

Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára pilóta nélküli repülőgéppel

Thermographic Camera application for Galvanic corrosion detection with UAV

Haraszi Ferenc, Ószi Arnold

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország

haraszi.ferenc@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás — A villamos csatlakozások egy részének működése korrózióval jár. Kontaktkorróziós folyamat veszélyt jelenthet, eltérő elektronpotenciálú fémek közötti érintkezés esetén. Ez a folyamat károsítja a csatlakozási ellenállást és a mechanikai tulajdonságokat. A vezetési paraméterek kisebbek a teljesítmény részeken, mert hőhatás alakulhat ki. Ez a hőhatás sokáig nem érzékelhető. Termokamerás kísérletek útján ez a rendellenesség időben felfedezhető. Ebben a munkában kerül bemutatásra a vizsgálati lehetőség pilóta nélküli repülőgéppel.

Kulcsszavak: kontaktkorrózió, hőkamera, áramerősség, fekete test, emisszió, pilóta nélküli repülőgép

Abstract — A part of the electric connections has a corrosion aptitude. It can find a galvanic corrosion process danger in case of the contact between different electron potential metals. This process impairs the connection resistance and mechanical properties. The conduction parameters decrease in some under power parts because the heat increasing. This heat effect can be unperceived. By the way of thermographic camera experiments can be discovered this irregularity on time. In this work present this investigation with UAV.

Keywords: galvanic corrosion, thermographic camera, current, balckbody, emission, uav.

1. BEVEZETÉS

A villamosipar legfontosabb elektromos energiaátviteli formája a nagyfeszültségű szabad légvezetékek alkalmazása. A lehető legnagyobb villamos teljesítmény és üzembiztonság kialakítása miatt megfelelően méretezett és pontosan definiált anyagszerkezetű légvezetékek és szerelvények használata indokolt. A szélsőséges környezeti hatások az anyagok minősége és különbözősége korróziós problémákat vet fel. Korróziós elváltozás hatására csökkenő teljesítmény és jelentős üzembiztonság léphet fel. Szükséges ezek időben történő feltárása a megfelelő és biztonságos működés szempontjából. A ma rendelkezésre álló vizsgálati módszerek lassúak és jelentős anyagi forrásokba kerülnek. Dolgozatomban egy új lehetőséget szeretnék bemutatni, mellyel gyorsan, olcsón és veszély helyzet kialakulása nélkül lehetséges ezen villamos szerelvények diagnosztizálása. A legjellemzőbb szabad vezeték típusok évtizedek óta kettős fémeket tartalmaznak.

Ezen sodronyok kialakítása nagy szakítószilárdságú acél magot és köré sodort alumínium vezetőt tartalmaz. A két fém különböző elektródpotenciál értéke miatt kontakt- illetve felületkorrózióra jellemző elváltozáson megy keresztül. A vezető felületen haladó nagy áramerősség és a megnövekedett átmeneti ellenállás hatására egyes keresztmetszetek az üzemi hőmérséklet feletti melegedést produkálnak. Ennek azonosítása illetve nagyságrendjének megállapítása nehéz feladat. A korszerű technológiai fejlődés eredményeként új eszközöket találhatunk a biztonságos és pontos hőmérsékletméréshez.

Egyik ilyen eszköz a hőkamera a termográfia legfontosabb mérőeszköze. A nagysorozatban történő gyártás lehetővé teszi az egyre szélesebb körben való elterjedését. Korunk ma már olcsón elérhető másik praktikus eszköze a pilóta nélküli repülőgép (UAV). A két eszköz egyidejű alkalmazásával gyorsabban, biztonságosabban és sokkal pontosabban mérhetjük fel a korrózió okozta károkat. A fent említett korróziós hatásokon kívül gondot okozhat a menetzárlat, vezeték szakadás, a berendezés túlterhelése. Probléma forrás lehet még a nem megfelelő csatlakozási mechanika, kitérés, különböző deformációk az érintkező felületeken. Termokamera használatával feltárható a hiba pontos helye. Hőtérképet készíthetünk a vizsgált berendezésről, vezeték szakasról melyet referenciaként alkalmazhatunk a későbbi ellenőrzések alkalmával. Üzemi hőmérsékleteket ellenőrizhetünk, a termográfiai mérés segítségével, jóval a meghibásodás előtt képet kaphatunk a villamos rendszer állapotáról.

Ezeknek a méréseknek igen nagy a költség hatékonysága, hiszen egy ma már olcsónak számító mérőberendezéssel és drónnal nagymértékben lehet csökkenteni az állásidőt, katasztrófához vezető nagy anyagi veszteségekkel járó tüzeseteket lehet megelőzni.

2. VIZSGÁLATOK ELVI ALAPJAI

2.1 Hőkamera alkalmazási lehetősége

Modern korunkban nem élhetünk elektromos áram nélkül. A fém összeköttetés élettartamának meghatározása nagyon nehéz, mert a korrózió jelensége nehezen közelíthető számítással. Az elektromos érintkezésből és

vezetésből adódó káresemények nagy problémákat okozhatnak az ipari és a magánéletben is. Az elektromos eszközök élettartamának előrejelzése évszázadunk kihívása. A legegyszerűbb vizsgálatok a vizuális ellenőrzés és a hőmérsékletmérés. A hőmérsékletmérés miatt, viszont áramtalanítani kell az adott kötést, ami üzemenmaradást okoz. A hőmérsékletmérés nem egyszerű a hagyományos módszerek és mérési eljárások miatt, mert ebben a folyamatban kikapcsoljuk az áramot. Az áramellátás szüneteltetése az iparban és az otthonokban is károkat okozhat. elsősorban a túláram okozta felmelegedés miatt léphet fel.

2.2 Hőkamera mérési elve

Az infraszugárzáson alapuló hőmérséklet mérés, illetve hőkamerás mérési módszer a testek hősugárzó képességétől függ. Hőmérsékleti sugárzás az a folyamat, mely az anyag hőmozgása miatt elektromágneses hullámokat bocsát ki magából. Ennek az energiának a nagy része másik testre vetülve emittálódhat, vagy reflektálódhat, továbbá transzmittálódhat. Ha a vizsgált testre érkező sugárzást a test maradék nélkül elnyeli, akkor abszolút fekete testről beszélhetünk. Ha teljes mértékben visszaverődik, akkor abszolút tükröződő testről, ha a testen teljes mértékben áthalad, akkor átlátszó anyagról beszélhetünk. A hősugárzásnak, mint elektromágneses hullám terjedésnek közvetítőközegre nincs szüksége. A hősugárzás alaptörvénye a Stefan-Boltzmann törvény (1).

Az emissziós állandó függ a vizsgált darab anyagától, ami az ideális fekete test esetén:

$$P = e\sigma A_s T^4 \text{ [J]} \quad (1)$$

ahol

T [K]: hőmérséklet

P [J]: sugárzás teljesítménye

e [-]: emisszió,

A_s [m²]: felület nagysága

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ [J/m²K⁴]: a Stefan-Boltzmann állandó.

Amennyiben e , A_s és σ állandók az összefüggés egyszerűsíthető (2):

$$P = \sigma \cdot T^4 \text{ [J]} \quad (2)$$

Ebben az összefüggésben a fekete test sugárzása T-hőmérsékleten az egységnyi területre és az egységnyi idő alatt arányos a T⁴-nel. Ideális esetben a fekete test képes felvenni és kibocsátani az összes hőenergiát. Ez csak egy modell. Különböző anyagok különböző energiát bocsátanak ki. A mérésnél a fekete testhez hasonló anyag pontos eredményt ad. A különböző anyagok esetében javítani kell az eredményt a megfelelő emissziós tényező figyelembevételével. Az első táblázat a legfontosabb villamosiparban használt fémek értékeit mutatja (1.).

1. táblázat

fém	felület minősége	emissziós tényező
alumínium	oxidált	0,2-0,45
	oxidmentes	0,1-0,25
vas	oxidált	0,5-0,95
	oxidmentes	0,05-0,15
réz	oxidált	0,4-0,6
	oxidmentes	0,2-0,3

A mai korszerű készülékek rendelkeznek automatikus emisszió érték állítással és lehetőség van kézi kalibrálásra is. A nem megfelelően figyelembe vett emisszió akár nagyságrendi hibát is okozhat. A helyes és pontos hőmérséklet meghatározásához nagy rutin és mérési tapasztalat szükséges az ipar minden területén.

3. VILLAMOS ENERGIAIPARI RENDSZER

3.1 Távvezetékek alkotórészei

1. Nyomvonal
2. Oszlopalapozás
3. Oszlop-acélszerkezet
4. Áramvezető/fázisvezető
5. Védővezető
6. Szigetelés
7. Szigetelőlánc- és vezetékszerelvények

Az itt felsoroltak nagy részén kialakulhatnak korróziós elváltozások e tanulmány a távvezetékek legfontosabb elemével az áramvezető kérdéskörével foglalkozik. Magyarországon szigetetlen légvezetékek esetén a következő paraméterekkel rendelkező áramvezető sodronyokat alkalmazzák leggyakrabban:

1. anyagát tekintve: alumínium-acél sodrony (ACSR-Aluminium Conductor Steel Reinforced)
2. méretezett keresztmetszete: 120kV-on 250(Al)/40(Fe) mm² továbbá 220, 400, 750 kV-on 500/65 mm²
3. extrém teljesítmény esetén 680/85 mm²

Az ACSR távvezeték egy alumínium borítású közepén acél erősítésű kábel, mely igen nagy kapacitással és szakítószilárdsággal rendelkezik. A külső alumínium szálak nagy tisztaságú (99.5%) alapanyagból készülnek, jó a vezetőképességük. Rendszerbe állításuk fő okai még a fajlagosan kis súlyuk és viszonylag alacsony költségű előállításuk. A közepén elhelyezkedő horganyzott acél-szál biztosítja a megfelelő tartást a mechanikai igénybevételekhez. A fent említett tulajdonságok miatt, az ACSR kábel névleges átmérője kisebbre választható, mint a korábban használt acél vagy tiszta alumíniumból készült kábelek (1. ábra).



1. ábra ACSR kábel

3.2 Galvanikus korrózió kialakulása

A bevezetőben említett korróziós elváltozás különösen érintheti az eddig tárgyalt áramvezető típust. Két különböző elektropotenciállal rendelkező fém kontaktszomszomságot esetén elektron vándorlás indul meg az egyik fém negatívabb volta miatt. Helyi elemek képződnek, az egyik fémből anód a másikkól katód válik. Jellemezhetjük a fémek feszültségi sorban elfoglalt helye alapján. Minél negatívabb egy fém annál kevésbé nemes és annál valószínűbb az oldatba menetele. Igaz ez az elektropotenciál sor másik végére is: minél elektropozitívabb egy fém annál ellenállóbb a korrózióval szemben. Általában helytálló az a megállapítás is, miszerint minél nagyobb a két fém között a potenciálkülönbség, annál nagyobb a korróziósebesség. A következő táblázat (2.) a fontosabb standardpotenciál értékeket tartalmazza, amiből láthatjuk az alumínium (-1,67 e° V) és a horgany (-0,76 e° V) értékeit. A különbség jelentősnek mondható.

2. táblázat

Fémion	Standardpotenciál (e°) (V)
Li+ Li	-3,02
Al ³⁺ Al	-1,67
Mn ²⁺ Mn	-1,18
Zn ²⁺ Zn	-0,762
Fe ²⁺ Fe	-0,441
Cd ²⁺ Cd	-0,40
Ni ²⁺ Ni	-0,23
2H+ H ₂	±0,000
Cu ²⁺ Cu	0.34
Ag+ Ag	0.8
Au ³⁺ Au	1.42

Galvánelemek (helyi elem) elektromotoros erejét a két elektród potenciáljának különbsége adja meg [3]:

$$E^{\circ}_{\text{cella}} = E^{\circ}_{\text{katód}} - E^{\circ}_{\text{anód}} \quad (3.)$$

Mégsem támaszkodhatunk azonban egyértelműen a standardpotenciál sorozatra. A gyakorlatban számos tényező befolyásolja a valós korrózióállóságot. Az alumínium például sokkal negatívabb a vasnál, mégis a vas

fog oldódni kettőjük érintkezési kapcsolatában. Ennek oka az alumíniumon található oxidréteg, mely védi a felületet. Ohm törvénye szerint definiálhatjuk a kontakt folyamatok jellegét [4.]

$$\frac{\text{Kontaktkorrózió}}{\text{idő}} = \frac{M}{96500n} \cdot \frac{\epsilon_K - \epsilon_A}{R_k + R_b} \quad (4.)$$

ahol:

M: korrodálódó fém molekulásúlya (g)

n: az oldódó fémion vegyértéke

ϵ_K : a nemesebb fém normálpotenciálja (V)

ϵ_A : a korrodálódó fém normálpotenciálja (V)

R_k : külső ellenállás (Ω)

R_b : belső ellenállás (Ω)

A külső ellenállást két fém érintkezésekor elhanyagolhatjuk. Ebben az esetben a kontaktkorrózió sebességét a két fémfelület között található elektrolitfilm réteg vezetőképessége határozza meg. Ez a vezetőképesség függ az oldat koncentrációjától, a benne lévő ionok töltésétől és a hőmérséklettől egyaránt. Esetünkben a cinkbevonattal ellátott vasmag felülete érintkezik az alumíniummal. A mérési tapasztalatok szerint sokáig ellenálló kapcsolat ez. Viszont a hőmérsékleti ingadozások, a levegő relatív páratartalma (elektrolitfilm) előbb-utóbb erodálja a két fém közötti kapcsolatot (2.ábra), annak ellenére, hogy a szorosan csévelt alumínium vezető sodrony réteg egyfajta védelmet biztosít.



2. ábra Acélszál

4. NAGYFESZÜLTSGŰ SZABADVEZETÉK VIZSGÁLATA

4.1 Vizsgálati módszerek

A szabadvezetékek vizsgálati lehetőségei meglehetősen korlátozottak. Előny az egyéb szigetelt és nem a szabadban futó vezetékkel szemben, hogy messziről is szemügyre vehetők. A nagyobb szerkezeti és mechanikai rendellenességeket azonnal detektálni tudjuk. Hátrányt jelent azonban a nagy magasság és a nagyfeszültség leküzdése az alaposabb, pontosabb vizsgálat elvégzésére. A folyamatos működés szükségessége nem teszi lehetővé a leállításokat nagy veszteségek nélkül. A hálózat működtetői tartanak gyalogos és járművel történő bejárásokat, ami rendkívül lassú módszer. Létezik helikopteres, thermovíziós felülvizsgálat, jóval nagyobb hatékonysággal. Hátránya a vezeték kellő módon való megközelíthetlensége a korona kisülések miatt. A mai műszaki környezet azonban már lehetővé teszi a pilóta nélküli repülő egységek használatát. A technikai fejlődés és a sorozatgyártás nagyságrendje miatt ezek az eszközök egyre olcsóbbá válnak. Repülési paramétereik megengedik termokamera felszerelését és működtetését, akár nagy felbontású hőtérképek készítésére is. Használatuk a fent

említett eljárásokhoz képest nagyságrendekkel olcsóbb, pontosabb és gyorsabb elemzést, hibafeltárást tesz lehetővé. Hátrányaik közé sorolható a nem minden időjárási körülmények közötti használhatóságuk. Erős szélben egyáltalán nem, csapadékos viszonyok között mérsékeltén használható.

4.2 UAV bemutatása, mérési eljárás specifikumai

Vizsgálatunk célja egy 220 kV névleges vonali feszültségű távvezeték próba ellenőrzése egy erre a célra kialakított drónnal (3. ábra).



3. ábra Drón

A feladat elvégzésére a következő paraméterekkel rendelkező pilóta nélküli repülőgépet találtuk alkalmasnak (3. táblázat).

3. táblázat Alkalmas UAV paraméterek

Vespadrones Xyris 7
Teljesítmény: 6 x 700W , össz: 4.200 W
Lebegéshez szükséges: 1100 W
Propeller méret: 17"
Vízszintes max sebesség: 14 m/s (50 km/h)
Max emelkedési sebesség: 6 m/s
Környezet: -5°C to +40°C
Szél max 8 m/s
Csapadék mentes környezet
Max magasság: 2.500m
Akku: Li-Po, 6-Cella, 16.000 mAh
Jelenlegi felszálló tömeg: 7 300g
Akku: 1900g
Max felszálló tömeg: 9 500g
Max szállított tömeg: 3 000g
Radio – Range: 1000m
FPV – Range: 500m

3. táblázat

Az UAV rendelkezik egy – a piacon kapható - közepes teljesítményű hőkamerával, ami az ellenőrzési feladatokat ellátja, viszont precízebb mérést nem tesz lehetővé.

Tapasztalataink szerint a drón hőkamerájának a villamos berendezések vizsgálatára az alábbi főbb paraméterekkel kell rendelkeznie:

1. hullámhossz tartomány: min. 8-12 μm
2. képpontok száma: 160x120
3. geometriai felbontás: min. 2 mrad
4. kalibrálási tartomány: -20 – 250 °C
5. hőmérséklet felbontás: min. 120 mK – 80 mK
6. technológia: bolométer

A gyakorlatban kivitelezett mérés nehézségét az adja, hogy a szabadban lévő légvezeték hűtése biztosított, nagy szélsőségek esetén pedig tovább hűl, ami pontatlan mérési eredménnyel járhat. Figyelembe kell venni az adott évszak hőmérsékleti viszonyait, a napsugárzás intenzitását, a levegő páratartamát a megfelelő értékek kialakításához. Érdekes még próbamérést végezni meghatározott fizikai jellemzőkkel bíró zárt helyiségben a megfelelő emissziós érték beállításához (alumínium: 0,1 – 0,45).

4.3 Nagyfeszültségű távvezeték ellenőrzése

Vizsgálatunkat egy Csepel szigeti 220 kV névleges feszültségű szakaszon kezdtük meg. A környezet körülményei ideálisak voltak a pilóta nélküli repülőgép reptetéséhez.

- Hőmérséklet: -3, 0 °C
- Légnyomás: 1027 hPa
- Szélsébség: 1-2 m/s
- Napsugárzás: 1800 Wh/m²
- Időjárás: enyhén borult
- Relatív páratartalom: 65%

A próbarepülés kétszer fél órán keresztül zajlott. Az UAV sebessége átlagosan 10 km/h volt és maximális eltávolodása 500 m. A vizsgált nagyfeszültségű ACSR kábel a mérési adatok szerint átlagosan tizenhét méter magasságban helyezkedett el.

Felmerül a kérdés biztonságtechnikai szempontból, miszerint a drón mennyire közelítheti meg a nagyfeszültségű szabad vezetékét. A fényképen jól kivehető (3. ábra) a nem egységes homogén felépítés. Ez potenciális átütési feszültséget generálhat a légvezeték sodronya és a repülő jármű kiálló részei között (kamera, antennák, propeller a tartó karokkal). Erre irányuló konkrét mérések vagy szimuláció elvégzése nélkül nagy óvatossággal zajlott a vezeték vizsgálata, hiszen a levegő átütési szilárdsága körülbelül 19 kV/cm. Tehát a 220 kV-os vezeték től minimum 11 cm, de biztonsági tényezővel számolva inkább 20-22 cm-es távolságot kellett tartani, tekintettel a környezeti tényezőkre (nagy páratartalom).

Az elektromágneses hullám intenzitása a távolság függvényében $I = 1/R^2$ összefüggés szerint alakul, tehát kétszer távolabb kerülve a vezeték től negyed, háromszoros távolságot tartva már kilenced akkora intenzitás mérhető, ami lehetővé teszi a korona kisülés nélküli mérést. Indokolt továbbá a megfelelő mérési távolság tartása az energia szállító rendszer védelmi üzemmódba kapcsolása miatt is, mert ez áram kimaradást okoz.

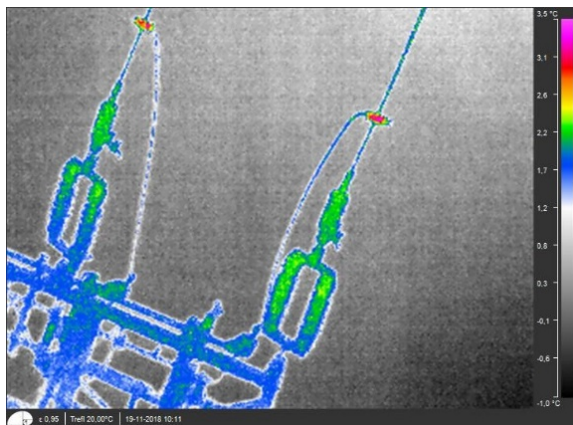
4.4 Az ellenőrző mérés kiértékelése

A próbarepülés során a következő felvételek készültek:



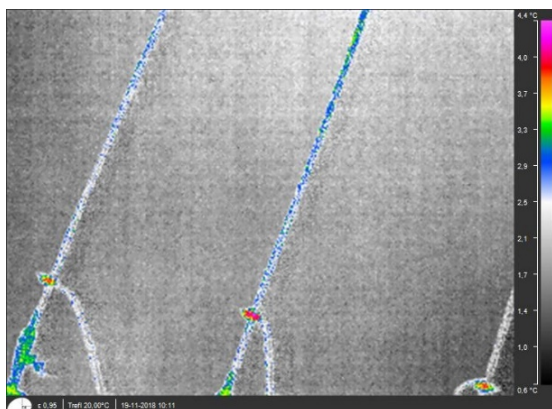
4. ábra Nagyfeszültségű transzformátor ház felvétele

Nagyfeszültségű transzformátor ház (4. ábra). A képen jól látszik az üzemi hőmérséklet eloszlása. Maximális hőmérséklet a burkolat felületén 7,7 °C. Rendellenes működés nem tapasztalható.



5. ábra Rögzítő szem a sodronyon és a nagyfeszültségű ACSR kábel

Rögzítő szem a sodronyon és a nagyfeszültségű ACSR kábel (5. ábra). A többi szerkezeti elemhez képest kis mértékben emelkedett a szem hőmérséklete (5,4 °C). A mérés nehézségét a különböző alkatrészek különböző emissziós tényezője adja. Sodrony hőmérséklete a nyári, üzemi 50-60°C helyett a hideg és az enyhe szélebségnek köszönhetően 1,7 °C. Rendellenes működés nem tapasztalható.



6. ábra Rögzítőszem és a kábel közelebbi képen

Rögzítőszem és a kábel közelebbi képen (6. ábra). A távolság csökkentésével pontosabb adatokat kaphatunk. Az alkalmazott kamera típusával kézi fókuszálás nem lehetséges, a felbontás is a minimum diagnosztikát teszi lehetővé.

Összegzés

A kísérleti próbaüzem eredményeként kimondható, hogy a hipotézis, miszerint magas feszültségű légvezetékek vizsgálata kontaktkorróziós szempontból kivitelezhető hőkamerás UAV-al, bizonyítást nyert. Létezik a piacon megfelelő műszaki paraméterekkel rendelkező pilóta nélküli repülőgép, amely alkalmas erre a feladatra. Ami fejlesztési feladatot igényel, az a nagyobb képfelbontással és szolgáltatási körrel rendelkező termokamera, a pontosabb detektálás érdekében.

A tesztüzem alatt következtetéseket vonhattunk le a sodrony és a szerelvények korróziós és mechanikai állapotáról. Az új vizsgálati módszer alkalmas a hiba, elváltozás korai felismerésére. Nagyságrendekkel olcsóbb és gyorsabb az eddig megismert módszerekhez képest.

Lehetőség nyílik a műszaki állapot file-ban történő rögzítésére, és ennek a későbbi időpontban való összehasonlítására. A gyártók (UAV), ha felismerik a piacon rejlő lehetőségeket, talán feladat orientáltan fejlesztek majd az energetikai rendszerek vizsgálatára specializálódott drónokat, légvezeték vizsgálatára alkalmas termokamerával. Fontos szakmai munkát igényel ennek a mérési eljárásnak a jövőben, munkavédelmi és biztonságtechnikai kutatása, mert kezünkbe kaphatunk egy gyors, olcsó, hatékony és biztonságos vizsgálati módszert.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] F. Haraszti: The bases of corrosion's investigation EME kiadó, Kolozsvár, 2016, 185-188.
- [2] F. Haraszti: Corrosion investigation of steel samples EME kiadó, Kolozsvár, 2016, 189-192.
- [3] T. Kovács-C.; B. Völgyi; I. Sikari-Nágl; Galvanic corrosion behaviour testing in case of aluminum and steel couple EME kiadó, Kolozsvár, 2013, 201-204.
- [4] M. Wellons: The Stefan-Boltzmann Law, Physics Department, The College of Wooster, Wooster, Ohio 44691, USA (Dated: May 9, 2007)
- [5] C. Kittel, H. Kroemer, Thermal Physics (W. H. Freeman and Company, 1980) ASTM Standard Practice in A 262 for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion in Austenitic Stainless Steels
- [6] www.termokamera.hu
- [7] WWW.globalfocus.hu