



# **Ózongenerátorok hatásfokának javítása a térjellemzők eloszlásának módosításával**

**PhD értekezés tézisei**  
(Tézisfüzet)

**Jenei István**  
BME Villamos Energetika Tanszék  
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések csoport

Konzulensek:

Dr. Berta István egyetemi tanár  
Dr. Kiss Endre főiskolai tanár

Budapest, 2006.



## **Bevezetés**

Az ózon iránti növekvő igény megköveteli a mind nagyobb kapacitású és hatásfokú ózongenerátorok fejlesztését. Az ózont széles körben alkalmazzák sterilizálásra, és olyan oxidáló anyagok kiváltására, amelyek közvetve vagy közvetlenül nagymértékben terhelik a környezetet. Jelentős előnye a könnyű előállíthatósága mellett az, hogy használata során nem keletkezik szennyező melléktermék.

Sterilizálásra és fertőtlenítésre sokáig különböző vegyszereket alkalmaztak, majd az ember erősödő környezettudatos tevékenysége következményeként az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások szükségessé tették más fertőtlenítő technológiák alkalmazását. A tudományos eredmények alapján az ózon alkalmazásával számos, a problémakörhöz tartozó környezetvédelmi kérdésre lehet választ adni.

Az ózongenerátorok fejlesztése három különböző területre terjed ki: a tápegységekre, az elektród elrendezésekre, valamint az elektródok és a dielektrikum anyagaira.

A tápegységek szolgáltatják a nagyfeszültséget a kisüléseket létrehozó elektródok számára. A legegyszerűbb tápellátás a hálózati feszültség feltranszformálásával nyerhető. A félvezetők megjelenésével az impulzus üzemi tápforrások terjedtek el, így a berendezések mérete és súlya jelentősen csökkent.

Az elektród-elrendezések közül klasszikusnak tekinthető a két sík elektróddal kialakított elrendezés, amelyek közül az egyiket szigetelő réteg von be. A másik gyakori elektród elrendezési forma esetében közvetlenül a szigetelőréteg felületére helyezik az elektródokat, mégpedig az egyik oldalra a gerjesztő elektródot, a másik oldalra pedig a kisülési elektródot. Az első elrendezés ún. térfogati, míg a második elrendezés felületi kisüléseket hoz létre. Közös jellemzője az említett kisüléseknek a pamatos (streamer) jelleg – a kisülés folyamán apró ioncsatornák jönnek létre.

A felhasznált anyagok szempontjából az elektródok esetében, valamint a dielektrikum esetében is elsőrendű követelmény az időtállóság. Az elektródok anyagainak további fontos jellemzője az anyag elektron emittáló képessége, valamint a jó megmunkálhatóság. A dielektrikumnak fontos tulajdonsága a villamos szilárdság és a relatív dielektromos állandó, amely nagymértékben befolyásolja a kisülésekben létrejövő pamatok méretét.

## **Kutatási cél**

A kutatás arra irányult, hogy az eddigieknél nagyobb térfogati és energetikai hatásfokú ózongenerátor épüljön, ugyanis jelenleg a legjobb ózongenerátorok is csak 20 %-os energetikai hatásfokkal működnek. Az ózontermelő-képesség javítására két lehetőség is kínálkozik. Egyrészt az ózongenerátorba bocsátott oxigénnek csak egy része alakul át ózonná, másrészt az ózontermelő folyamatban a létrejövő ózon egy jelentős része felbomlik. Ezek változtatása érdekében olyan megoldásokat kerestem, amelyek az oxigénből nagyobb arányban készítenek ózont ill. a keletkezett ózont kevésbé hagyják felbomlani úgy, hogy az energiafelhasználás ill. fajlagos térfogat nem növekszik.

A fejlesztéseim alapvető irányvonalát az aktív kisülési tér megnövelése adta. A felületi és a térbeli kisülések során pamatok keletkeznek. A számításaim, valamint a mérési eredményeim szerint az ózontermelő-képesség jelentős mértékben függ a pamatok hosszától, ami összefüggésben van az aktív kisülési tér méretével. A kisülések kiterjedése szempontjából nemcsak a maximális térerősség a fontos jellemző, de legalább ilyen fontosságú azon helyek nagysága, ahol a kisülési térben a kisülések létrejöttéhez elégséges térerősség van.

## **Felhasznált eszközök**

A pamatok megnyúlását, gyakoriságuk növelését a térjellemzők eloszlásának módosításával kívántam elérni. A térjellemzők módosítását az elektródok és a dielektrikum különböző geometriai elrendezésével, és egy újszerű tápfeszültség ellátási móddal értem el. Az új kialakításokat numerikus szimuláció segítségével modelleztem, majd a kapott eredményeket elemzésnek vetettem alá. Az első esetben a felületi kisülést eredményező elektródelrendezés kisülési elektródjának a dielektrikum felületétől kis távolságra (<1 mm) való helyezését vizsgáltam. A második esetben, a felületi kisülést eredményező elrendezésnél - egy speciális tápfeszültség ellátással – minden második kisülési elektródot a gerjesztő elektródhoz képest ellenfázisú feszültség impulzussal tápláltam meg.

Az elektród-elrendezések ózontermelő képességét kísérletekkel is megvizsgáltam. A kísérleti összeállítás magában foglal egy általam készített, több feszültség kimenetű, impulzus üzemű tápegységet; egy szintén általam készített, kis koncentráció mérésére alkalmas ózonmérő készüléket, egy reakciócellát, valamint egy jeltárolásra is alkalmas digitális oszcilloszkópot mérőfejekkel. A kísérleti összeállítást úgy alakítottam ki, hogy lehetővé tegye az olyan fizikai paraméterek változtatását, mint páratartalom, nyomás, áramlási intenzitás, gázok keverési aránya.

A szimuláció és az elemzés kapott eredményeiből kiderült, hogy az elektródtávolság alkalmazása a kisülési elektród és a dielektrikum között az egyszerű felületi kisüléshez képest jelentős különbséget mutat. Hasonlóan jelentős különbségeket mutat a modellezés eredményében az új tápfeszültség ellátás is. A kísérlet eredményei azt mutatják, hogy az elemzés eredményeként adódó mutatószámok (kisülési potenciál összeg, átlagpotenciál) és a rendszer ózontermelő-képessége között szignifikáns kapcsolat van. A kísérlet - a számítási eredmények ellenőrzésén túl - az új eljárásokra vonatkozó fajlagos energiahasznosítás megállapítását is szolgálta.

## Új tudományos eredmények

### 1. Tézis

**Kidolgoztam egy elemzési módszert, amely a Donor-Cell módszerrel kiegészített véges-elem módszeren alapuló numerikus eljárás segítségével meghatározza, és a hozzá kapcsolódó elemzéssel kiértékeli a térjellemzők eloszlását. Ezen eljárással kapcsolatot mutattam ki az elektród elrendezéseknek a potenciál- és térerősség eloszlása, valamint az ózontermelő képessége között. [1]**

A kisülési jelenségek modellezésének már terjedelmes irodalma van, amelynek egy jelentős részét a porleválasztókban lejátszódó folyamatok leírása képezi. A modellek alkotása során mind több paraméter hatását igyekeznek figyelembe venni egyre több tudományterület eredményeinek felhasználásával.

A porleválasztókban és az ózongenerátorokban hasonló ionozási és gázbontási folyamatok mennek végbe az elektrosztatikus tér által gerjesztett részleges kisülések következtében. Az elektrosztatikus tér leírására a Laplace-Poisson egyenlet szolgál. Ha az elektrosztatikus tér számításánál a tértöltést is figyelembe vesszük, akkor az egyszerűsített kontinuitási ( $div J = 0$ ) egyenletet kell megoldanunk. Véges-elem módszer segítségével a tértöltés figyelembevételével és anélkül is meghatároztam a különböző elektród-elrendezések potenciál- és térerősség-eloszlását. A tértöltés figyelembevételénél a tértöltés eloszlását a Donor-Cell módszer segítségével állapítottam meg. Ebben az esetben a véges-elem és a Donor-Cell módszer egy iterációs eljáráshoz vezet. A potenciál- és a térerősség-eloszlást elemzésnek vettem alá, amelyből két mutatószámot képeztem. A tértöltés elhanyagolásával végzett számításoknál a térerősséggel súlyozva összegeztem azon tartományok területét ahol a kisülés megindításához elegendő térerősség van. A tértöltés figyelembevételével végzett számításoknál a kisülési térben lévő töltés arányban van a termelt ózon mennyiségével, a tértöltés pedig összefüggésben van a potenciál eloszlással. A mutatószámok képzéséhez a térszámítás tartományát felosztottam azonos nagyságú területegységekre, a területegységekhez hozzárendeltem a potenciál és a térerősség értékeket. A tértöltés nélküli számításoknál kisülési térerősség

összeget számoltam a villamos szilárdságnál nagyobb diszkretizált térerősségek összeadásával, a tértöltéssel végzett számításoknál pedig átlagpotenciált számoltam.

A számítások kiértékeléséből egyértelműen kiderült, hogy mind az elektródtávolság alkalmazásánál, mind az új tápfeszültség ellátásnál a nagyobb térerősségű helyek aránya, ill. az átlagpotenciál megnő az egyszerű felületi kisüléshez képest. Az elrendezések összehasonlításánál a mérési eredmények azt bizonyítják, hogy abban az esetben, ha a mutatószámok nagyobbak, az elrendezés ózontermelő-képessége is nagyobb lesz.

## 2. Tézis

**A számítási és mérési eredményeim alapján kimutattam, hogy a felületi kisüléshez hagyományosan alkalmazott elektród elrendezéssel szemben a kisülési elektródnak a dielektrikum felületétől kis távolságra való helyezése ózontermelő képesség növekedést eredményez. Ez mind a térkihasználás javulását, mind az energetikai hatások növekedését eredményezi. [4,5,6,7]**

A hagyományosnak tekinthető felületi kisülést eredményező elektród elrendezés esetében a kisülési elektród közvetlenül a dielektrikum felületére van helyezve. Ebben az esetben a kisülés a kisülési elektród melletti felületen jön létre.

Ha a kisülési elektródot kismértékben eltávolítjuk a dielektrikum felületétől, akkor a dielektrikum és a kisülési elektródok közötti térben is létrejöhet intenzív kisülés, mert ebben az esetben a térerősség maximális értéke csökken, azonban a kisüléshez még elegendő térerősségű helyek aránya megnő. Ennek köszönhetően a létrejövő pamatok kiterjedtebbek lehetnek, ami nagyobb kisülési intenzitást jelent.

Az eljárás hatékonyságát kísérletekkel bizonyítottam. A mérések a kisülési elektród távolságának változtatásán túlmenően kiterjedtek más paraméterek hatásának vizsgálatára is, úgymint: a nyomás, a páratartalom, az  $O_2/N_2$  keverék aránya. A kísérletek során mértem a rendszer energetikai hatásfokát is.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a kisülési elektród kis távolságra helyezése a dielektrikum felületétől javítja mind az ózontermelő képességet, mind az ózontermelő folyamat energetikai hatásfokát. Azonos tápfeszültség ellátás mellett az optimális elektród távolságot alkalmazva az ózontermelés mesterséges levegő tápgáz esetén 10 %-kal magasabb, míg oxigén esetén a növekedés több, mint 25 %, s a fajlagos energiafelhasználás követte az ózontermelő-képesség arányait.

A mérések során kiderült, hogy minden feszültség szinthez van egy optimális elektródtávolság, amelynél az ózontermelő-képesség a legnagyobb. A rendszer ózontermelő képessége nagyobb mértékben csökkent a nyomás és a páratartalom növelésével, mint felületi kisülés esetében. Az elrendezés a tápgáz összetételének változtatására a szakirodalomban leírtaknak megfelelően

viselkedett. Az oxigén arányának csökkenésével csökkent a termelt ózon mennyisége is.

### 3. Tézis

**A vizsgálataim alapján kiderült, hogy a segédelektrodokat alkalmazó tápfeszültség ellátás esetén az ózongenerátorok ózontermelő-képessége növekszik. Megmutattam, hogy a speciális elektrodokat és tápegységet magába foglaló rendszer olyan szuperponált teret hoz létre, amely egy kiterjedtebb kisülési képet ad. [2,3,4]**

Az ózontermelő berendezések fejlesztése során az elektród elrendezések és a tápegységek szinte teljesen külön utat járhattak be. A legújabb kutatások eredményeként azonban a létrejövő szuperponált kisülési formák létrehozására alkalmas eszköz már csak megfelelően szinkronizált impulzus üzemű tápegység, vagy egyszerűbb esetben szinkronizált hálózati frekvenciájú nagyfeszültségű tápegység felhasználásával lehetséges. A szuperponált kisülések létrehozásához az elektrodokat és a dielektrikumot úgy alakítottam ki, hogy az elektrodokra kapcsolt feszültség által létrehozott térerősség a kisülésben létrejövő pamatok megnyúlását eredményezze. Ez úgy is megfogalmazható, hogy nemcsak a kisülés kialakulásának a feltételét kell minél nagyobb biztonsággal előállítani, vagyis a térerősség csúcscsértékét növelni, hanem a kialakulás feltételeinek sokszorozódását kell megteremteni.

A fenti szuperponált kisülési formát sikeresen megvalósítottam az általam épített összetett tápegységgel, amellyel a több kisülési elektródot magában foglaló felületi kisülés elrendezését tápláltam meg. A tápegységnek két egymástól független nagyfeszültségű kimenete van, és a kimeneti impulzusok fázisszöge egymáshoz képest állítható. A tápfeszültség ellátás ellenfázisú, vagy az ellenfázistól kis mértékű eltérést adó impulzusokkal történt. Az elrendezés akkor adott stabilis kisülési képet, ha a gerjesztő elektródra az egyik nagyfeszültségű kimenetet kapcsoltam, és minden második kisülési elektródra a másik nagyfeszültségű kimenetet kötöttem. A maradék kisülési elektród földpotenciálon volt. A kisülési elektródot - amelyre a feszültség impulzusokat kapcsoltam - a továbbiakban segédelektrodnak nevezem, a tápfeszültség ellátást pedig segédelektrodos tápfeszültség ellátásnak.

A vizsgálataim azt igazolták, hogy az ózontermelő-képesség mesterséges levegő esetén több, mint másfélszeresére, oxigén tápgáz esetén több, mint ötszörösére növekszik. A fajlagos energiafelhasználás mind a két esetben 40 %-kal csökkent. A rendszer az ellenfázistól való eltérésre +10 és -10 fokig gyakorlatilag nem mutatott változást az ózontermelésben, azonban a további negatív és pozitív irányú fázisváltoztatás komoly ózontermelő-képesség csökkenéssel járt mindkét tápgáz alkalmazása esetén. A modellezés és a mérési eredmények szerint is a segédelektrodok kisülési elektródtól való távolságának van egy optimuma, ahol az ózontermelő-képesség maximális. A tápgáz oxigén koncentrációjának hatása ebben az esetben is megegyezett a szakirodalomban

található karakterisztikával. A gázkeverékben lévő oxigén koncentrációjának csökkenésével csökkent a termelt ózon mennyisége.

### **Az eredmények hasznosítása**

Az új elektród-elrendezések alkalmazásával javítható mind a térfogati, mind az energetikai hatások. A berendezések kísérleti jellegűek, de rövidesen sor kerül egy ipari hasznosításra is alkalmas prototípus elkészítésére. Amennyiben a prototípus is eredményesen működik és az előállításához felhasznált anyagok is gazdaságos gyártást tesznek lehetővé, további mérnöki munkát követően a berendezést gyártásra lehet bocsátani.

### **Az értekezésben közvetlenül használt közlemények**

[1] I. Jenei, P. Kis, E. Kiss, Relationship of the statistical analysis of the field distribution and the ozone production capacity of the electrode arrangements, *Przegląd Elektrotechniczny*, Varsó, vol.6 2005, pp 33-36

[2] I. Jenei, E. Kiss, Development of the ozone generation by the variation of auxiliary electrodes, *Journal of Electrostatics, Electrostatics2005*, Helsinki, Finland, 13-17<sup>th</sup> June, pp. 985-991

[3] I. Jenei, E. Kiss, I. Berta, The improvement of the ozone productivity of the surface discharge using auxiliary electrodes, *SFE2004*, 3-4<sup>th</sup> September 2004, Poitiers, France, pp. 268-271

[4] Jenei I., Kiss E., Berta I., Ózongenerátorok hatásfokának javítása speciális kisülési formák felhasználásával, *Műszaki Kémiai Napok '03*, Veszprém, 2003. április 8-10. pp. 176-181

[5] I. Jenei, E. Kiss, I. Berta, Investigation of the ozone productivity of a new discharge type, *Proceedings of the Institute of Physics Conference, Electrostatics2003*, 23-27<sup>th</sup> March 2003 Edinburgh, Scotland, pp. 71-75

[6] I. Jenei, E. Kiss, I. Berta, Improvement of the efficiency of ozone generators, *Postgraduate Conference on Electric Power System*, August 12-13. 2002. Budapes, Hungary, pp. 17-19

[7] Jenei István, Kiss Endre, Hajós Gábor, Horváth Miklós Ózongenerátorok hatásfokának javítása  
*A Dunaújvárosi Főiskola Közleményei XXIII*, 2002, 179-187