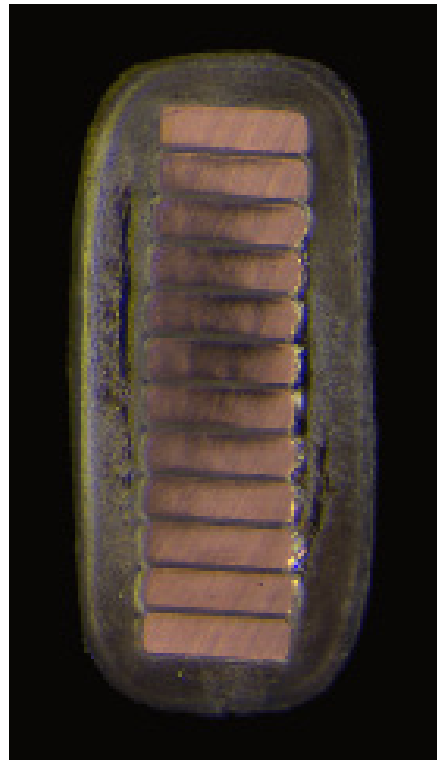
Tekercs zárlata



Generátor tekercselés hibái



Szalagleválások



Főszigetelés rétegződés



Rövidzárlati erő miatti törés



Részleges kisülések a tekercsfejben





*A sérült grafitréteg
miatt fellépő erős
felületi kisülések a
rúdszigetelést
károsítják.*

*A folyamat lassú de
végül átütéshez vezet.*





Az állórész tekercselés próbafeszültségei

Helyzet	Up próba- feszültség (kV eff)	Az Up tekercspróba feszültség értékei, ha a generátor Un névleges feszültsége (kV)					
		5,75	6,6	10,5	11,5	15,5	18
Gépleállítás után első próba, 1 percig	1,5xUn	8,62	9,9	15,75	17,3	23,2	27
Szigetelés sérülés esetén a hibás fázis leválasztása után az ép fázis próbája	0,75x (2Un+3)	10,9	12,15	18	19,5	25,5	29,2
Új rúd horonybahelyezés után	2Un+3	14,5	16,2	24	26	34	39
Javítás után a javított fázisban	0,7x (2Un+3)	10,15	11,35	16,8	19,5	23,8	27,3
Új gép próbája a helyszínen	0,75x (2Un+3)	10,85	12,15	18	19,5	25,4	29,2
Új gép próbája átvételkor	(2Un+3)	14,5	16,2	24	26	34	39
Gépleállítás után egyenfeszültségű próba, 1 percig	2Un (kV=)	11,5	13,2	21	23	31	36



Az állórész tekercselés diagnosztika mérési feszültségek

Üzemi feszültség, névleges feszültség? Mekkora feszültségig végezzük a nagyfeszültségű vizsgálatokat

Az állórész névleges feszültsége az adattábla szerint (pl. 10.5kV)

A tekercselést valójában igénybe vevő feszültség üzem közben $U_f = U_n / \sqrt{3}$ (pl. 6.06kV)

*Általában $0.2U_n$ -től indulunk és a felső érték valahol $1.2 * U_f$ ---- $1.2U_n$ a tulajdonossal egyeztetve*



Szigetelőanyagok hőállósági osztályai

Osztály	Megengedett hőmérséklet °C	Az osztályba tartozó fontosabb szigetelőanyagok
Y	90	Papír, pamut, selyem, prespán, gumi, fa és hasonló anyagok telítőanyag nélkül. Polietilén, lopiviniklorid, polisztirol, anilin- és karbamidgyanták
A	105	Papír, pamut, selyem, prespán, fa olajban. Poliésztergyanták, lágyító nélküli PVC, műgumik, száradó, olaj alapú lakkok
E	120	Amino-, fenol- és poliamidgyanták, bakelitgyártmányok, poliamid- és epoxizománcok
B	130	Szervetlen anyagból (csillám, üvegszál, azbeszt) ragasztóanyaggal (sellak, aszfalt, műgyanta) készült, összetett anyagok
F	155	Csillám, üvegszövet vagy azbeszt, az előírt hőmérsékletnek a tapasztalat szerint megfelelő lakkal telítve
H	180	Szilikonok és más nagy hőállóságú műgyanták és lakkok, illetve az ezekkel telített csillám-, üveg- vagy azbesztszigetelések
C	>180	Porcelán, üveg, kvac, csillám és hasonló szervetlen anyagok. Különlegesen hőálló műgyanták, mint pl. a szén-fluor vegyületek



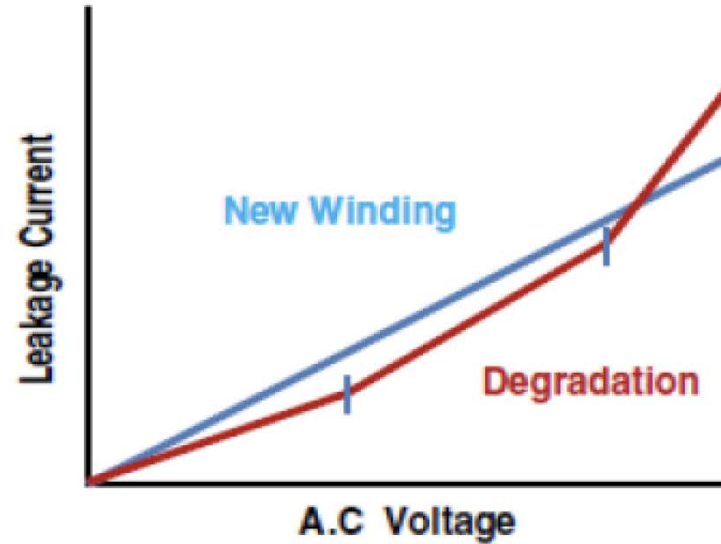
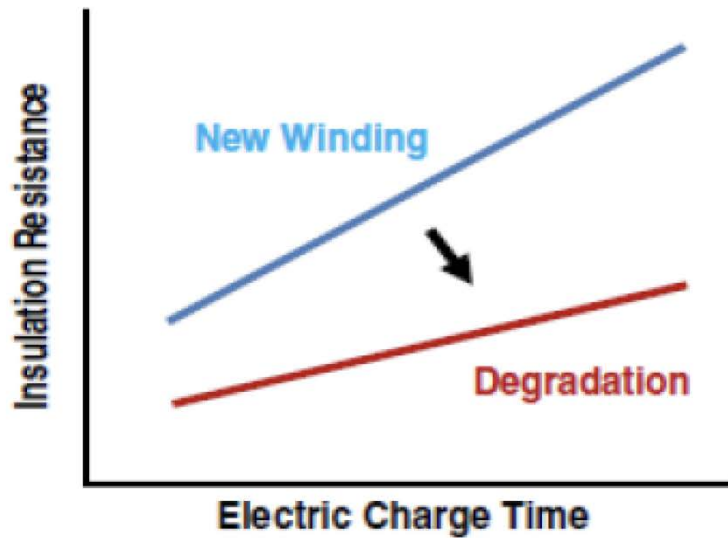
Generátor állórész villamos vizsgálatok

Szokásos vizsgálatok:

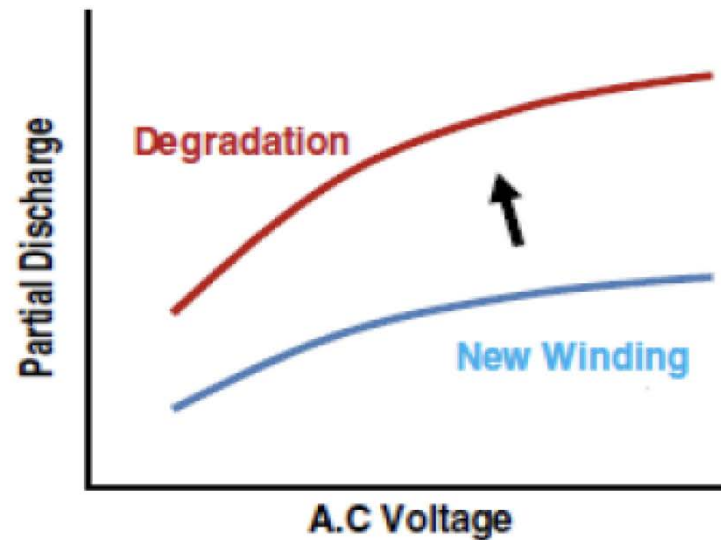
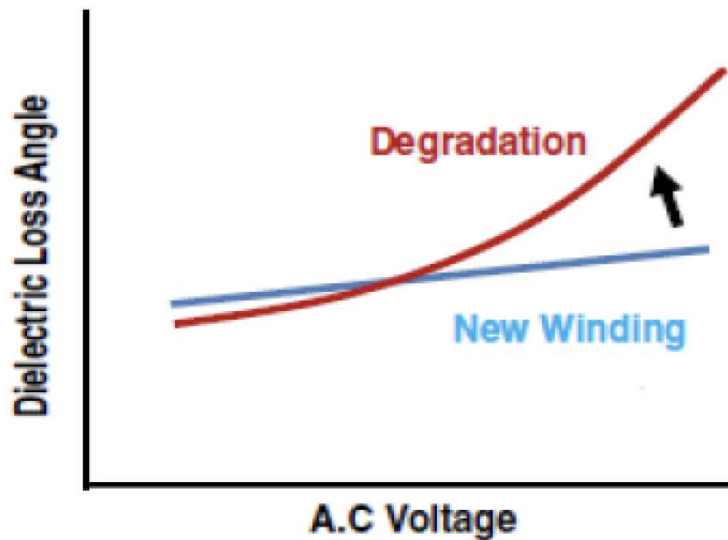
- *Szigetelési ellenállás mérés és abszorpciós tényező meghatározás*
- *A tekercselés Ohmos ellenállásának mérése (jellemzően néhány mOhm)*
- *A tekercsek 50Hz-es impedanciájának mérése (csak kifűzött forgórész esetén értelmes, 5-10A mérőáram)*
- *A kapacitás és a veszteségi tényező mérése ($0.2U_n \dots 1U_n$ ($1.2 U_n$))*
- *Részkisülés mérés ($0.2U_n \dots 1U_n$ ($1.2 U_n$))*
- *Nagyfeszültségű feszültségpróba (csak beavatkozások után javasolt)*
- *Hornyonkénti rádiózavarszintmérés, vagy ultrahangos vizsgálat (fázisfeszültségen) csak kifűzött gépen*
- *Vaszárlat vizsgálatok (nagyáramú, vagy ELCID)*

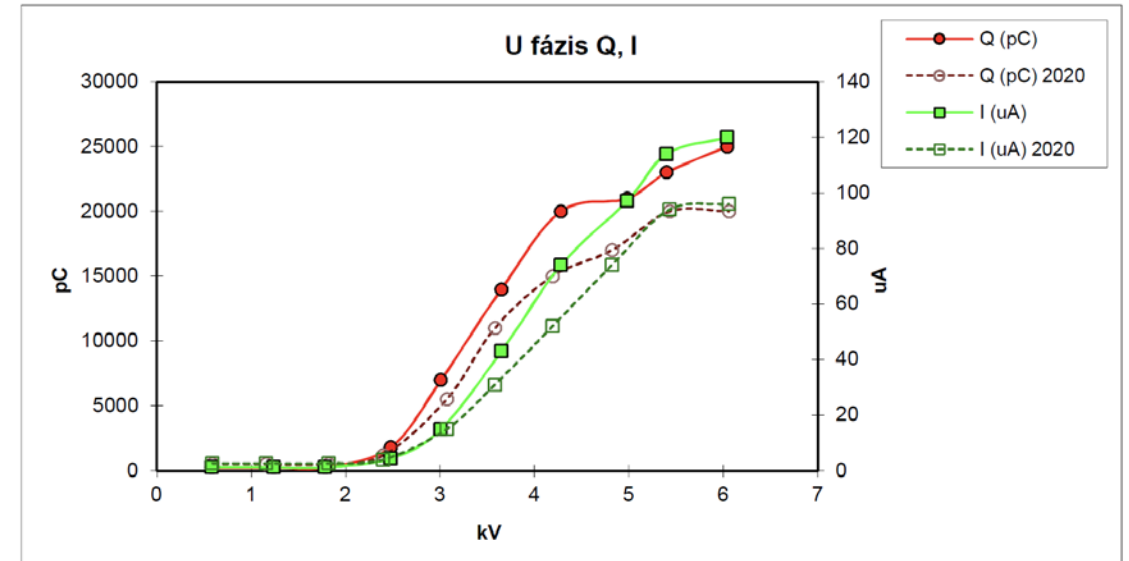
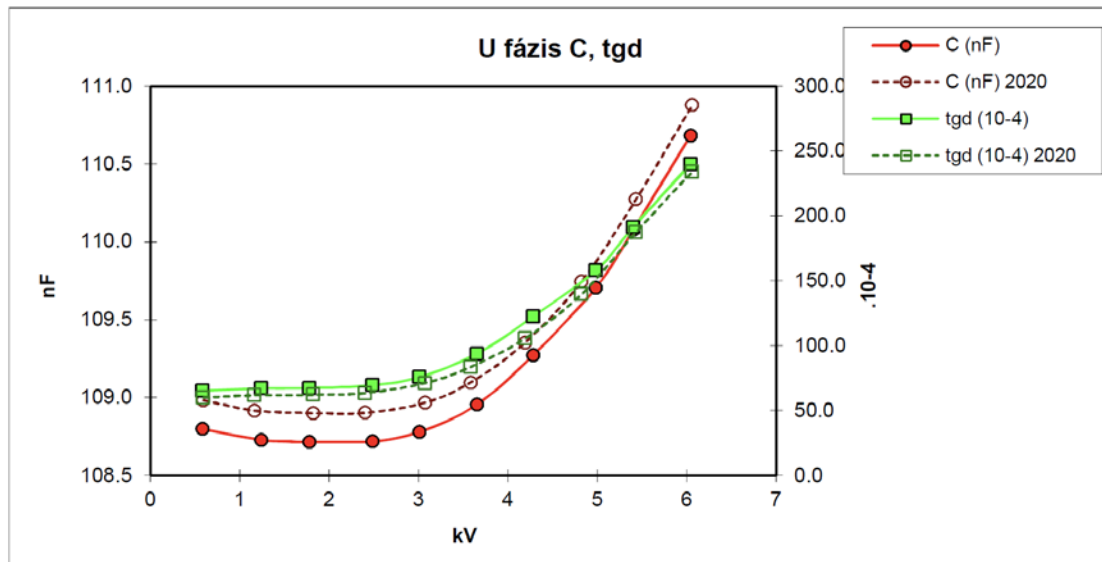
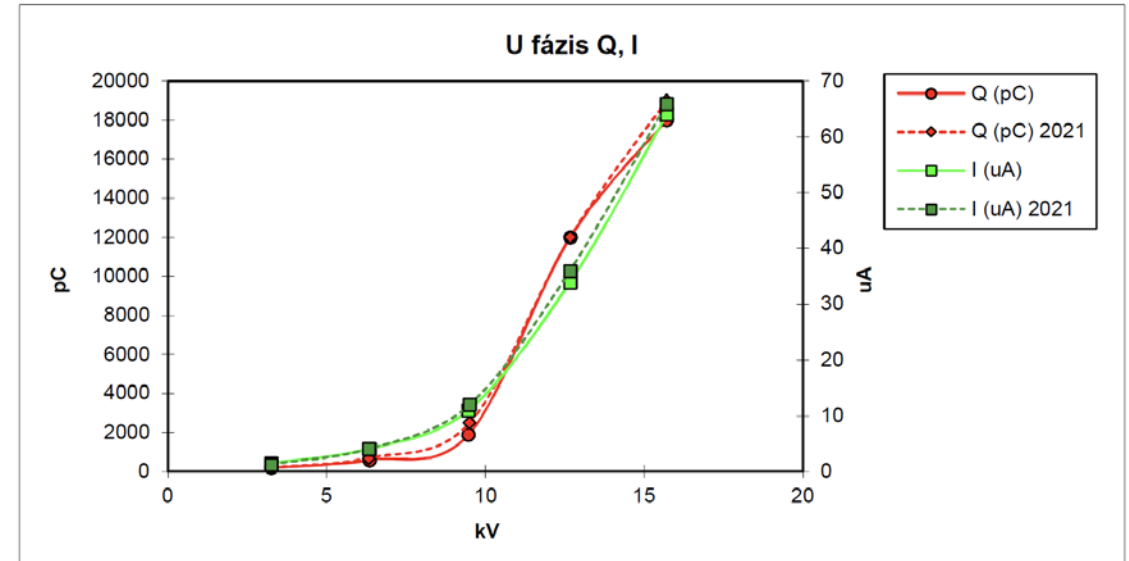
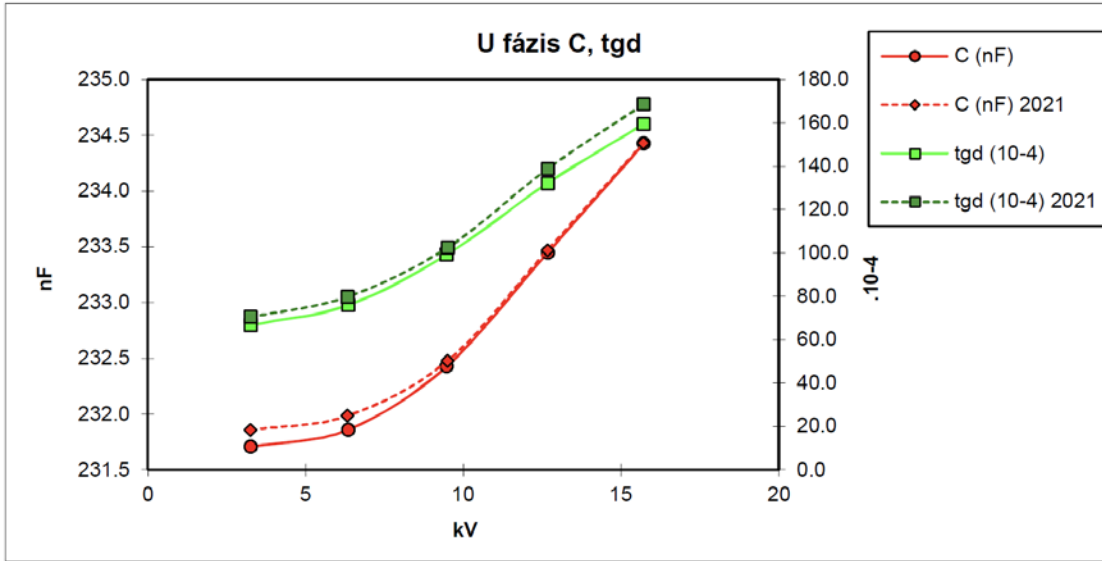
Hazai gyakorlatban ritka:

- *VLF gerjesztéssel végzett mérések (tg delta és PD)*
- *Lépcsős egyenfeszültségű szigetelés mérési módszer*
- *Nagyfeszültségű impulzus vizsgálat menetzárlat kimutatására*
- *Monitoring jellegű vizsgálatok (Részkisülés, Gázelemzés...)*



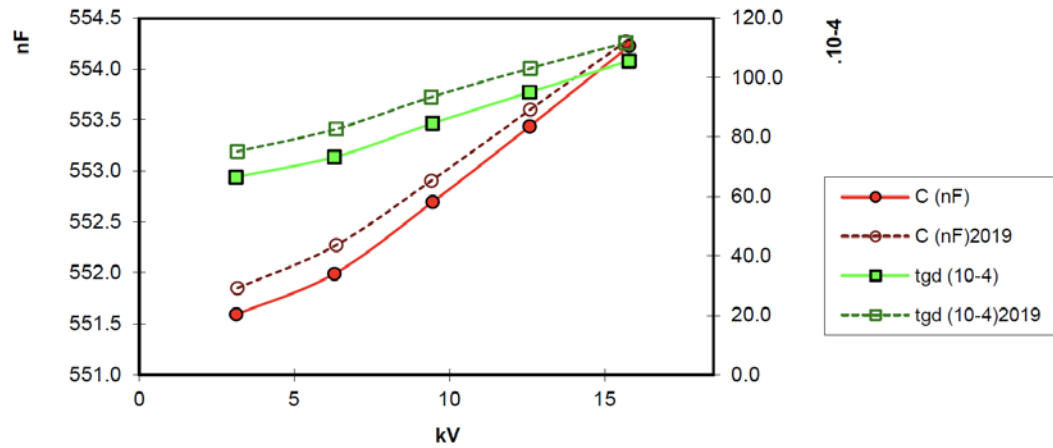
Az állórész tekercselés tipikus öregedése során az egyes mért értékek változása



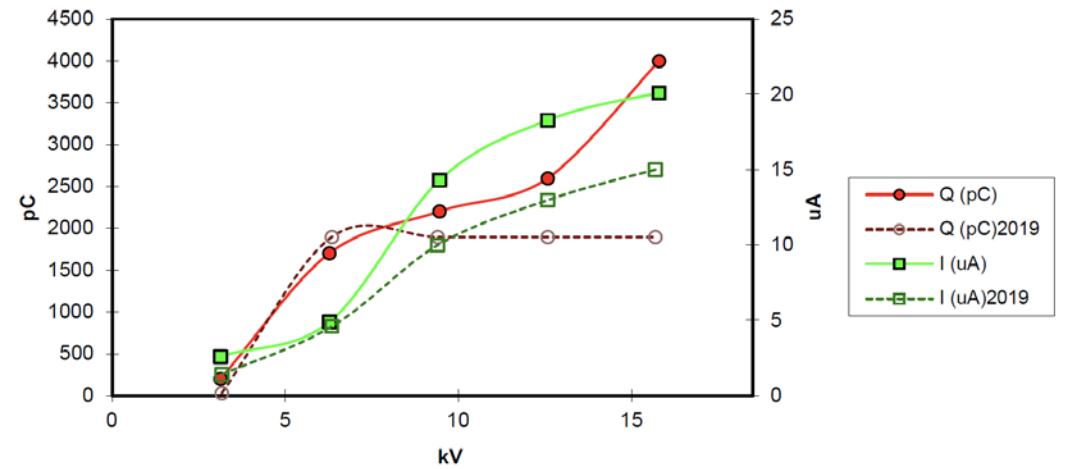




U fázis C, tgd

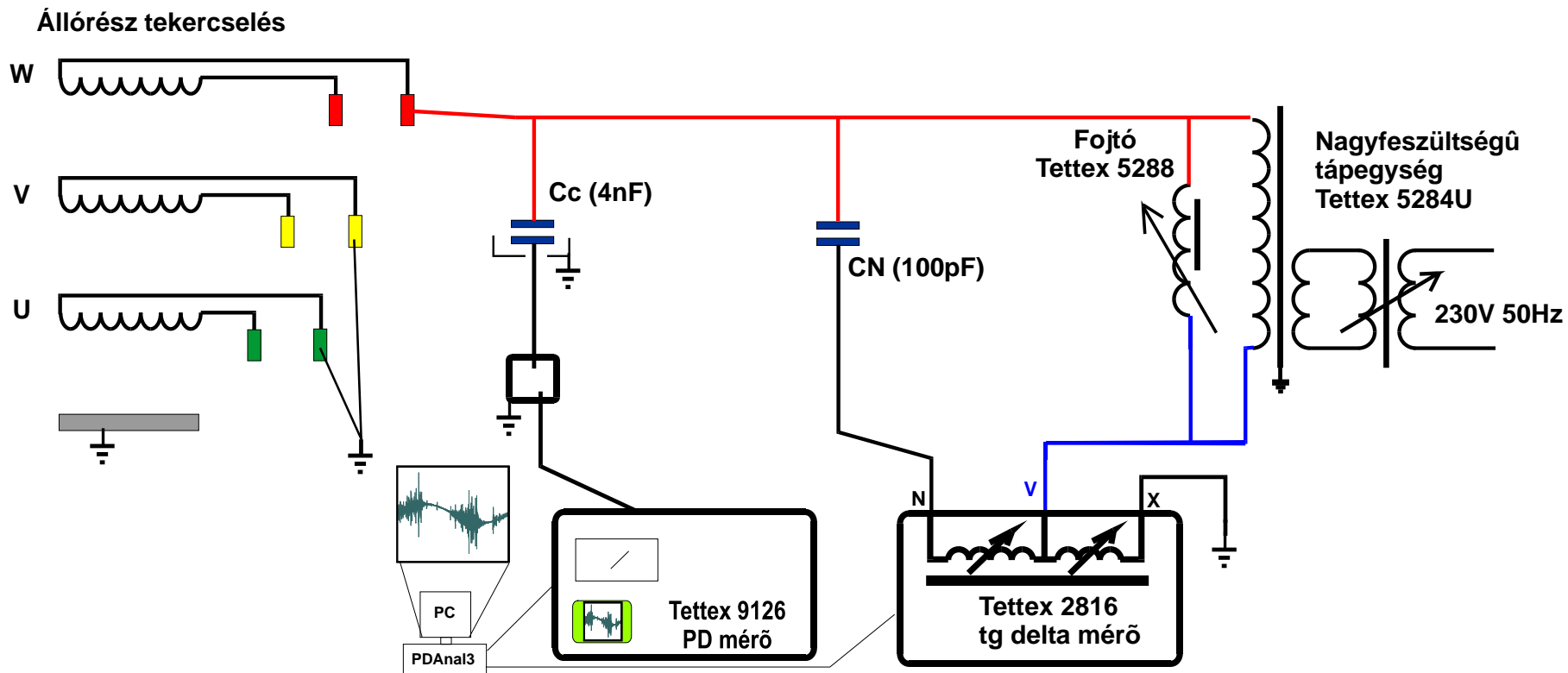


U fázis Q, I





Veszteségi tényező (tg delta) és részkisülés szimultán mérése generátor állórészen

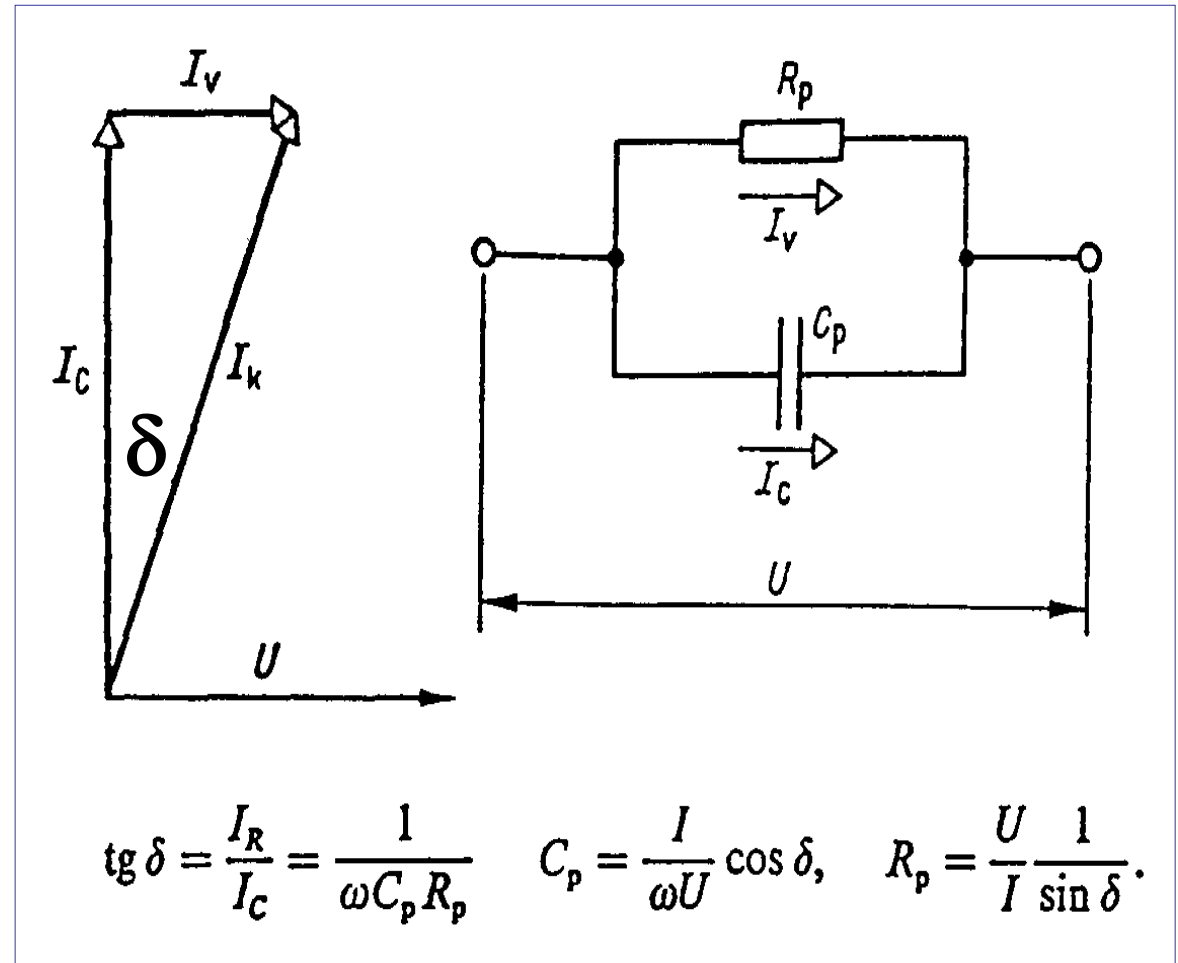




A veszteségi tényező értékét befolyásoló tényezők:

- A kitöltő anyag jellemzői
 - A térhálósodás állapota
- Határrétegek, és egyebek
 - Különböző szigetelő rétegek
 - Inner corona protection
 - Potenciál vezérlés
- Üregek, impregnálási hiányosságok
 - Gyenge impregnálás
 - Öregedés
- Környezeti és egyéb külső hatások
 - Hőmérséklet
 - Frekvencia
 - Villamos térerősség
 - Szennyezés
 - Nedvesség
- A villamos szigetelési rendszer (EIS) öregedése

Veszteségi tényező (tg delta) mérés





Párhuzamos ellenállás hatása a veszteségi tényezőre:

A veszteségi tényező $\text{tg } \delta = 1/\omega CR$

100nF állórész kapacitásnál:

1MΩ szigetelési ellenállás a veszteségi tényezőt $318 \cdot 10^{-4}$ -nel növeli

100MΩ szigetelési ellenállás a veszteségi tényezőt $3.18 \cdot 10^{-4}$ -nel növeli

200, 300nF esetén az érték a fele/harmada lesz

Soros ellenállás hatása a veszteségi tényezőre:

A veszteségi tényező $\text{tg } \delta = \omega CsRs$

100nF állórész kapacitásnál:

10 Ω soros ellenállás a veszteségi tényezőt $3.14 \cdot 10^{-4}$ -nel növeli

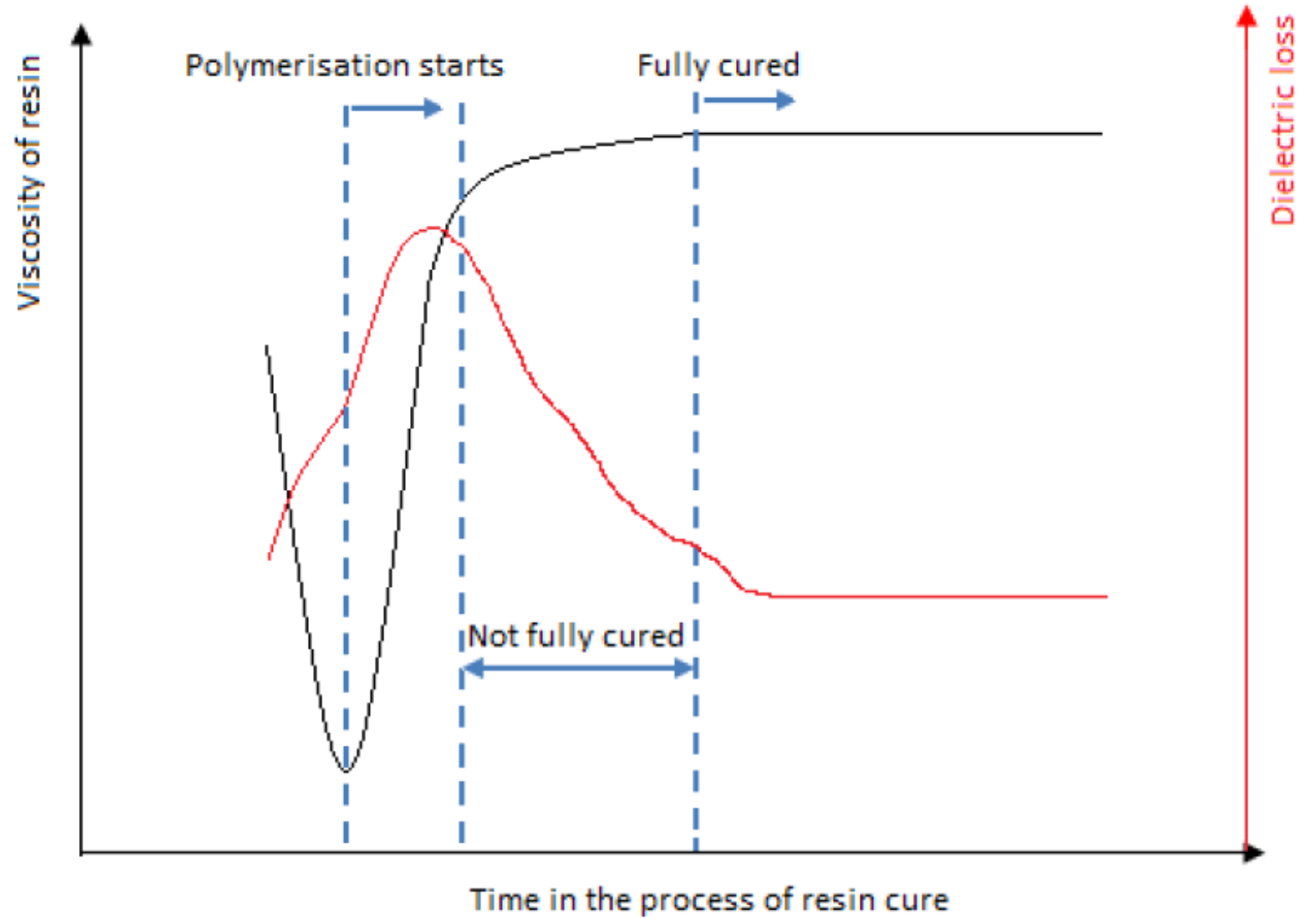
100 Ω soros ellenállás a veszteségi tényezőt $31.4 \cdot 10^{-4}$ -nel növeli

200, 300nF esetén az érték a 2-szerese, 3 szorosa lesz

Fontos a bekötő mérő vezetékek megfelelő keresztmetszete!!

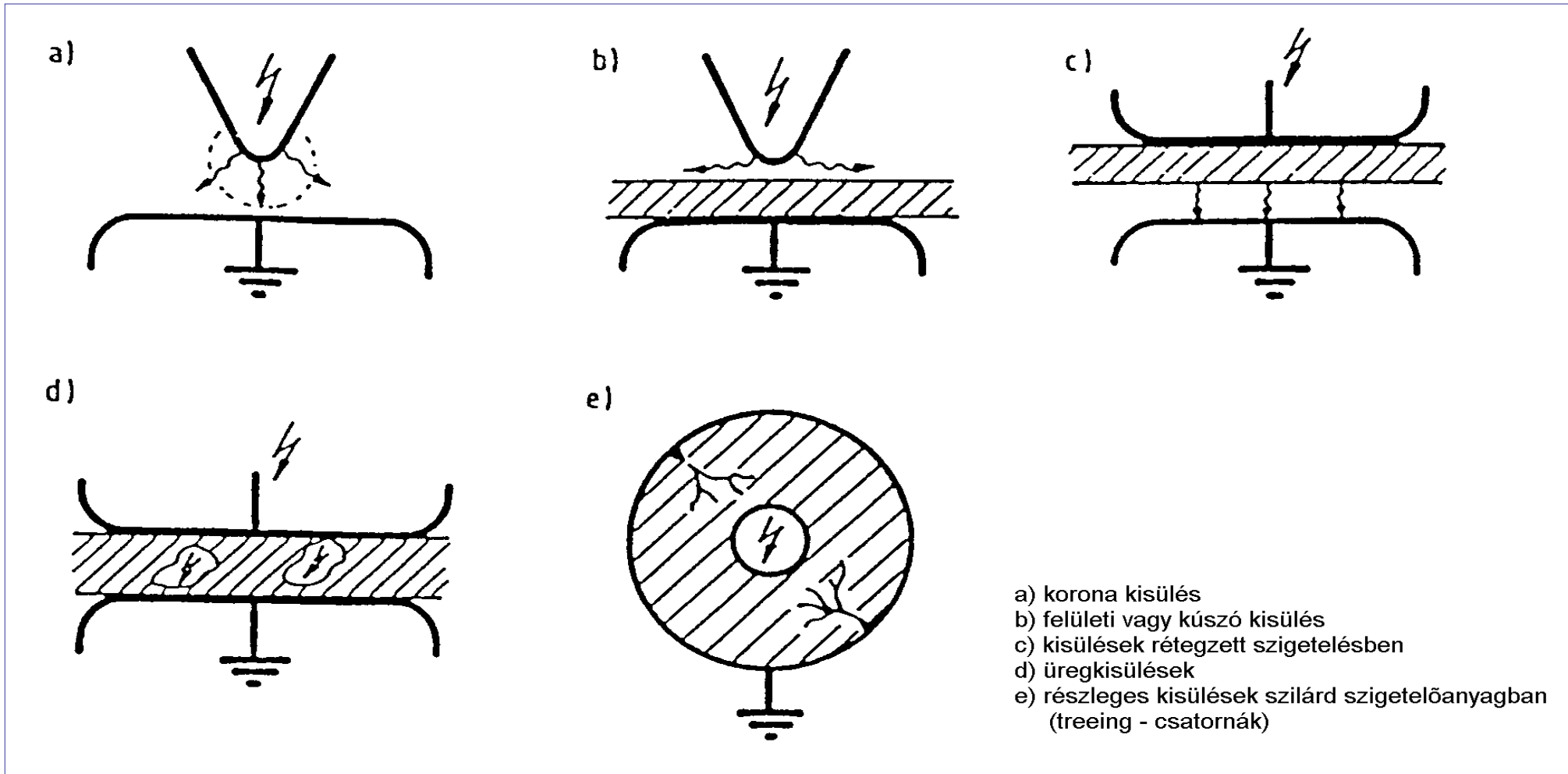


*A veszteségi tényező
változása a gyanta kötése
során*



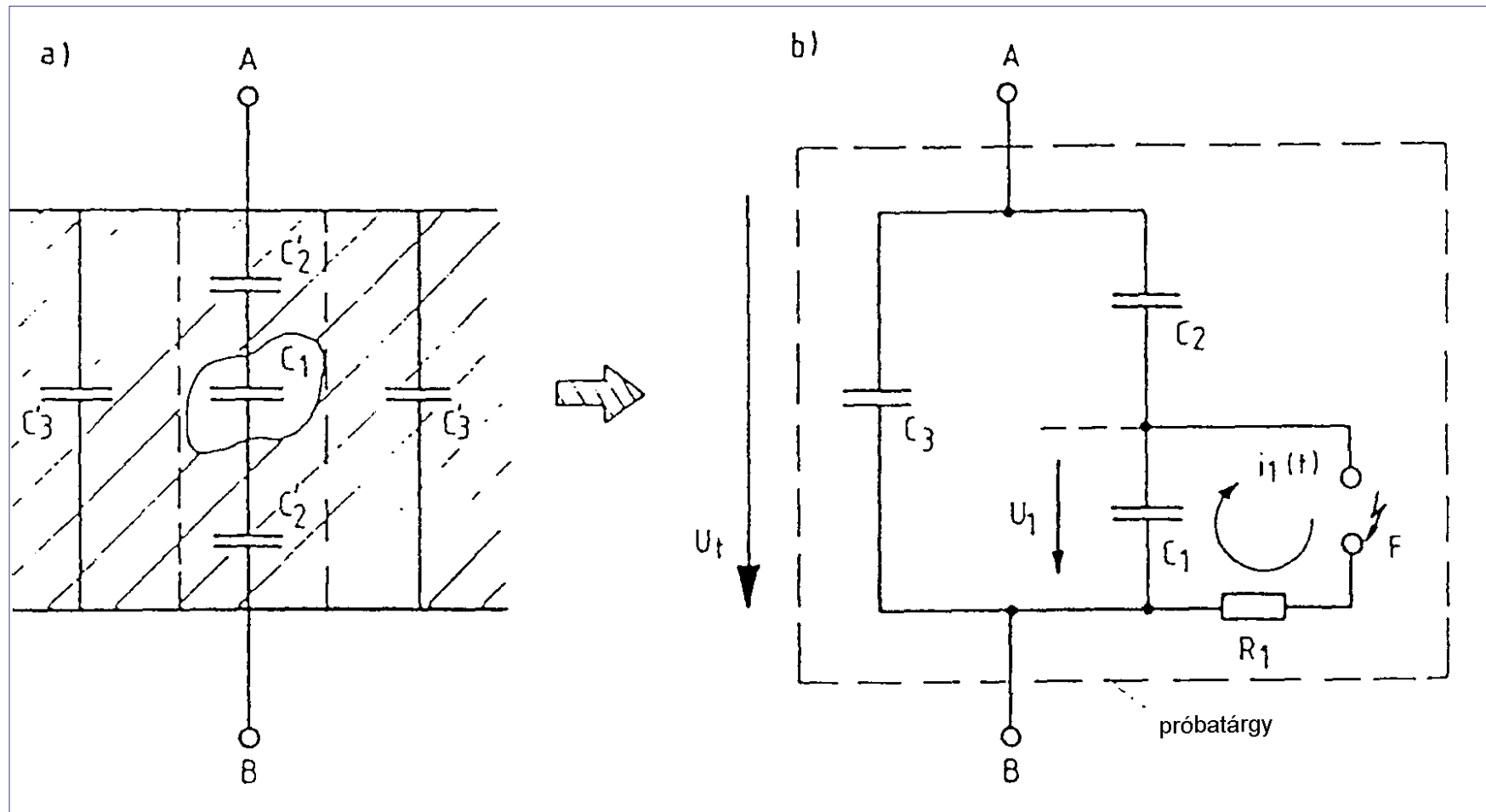


Részkisülés mérés



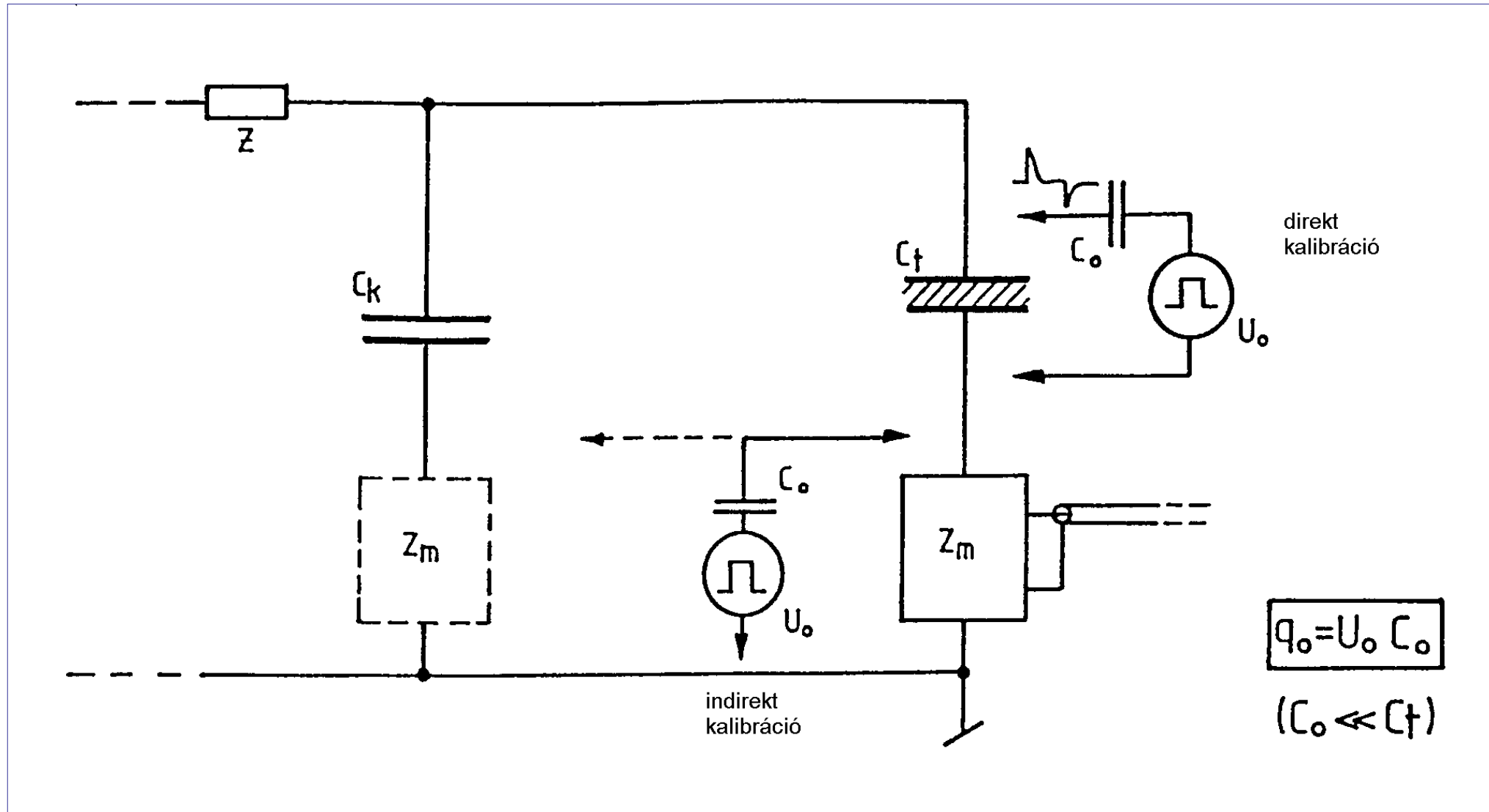


Részkisülés mérés



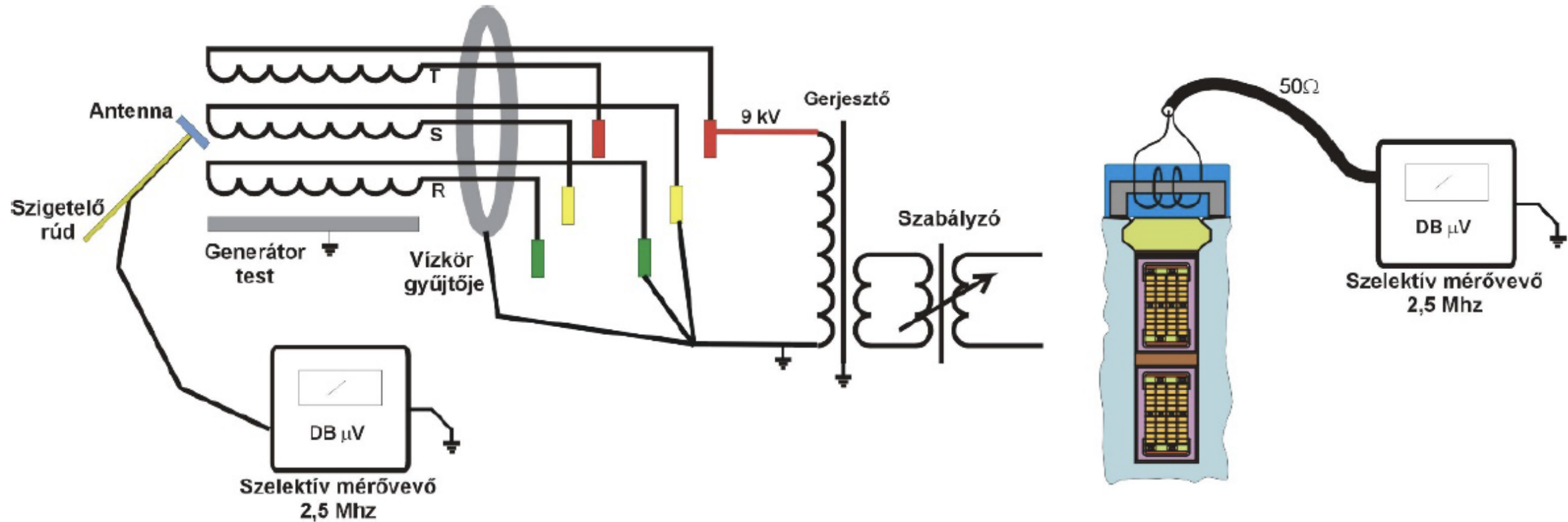


Részkisülés mérés kalibráció



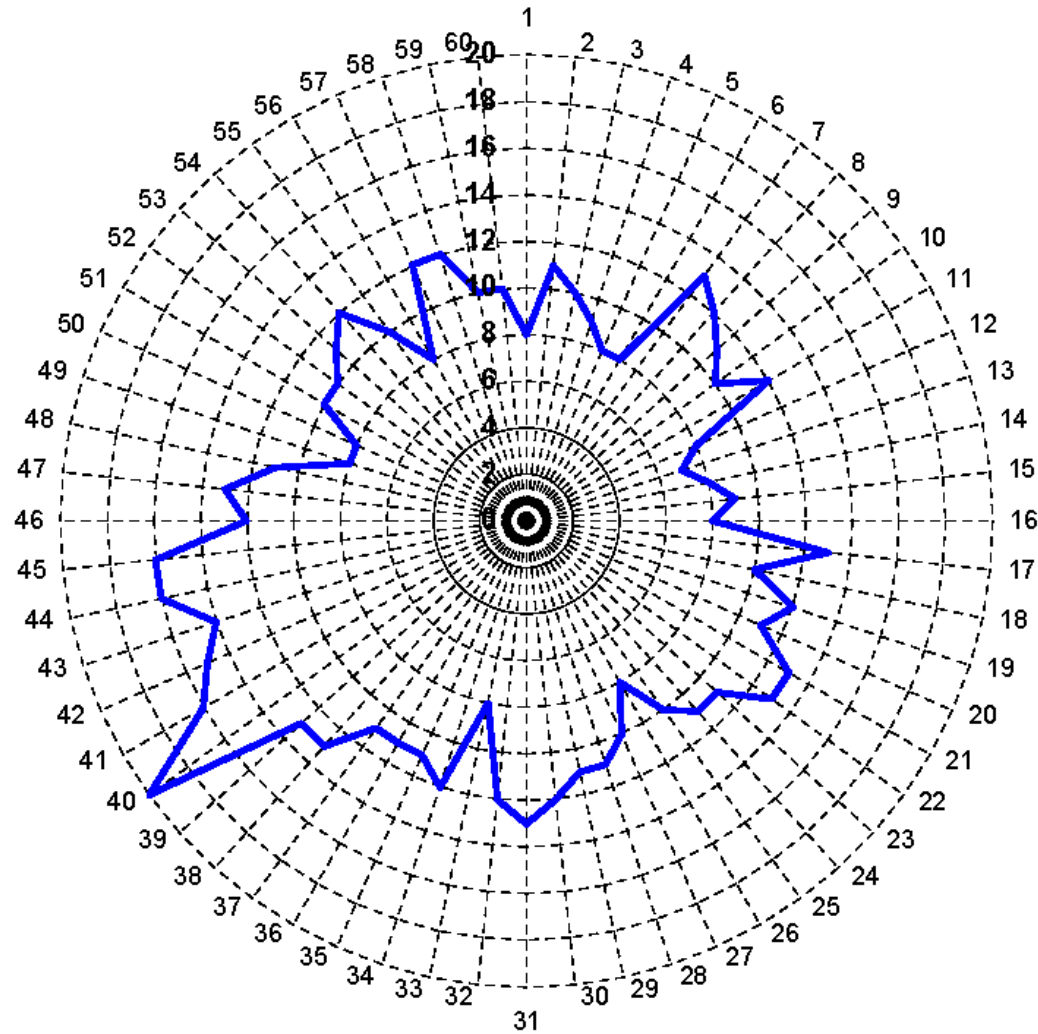


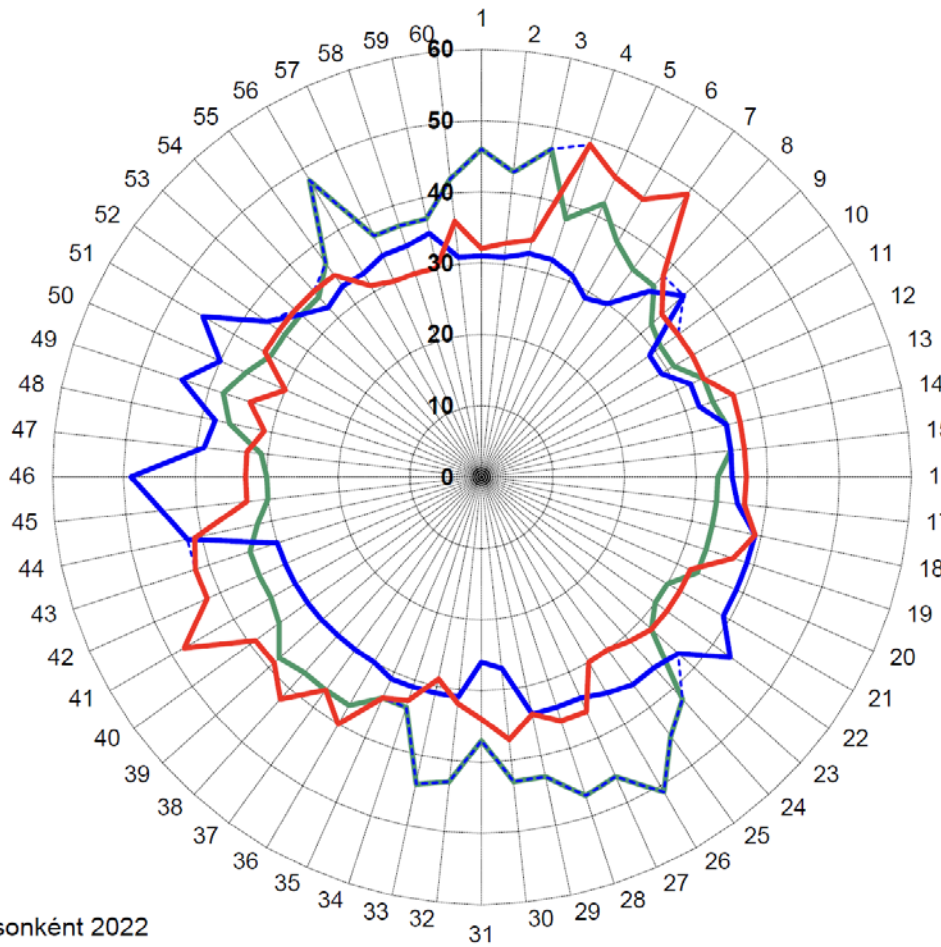
Hornyonkénti rádiózavarszintmérés





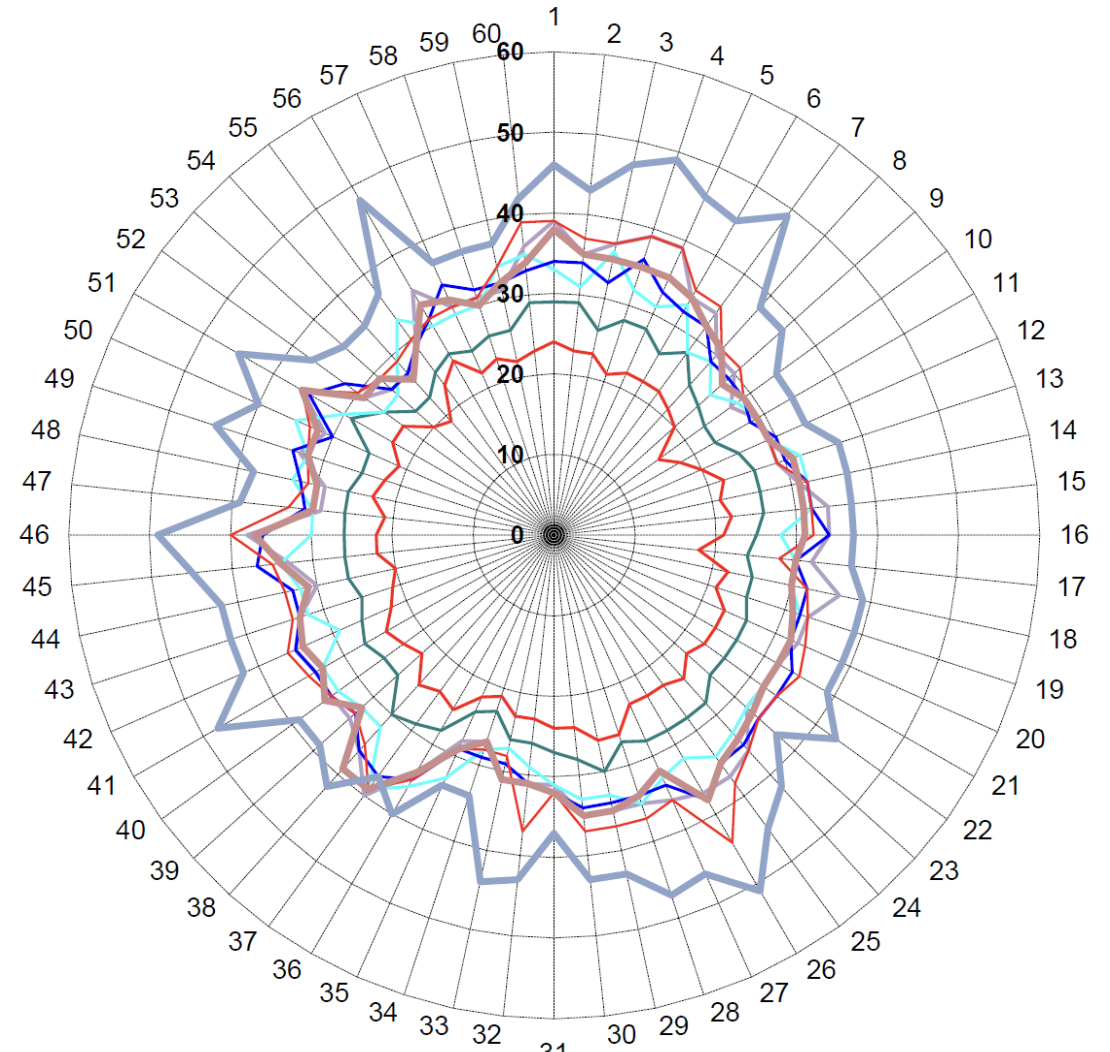
Hornyonkénti rádiófrekvenciás zavar szintmérés



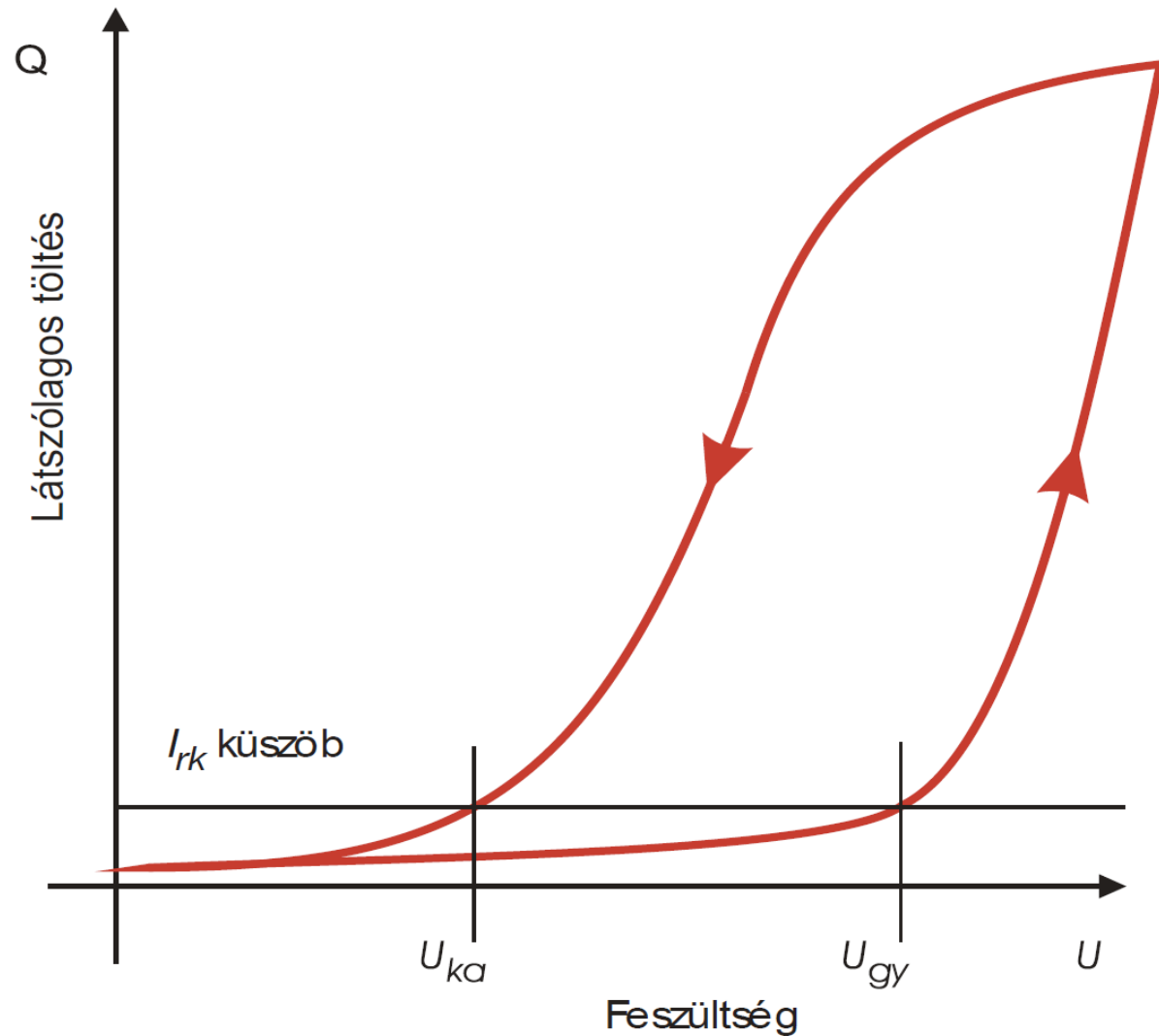


Fázisonként 2022

- U
- V
- W

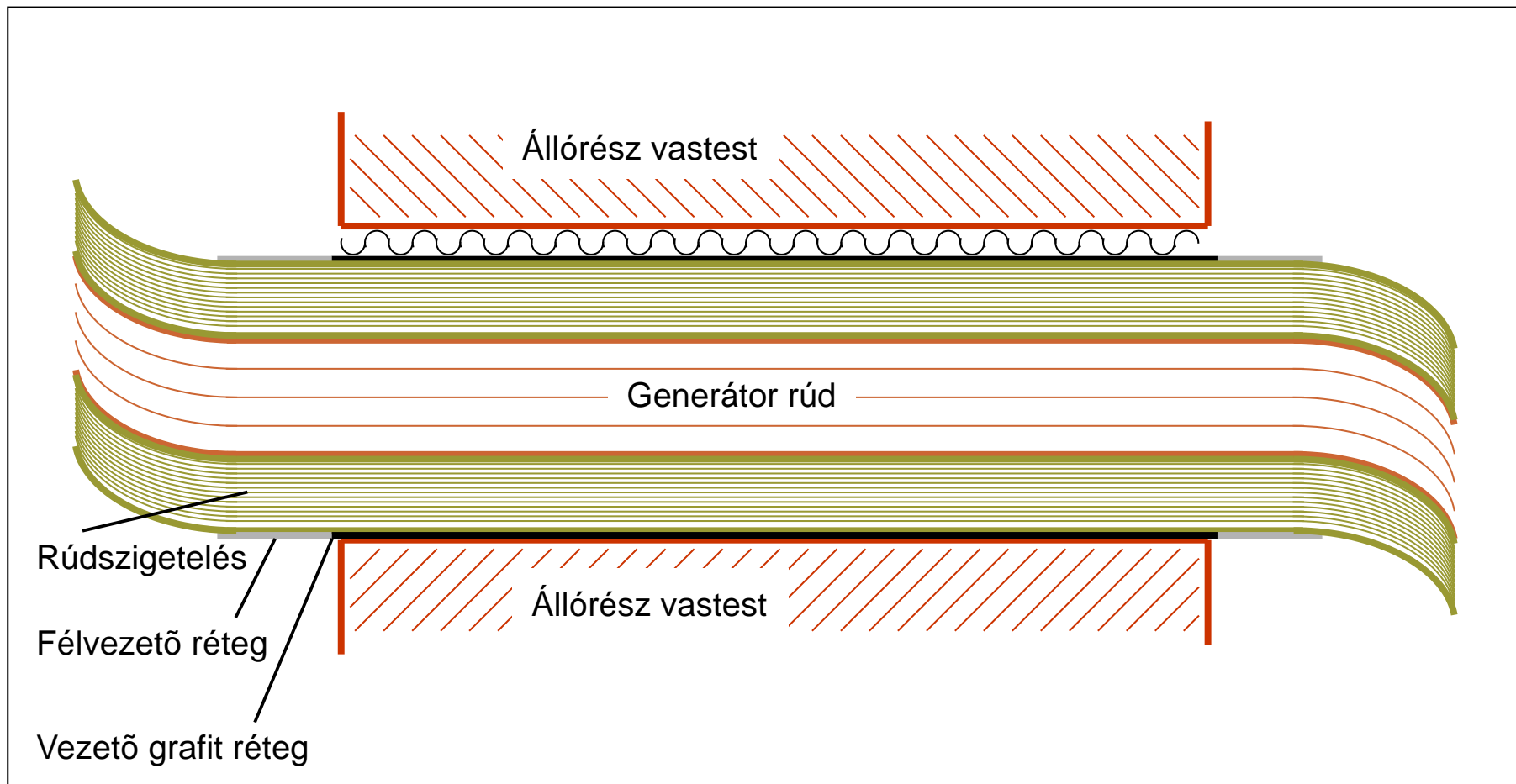


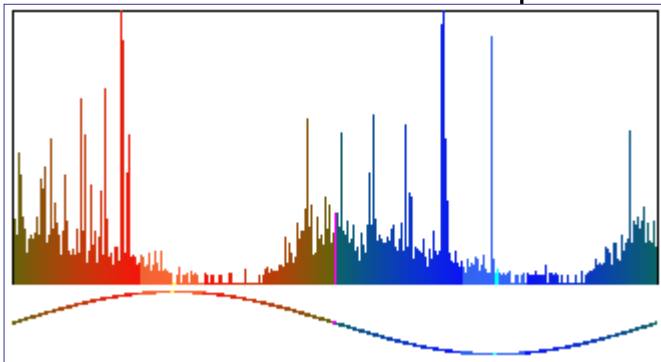
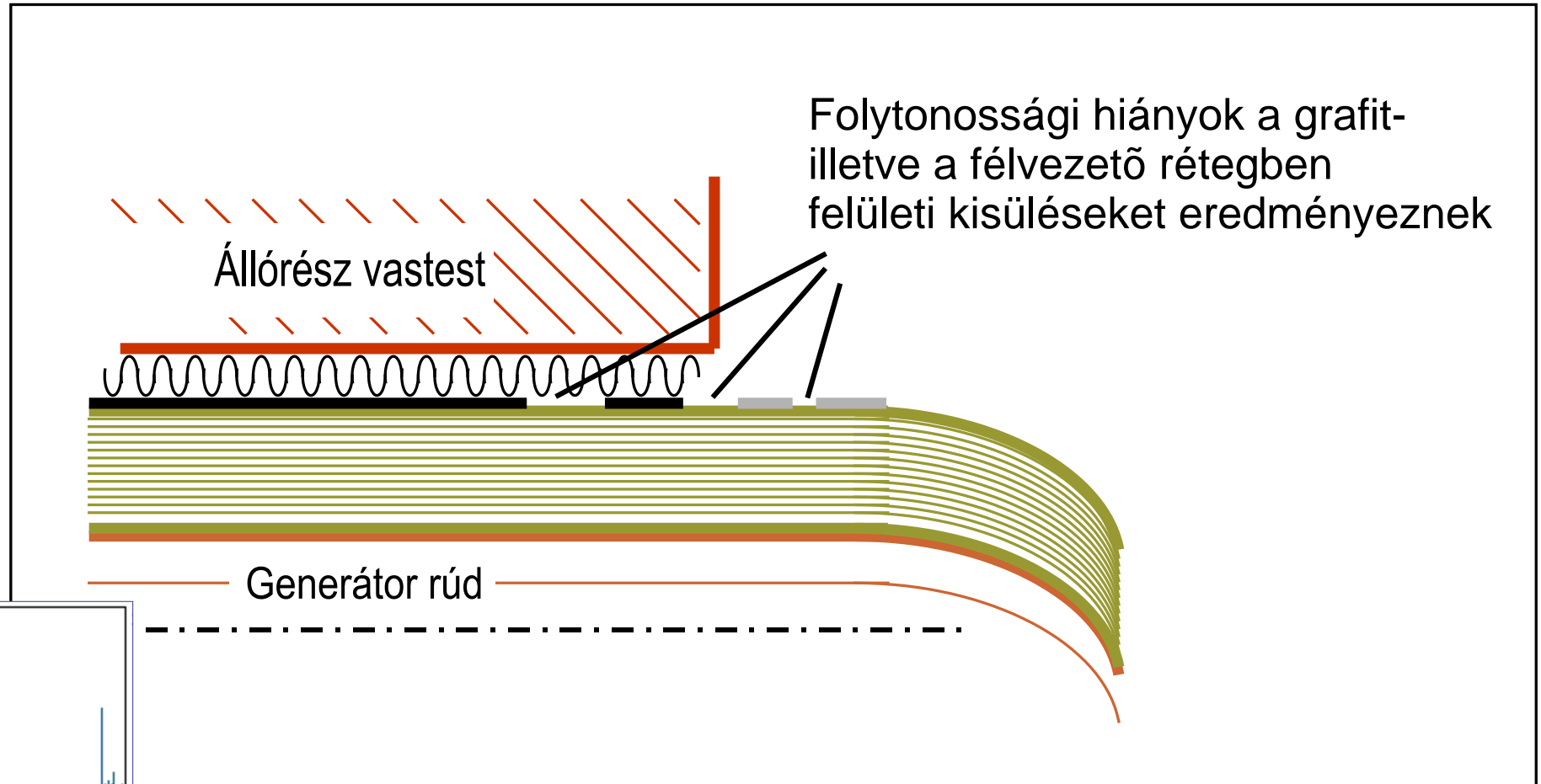
- 2011
- 2003
- 2001
- 2005
- 2007
- 2015
- 2017
- 2022



A részkisülés intenzitás hiszterézise

A részkisülés hiszterézis sokszor ad lényeges információt a részleges kisülés fajtáját illetően. Alakulását a gyújtási és a kialvási feszültség mérésével egyidejűleg lehet vizsgálni: a feszültség fel, illetve leszállása közben regisztrálják a részleges kisülés intenzitását a vizsgálófeszültség nagyságának függvényében. Általában a koronakisülés nem, a felületi kisülés alig mutat hiszterézist, míg a belső kisülés jelentős hiszterézist mutathat (lásd ábrát).







Modellkísérlet a részkisülés eloszlások meghatározására különböző tipikus meghibásodások esetén

XIII ISH szimpóziumon megjelent előadás

Partial discharge pattern recognition as a diagnostic tool for stator bar defects

M. Farahani¹, H. Borsi¹, E. Gockenbach¹, M. Kaufhold²

¹University of Hannover, Hannover, Germany

²Siemens AG, A&D Large Drives, Nürnberg, Germany

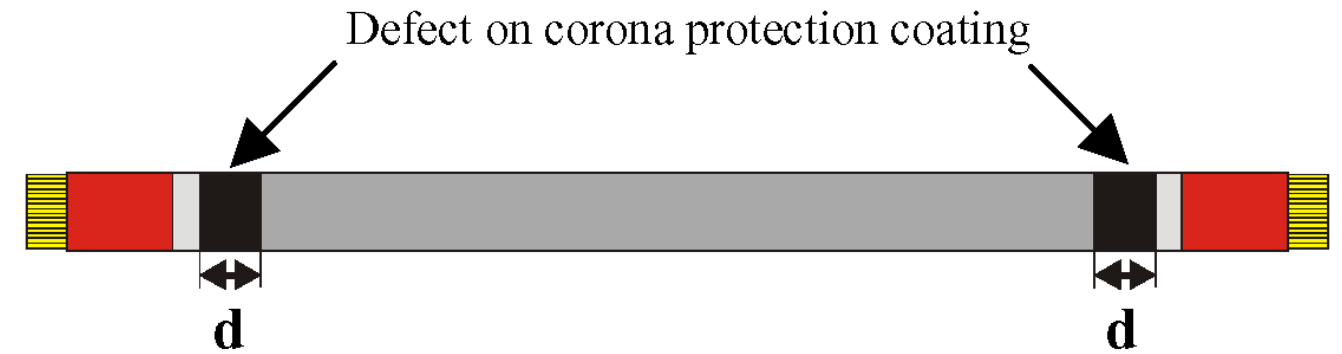
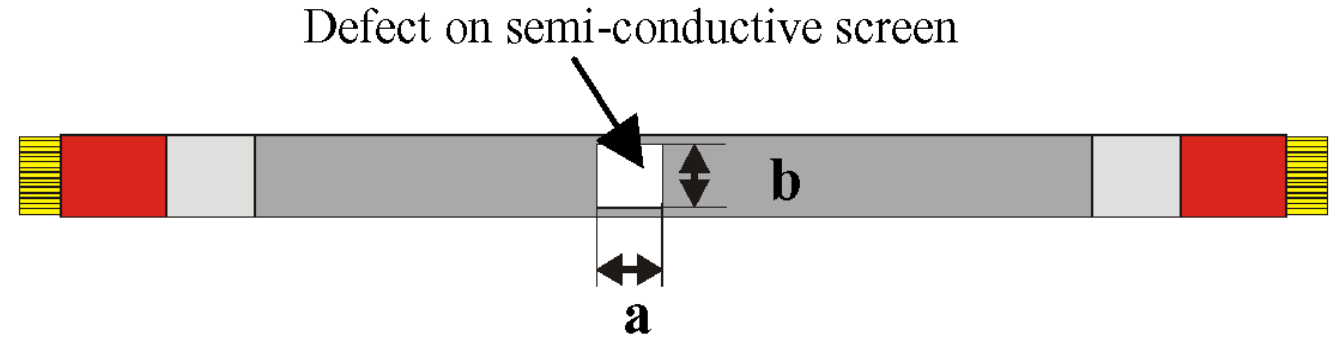
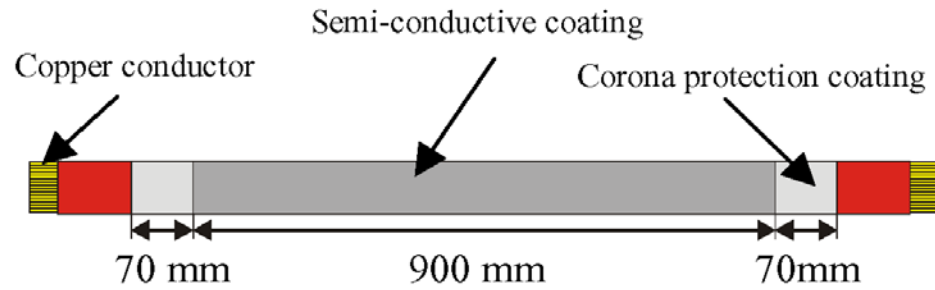


Figure 6: Stator bar with end-winding defect

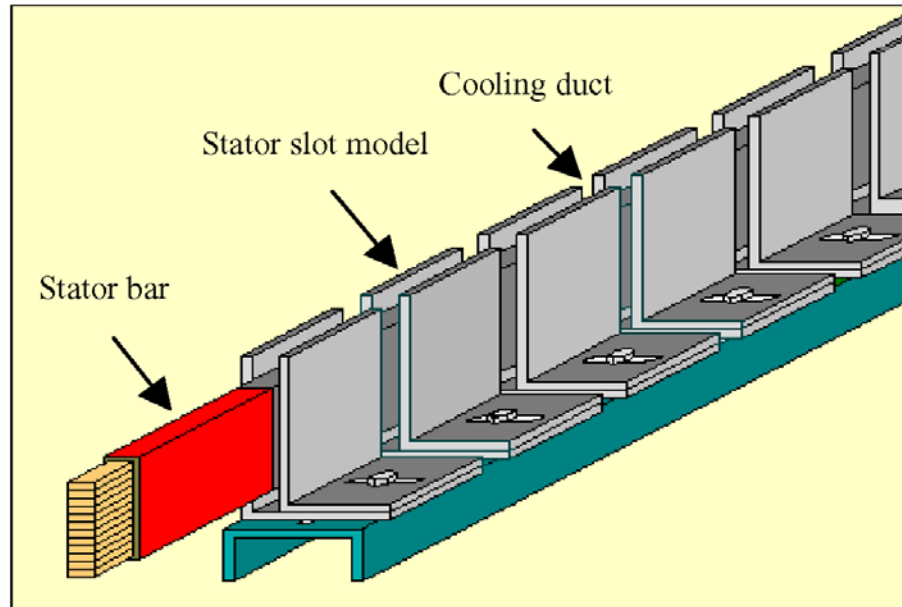


Figure 1: Machine bar and model stator slot



A vezető grafit rétegben bekövetkezett hiány hatásának vizsgálata

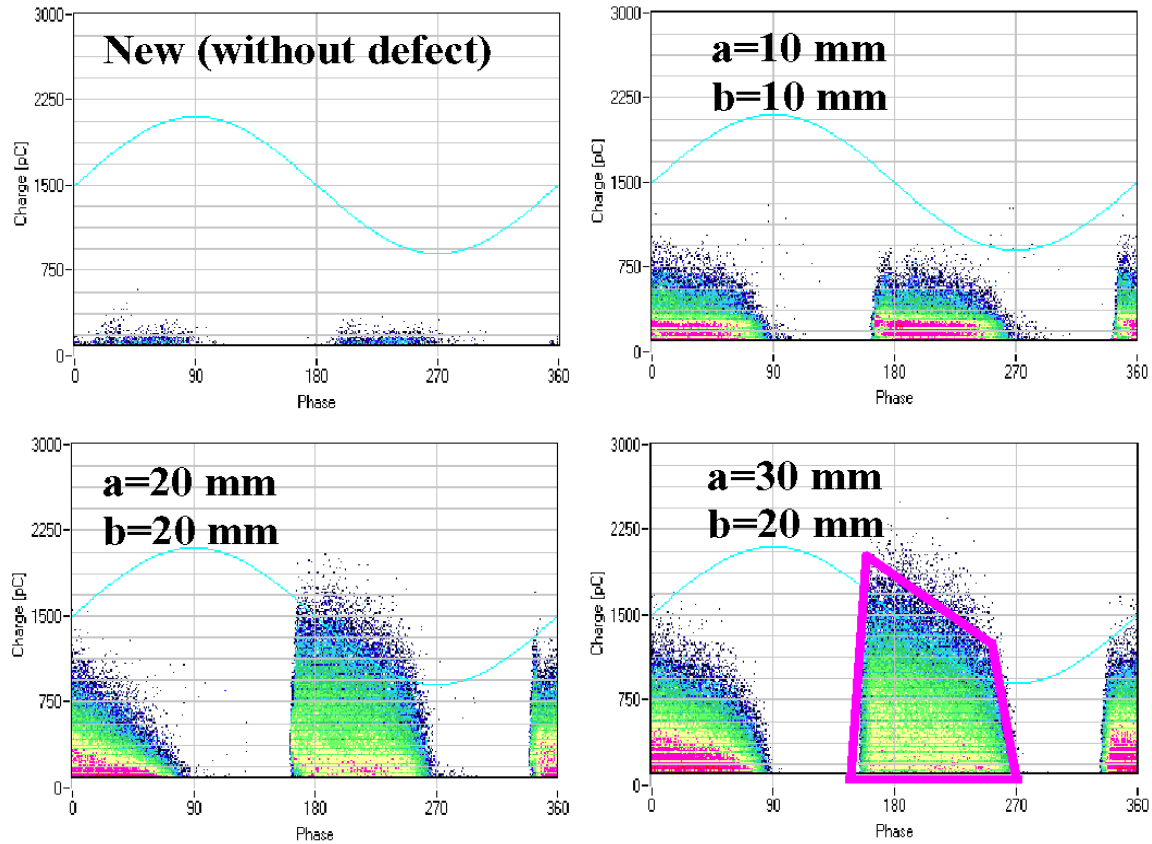


Figure 4: PD pattern of slot discharge, measured at 10 kV, RT, on machine bar with different dimensions of defect

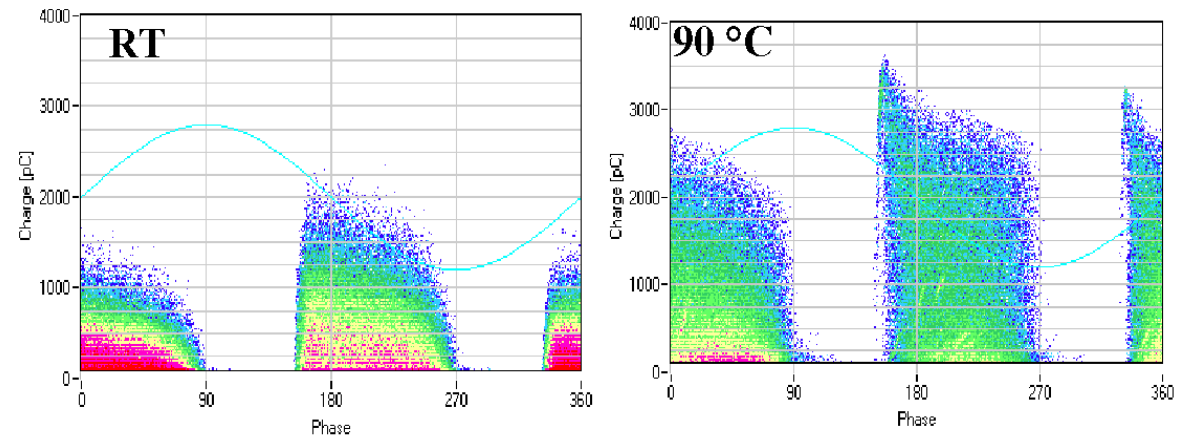


Figure 5: PD pattern of slot discharge, measured at 10 kV on machine bars with defect dimensions $a=30\text{mm}$, $b=20\text{mm}$ at different temperature



A rúdvég félvezető rétegének meghibásodása

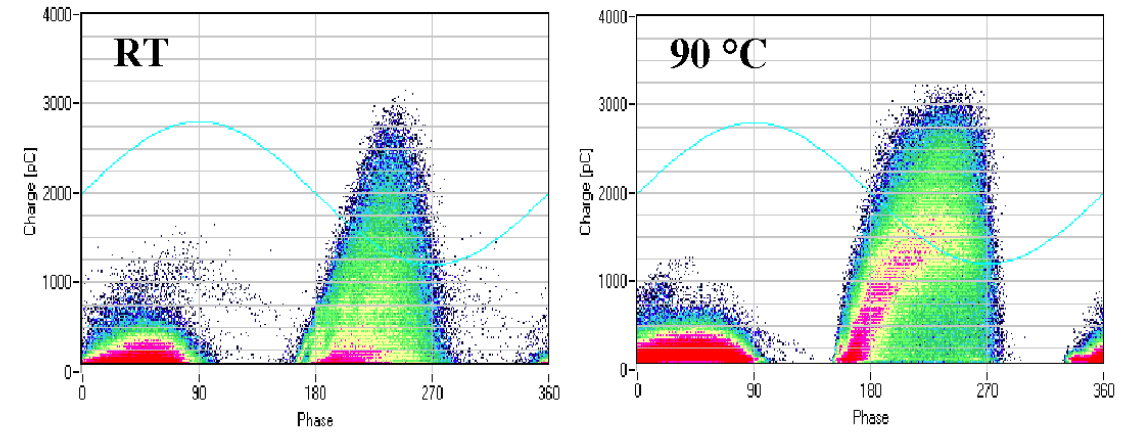
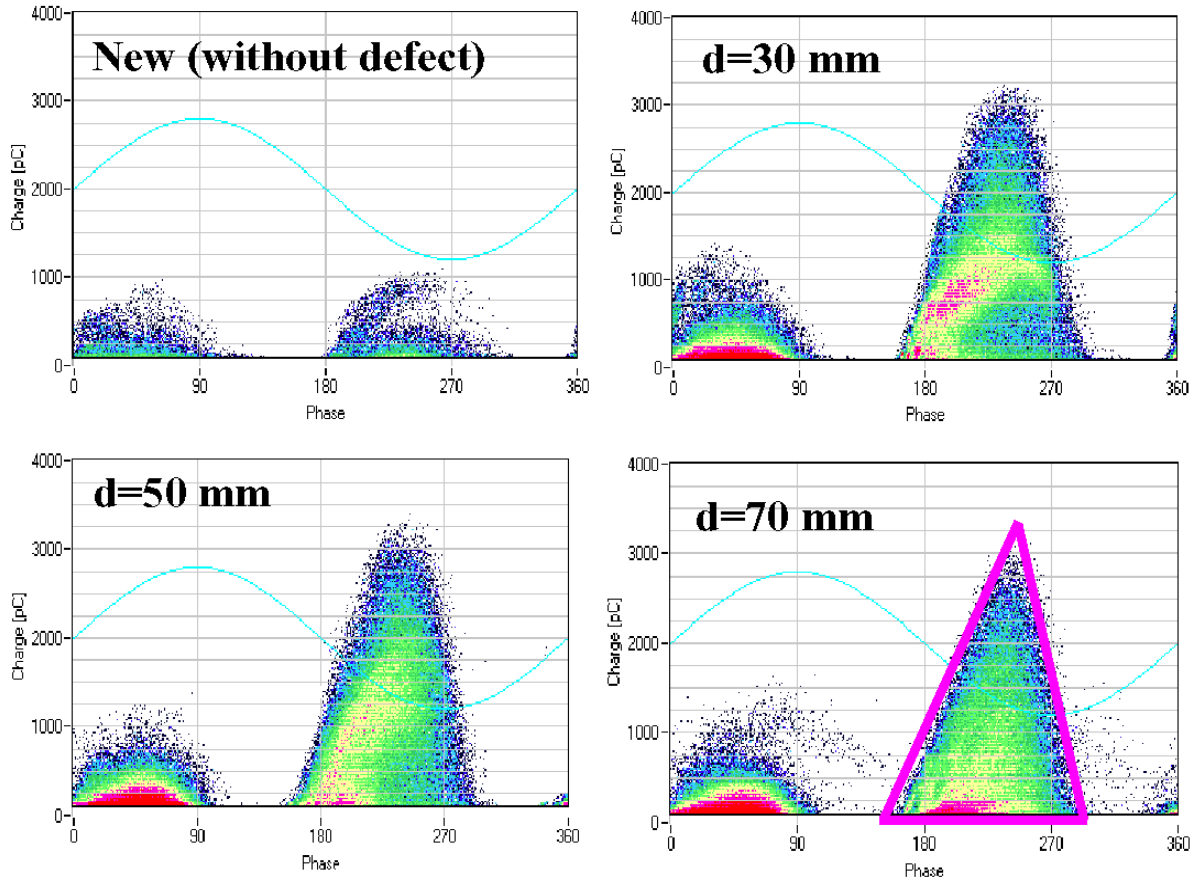


Figure 8: PD pattern of end-winding discharge, measured at 10 kV on machine bars with $d=70\text{mm}$ at different temperature

Figure 7: PD pattern of end-winding discharge, measured at 10 kV, RT, on machine bars with different dimensions of defect



Belső kisülések keletkezése a rúd öregítése során

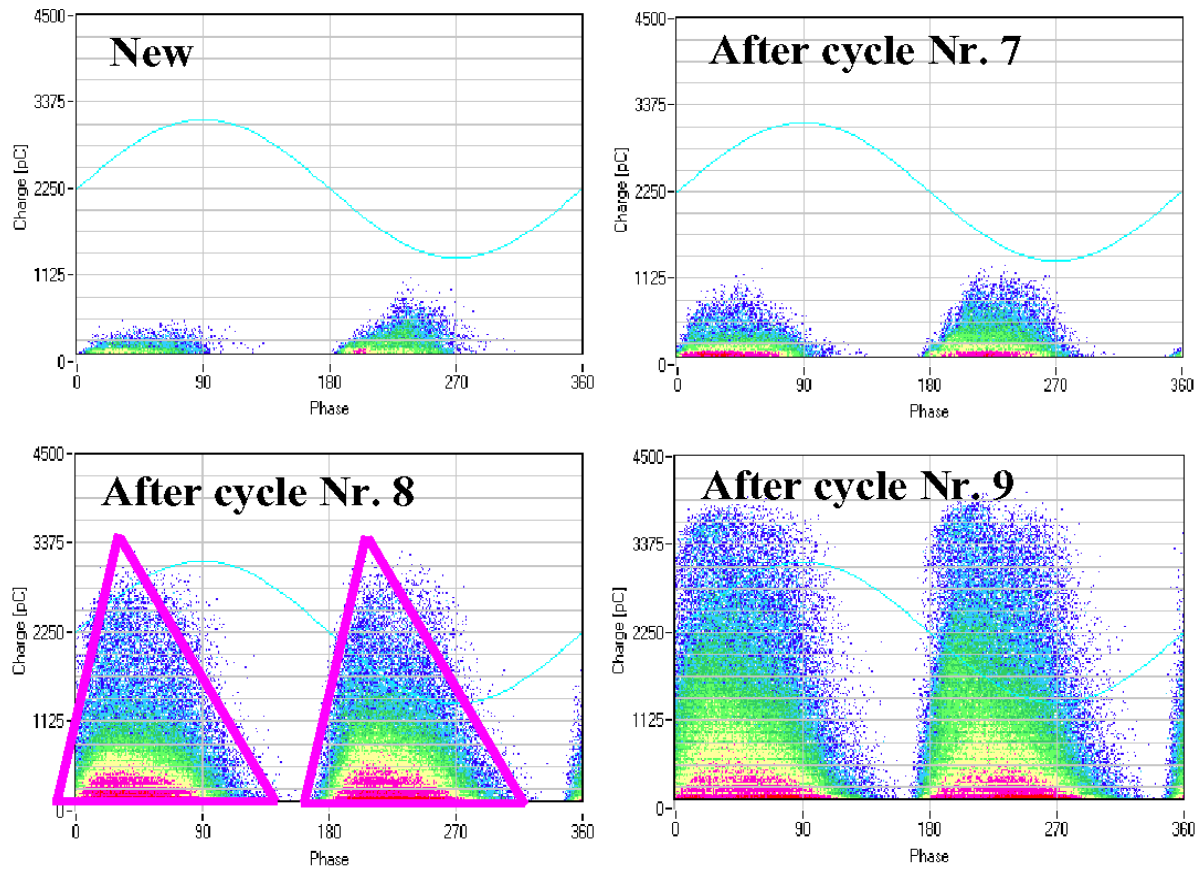


Figure 9: PD pattern of internal discharge, measured at 6 kV, RT on machine bars at different ageing conditions

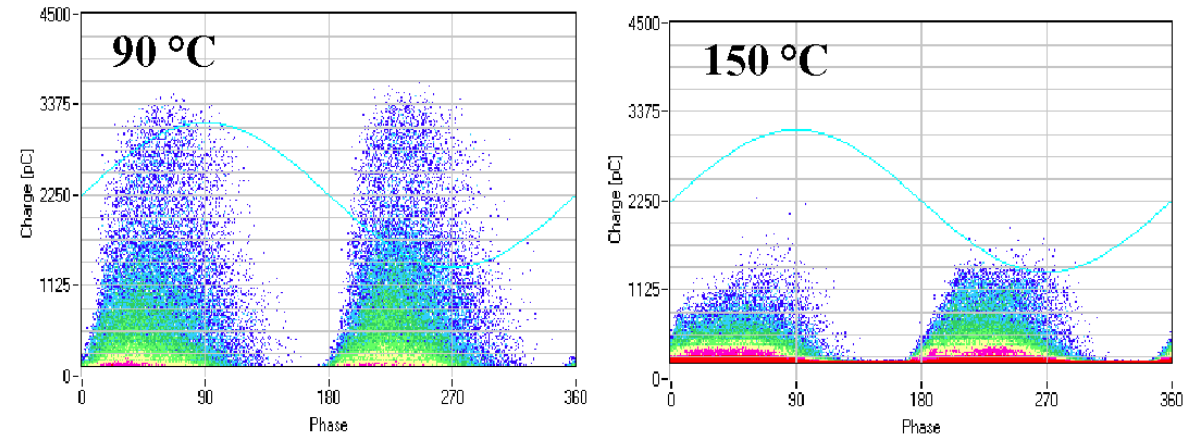
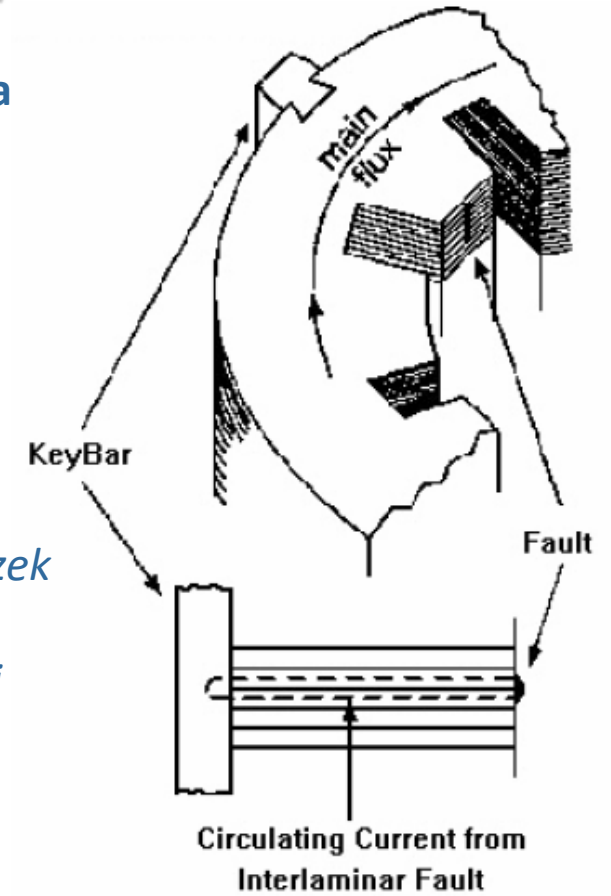
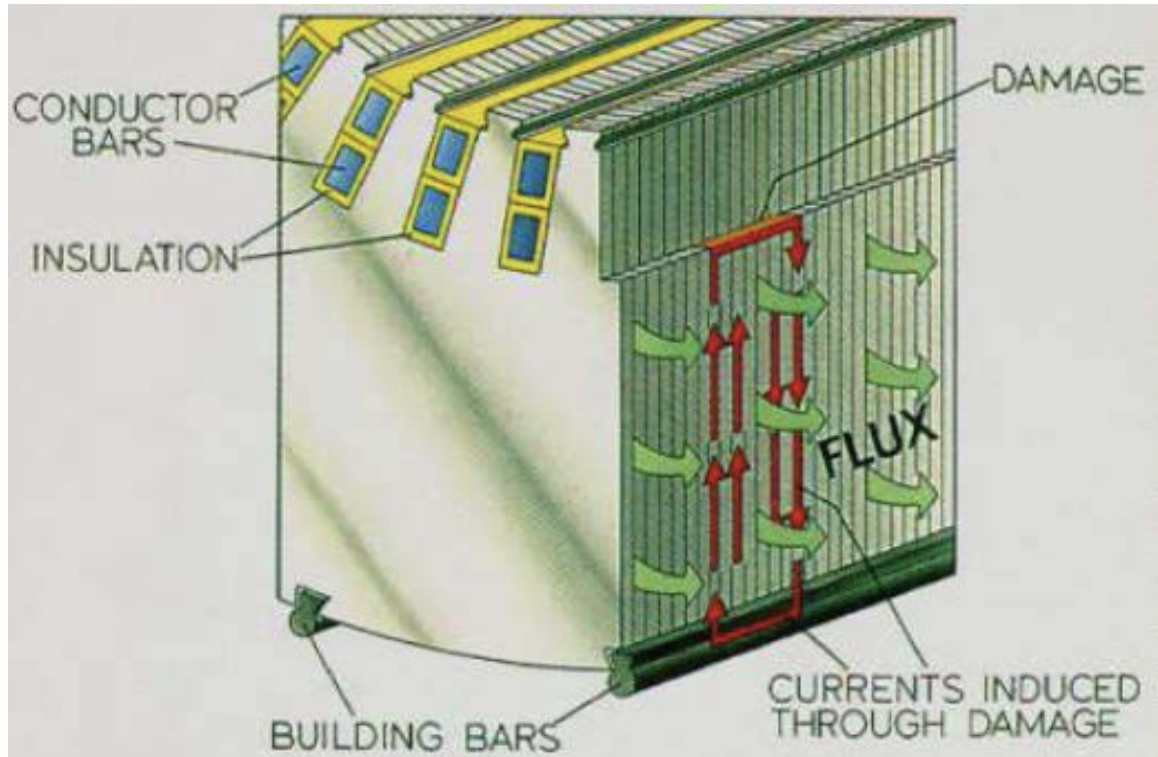


Figure 10: PD pattern of internal discharge, measured at 6 kV on a machine bar after thermal ageing (after cycle Nr. 8) at different temperature.



EL-CID=Electromagnetic Core Imperfection Detector

ELCID módszer: állórész lemeztetek alacsony fluxusú vaszárlat vizsgálata

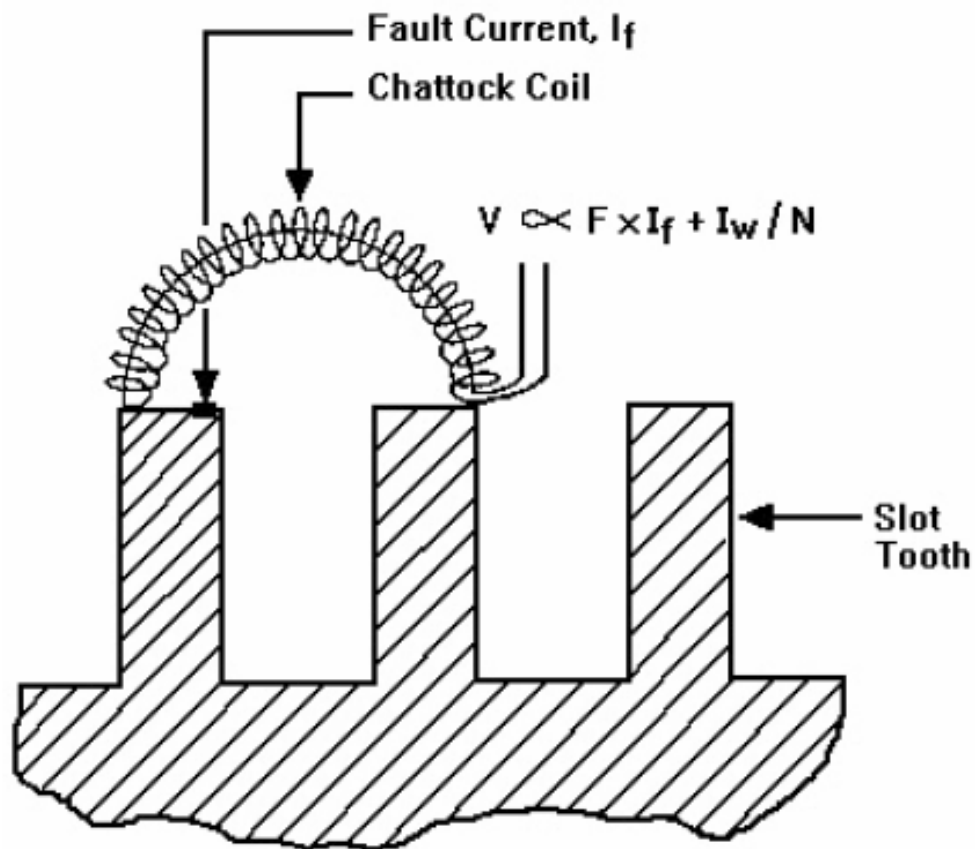


*A lemezek közötti szigetelés átütése hibaáramot okoz, ezek a hibaáramok magas hőmérsékletet okoznak, ami tovább rongálja a vaslemezeket
Ha ellenőrzés nélkül marad, meghibásodhat az állórészvasmag, a tekercs, az egész forgógép*



EL-CID=Electromagnetic Core Imperfection Detector

ELCID módszer: állórész lemeztetek alacsony fluxusú vaszárlat vizsgálata

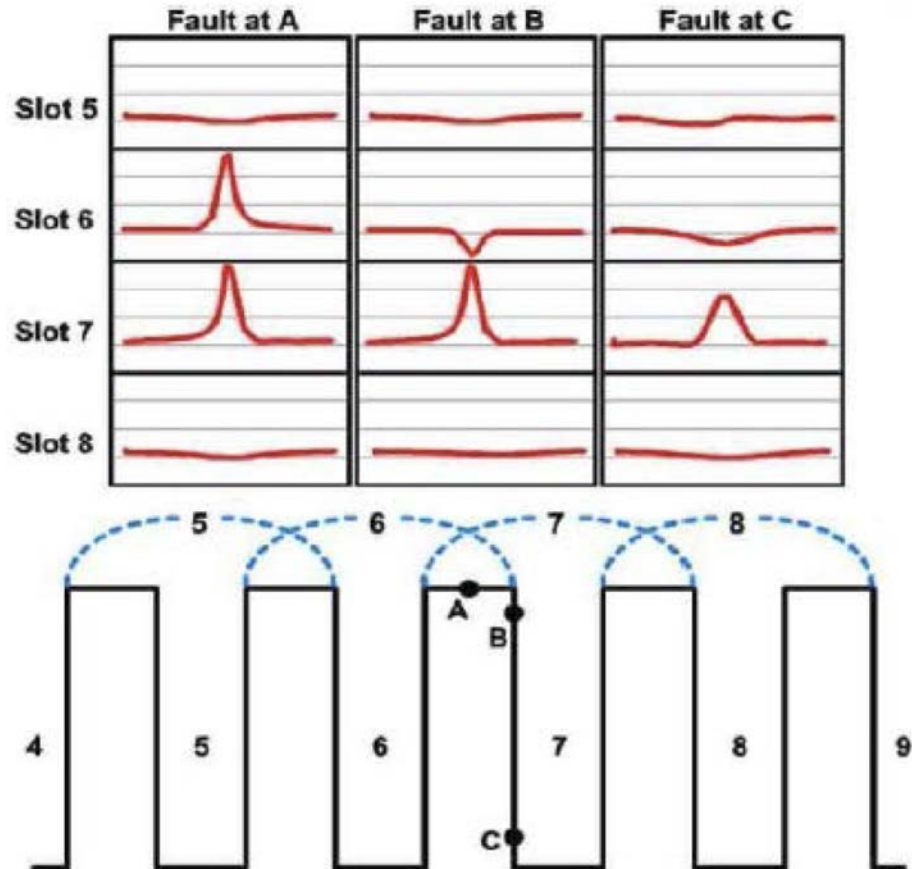


*A lemezek közötti szigetelés átütése hibaáramot okoz, ezek a hibaáramok magas hőmérsékletet okoznak, ami tovább rongálja a vaslemezeket
Ha ellenőrzés nélkül marad, meghibásodhat az állórészvasmag, a tekercs, az egész forgógép*



EL-CID=Electromagnetic Core Imperfection Detector

ELCID hibahelyi eredmények elemzése





Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

VIZSGÁLATOK FAJTÁJA SZERINT

Villamos vizsgálatok

Nem villamos vizsgálatok (mechanikai, hidraulikai, termikus, vizuális, stb.)

VIZSGÁLATI CIKLUSIDŐ SZERINT

Nagyrevíziókor, kisrevíziókor, ill. rövidebb ciklusban végzendő vizsgálatok



Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

1. Leállítás előtt, forgó állapotban elvégzendő vizsgálatok

- 1.1. *A csapágyrezgések mérése*
- 1.2. *Az állórész-ház rezgés mérése*
- 1.3. *A gépben levő hidrogén szennyezőinek vizsgálata, nedvességmérés*
- 1.4. *Tekercshűtővíz vezetőképességének, kémiai paramétereinek ellenőrzése*
- 1.5. *A tengelyzárak olajforgalma (névleges fordulatszámmon)*
- 1.6. *A tengelyzár olajnyomás viszonyok vizsgálata (névleges fordulaton)*
- 1.7. *A tengelyzár hőmérsékletek mérése.*
- 1.8. *Az állórész horony hőmérők, gázhőmérők ellenőrzése*
- 1.9. *Üresjárási karakterisztika felvétele*
- 1.10. *Forgórész impedancia mérés $Z = f(n)$*
- 1.11. *Tengelyfeszültség mérése*
- 1.12. *Fluxus szondás vizsgálat*



Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

2. A leállás után, a szétszerelés megkezdése előtt elvégzendő vizsgálatok

- 2.1. *A csúszógyűrűk mechanikai vizsgálata*
- 2.2. *A turbina és a generátor közötti tengelykapcsoló beállításának vizsgálata.*

3. A generátor szétszerelt állapotában elvégzendő vizsgálatok.

3.1. Az állórész lemezttest vizsgálata

- 3.1.1. *Lemezttest zárlat vizsgálat (gyűrű fluxus teszt), csak kivételes esetekben*
- 3.1.2. *Alacsony fluxusú vaszárlat vizsgálat (EL-CID)*
- 3.1.3. *Lemezttest összefogó csavarok meghúzotttságának, biztosításának ellenőrzése*
- 3.1.4. *Lemezttest összefogó csavarok szigetelésének ellenőrzése*
- 3.1.5. *Lemezttest lazulások felderítése*
- 3.1.6. *Lemezttest végzónák vizsgálata.*
- 3.1.7. *Megfogó, szorító rendszer, árnyékoló tárcsa mechanikai integritásának vizsgálata*



Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

3.2. Állórész tekercselés vizsgálata

- 3.2.1. *Állórész tekercselés szigetelési ellenállásának mérése*
- 3.2.2. *Állórész tekercselés ohmos ellenállásának, impedanciájának mérése*
- 3.2.3. *Állórész tekercselés potenciálvezérlés ellenállásának mérése*
- 3.2.4. *A vízhűtésű tekercselés hermetikusságának ellenőrzése*
- 3.2.5. *Az állórész tekercselés mechanikai integritásának vizsgálata*
- 3.2.6. *A szigetelés veszteségi tényezőjének mérése*
- 3.2.7. *Részleges kisülés mérés*
- 3.2.8. *Az ékelés feszességének ellenőrzése, mérése*
- 3.2.9. *Tekercsfejek integritás és megfelelőség vizsgálata*
- 3.2.10. *Állórész tekercselés feszültségpróbája (szükség esetén)*



Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

3.3. Forgórész

- 3.3.1. *A forgórész tömb felületének vizsgálata*
- 3.3.2. *A horonyékek helyzetének és az ékelés feszességének ellenőrzése*
- 3.3.3. *A bandázsgyűrűk vizsgálata (repedés mentesség, stb.)*
- 3.3.4. *A tekercselés és a tekercsfejek alatti szellőző járatok ellenőrzése.*
- 3.3.5. *A tekercsfej mechanikai integritás vizsgálata*
- 3.3.6. *Szigetelési ellenállás mérés a forgórészen*
- 3.3.7. *A tekercselés ohmos ellenállásának és impedanciájának mérése*
- 3.3.8. *A tekercselés feszültségpróbája (szükség esetén)*
- 3.3.9. *Hidrogén hűtésű gépeknél a tömítő felületek vizsgálata*
- 3.3.10. *A csaphelyek vizsgálata*
- 3.3.11. *Hidrogén hűtésű gépeknél a forgórész gáztömörségének ellenőrzése*
- 3.3.12. *RSO (lökőhullámú menetzárlat) vizsgálat*
- 3.3.13. *$\Theta=fHdl$, hornyonkénti gerjesztés vizsgálat*



Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

3.4. Hidrogén hűtésű gépeknél a tengely tömítő rendszer vizsgálata

3.4.1. Futó felületek vizsgálata

3.4.2. Geometria, illeszkedés, stb. vizsgálata

3.5. Csapágyak, pajzsok

3.5.1. A csapágy fehérfém kiöntésének ellenőrzése

3.5.2. A csapágycsésze és a csapágybak illeszkedésének vizsgálata

3.5.3. A pajzs perem illeszkedésének ellenőrzése

3.6. A hűtők vizsgálata

3.6.1. A hűtés hatékonyságának ellenőrzése

3.6.2. A hűtők szivárgáspróbája

3.6.3. A hűtő általános állapotának ellenőrzése

3.7. Segédüzemi rendszerek vizsgálata



Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

4. Közvetlenül az összeszerelés előtt végzendő vizsgálatok

- 4.1. A állórész tekercselés szigetelési ellenállásának mérése*
- 4.2. A forgórész szigetelés ellenállásának mérése*
- 4.3. A forgórész impedancia ellenőrzése*
- 4.4. A forgórész feszültségpróbája (csak szükség esetén)*

5. Összeszerelés közben és utána, álló állapotban végzendő próbák

- 5.1. A tengely beállításának ellenőrzése*
- 5.2. Az tengelyemelés működésének ellenőrzése*
- 5.3. Az ellenállás hőmérők ellenőrzése*
- 5.4. Hidrogén tömítő rendszer vizsgálata összeszerelt gépen álló állapotban*
- 5.5. Szigetelten szerelendő elemek szigetelési ellenállásának mérése*



Diagnosztika vizsgálatok felosztása a vizsgálatok besorolása alapján

6. Forgó állapotban elvégzendő mérések, vizsgálatok

- 6.1. Forgó állapotú impedancia vizsgálata, $Z=f(n)$ diagram felvétele*
- 6.2. Csapágyak rezgésmérése*
- 6.3. Üresjárású karakterisztika felvétele*
- 6.4. Hidrogén tömítő rendszer jellemzőinek felvétele*
- 6.5. Segédüzemi rendszerek helyes működésének vizsgálata*
- 6.6. Forgó állapotú RSO (lökőhullámú menetzárlat) vizsgálat*
- 6.7. Fluxus szondás vizsgálat (forgórész menetzárlat vizsgálat)*



Leggyakrabban használt szabványok, utasítások, tanulmányok

- MSZ-09-0333-85 10 MVA vagy annál nagyobb teljesítményű szinkrongépek szigetelésének üzemi ellenőrzése (nem hatályos)*
- IEC 60034-1 Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*
- IEC 60034-2 Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)*
- IEC 60034-3 Rotating electrical machines – Part 3: Specific requirements for turbine-type synchronous machines*
- IEC 60034-4 Rotating electrical machines – Part 4: Methods for determining synchronous machine quantities from tests*
- IEC 60034-5 Rotating electrical machines – Part 5: Classification of degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification*
- IEC 60034-6 Rotating electrical machines – Part 6: Methods of cooling (IC Code)*
- IEC 60034-7 Rotating electrical machines – Part 7: Classification of types of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM code)*
- IEC 60034-8 Rotating electrical machines – Part 8: Terminal markings and direction of rotation*
- IEC 60034-9 Rotating electrical machines – Part 9: Noise limits*
- IEC 60034-10 Rotating electrical machines – Part 10: Conventions for description of synchronous machines*



Leggyakrabban használt szabványok, utasítások, tanulmányok

IEC 60034-11 Rotating electrical machines – Part 11: Built-in thermal protection. Chapter 1: Rules for protection of rotating electrical machines

IEC 60034-12 Rotating electrical machines – Part 12: Starting performance of single-speed three-phase cage induction motors

MSZ EN 60034-14 Villamos forgógépek 14. rész: 56mm és annál nagyobb tengelymagasságú forgógépek mechanikai rezgése. A rezgéserősség mérése, kiértékelése és határértékei (IEC 60034-14:2003)

IEC 60034-15: 2009 Rotating electrical machines – Part 15: Impulse voltage withstand levels of form-wound stator coils for rotating a.c. machines

IEC 60034-18-21 Rotating electrical machines – Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification

MSZ EN IEC 60034-27-1:2018 Villamos forgógépek 27-1 rész: Hálózatról leválasztott gépen végzett (offline) részlegeskisülés mérések a villamos forgógépek állórész-tekerceselésének szigetelésén (IEC 60034-27:2017)

MSZ EN IEC 60034-27-3:2016 Villamos forgógépek 27-3 rész: Dielektromos veszteségi tényező mérése a villamos forgógépek állórész-tekerceselésének szigetelésén (IEC 60034-27-3:2015)

MSZ EN IEC 60034-27-4 Villamos forgógépek 27-4. rész: Villamos forgógépek tekercselése polarizációs indexének és szigetelési ellenállásának mérése (IEC 60034-27-4: 2018)



Leggyakrabban használt szabványok, utasítások, tanulmányok

IEC/TS 60034-27 Rotating electrical machines – Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines

IEC 60060-1 High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements

IEC 60270-2000 High-voltage test techniques – Partial discharge measurements

IEC 60505:2011

Evaluation and qualification of electrical insulation systems

IEC 60894

Guide for test procedure for the measurement of loss tangent of coils and bars for machine windings.



Köszönöm a figyelmet

Diagnostics Kft.

H-1161 Budapest, Kossuth u. 83.

Tel: +36-1-341-8614

Mob:+36-30-977-0342

Adószám: 12959509-2-42

A CÉG RÖVID TÖRTÉNETE:



KERESÉS

LEGUTÓBBI



Generátor állórész szigetelésellenőrzése

- *Veszteségi tényező alacsony feszültségű ($0.2U_n$) értéke*
- *A kapacitás és a veszteségi tényező feszültségfüggése ($0.2U_n \dots 1.2U_n$ ($1.4 U_n$))*
- *Részkisülés mérés*
 - *A gyújtási/ kialvási feszültség meghatározása*
 - *A látszólagos töltés ($Q(pC)$) és az integrált mennyiségek ($I(\mu A)$, $D(nC^2/s)$) feszültség függésének vizsgálata*
 - *Részkisülés eloszlás és részkisülés kép értékelése a hiba jellege szempontjából*
- *Szigetelési ellenállás mérés és abszorpciós tényező meghatározás*
- *Hornyonkénti rádiózavarszintmérés, vagy ultrahangos vizsgálat*
- *Monitoring jellegű vizsgálatok (Részkisülés, Gázelemzés...)*