

Az elektromos áram hatásainak vizsgálata
félvezetőkben és gázokban
Kiss Endre

Az elektromos áram hatásainak vizsgálata
félvezetőkben és gázokban

Kiss Endre

Tézisek

Szakmai önéletrajz
Dr. Kiss Endre
főiskolai docens

Egyetemi tanulmányaimat Szegeden végeztem fizikus szakon 1968. és 1974. között. Egyetemi doktori fokozatot 1975.-ben szereztem ugyanezen az egyetemen. Dolgozatom témája amorf félvezetők előállítás és vizsgálata volt. 1974. augusztusa és 1975. augusztus 1. között a Szakszervezetek Munkavédelmi Tudományos Kutató Intézetében dolgoztam tudományos segédmunkatársként. 1975. augusztus 1. óta dolgozom a Miskolci Egyetem Dunaújvárosi Főiskolai Karán, jelenleg mint főiskolai docens, a Természettudományi Intézet igazgatóhelyettese és a kar kutatási főigazgató helyettese.

A Fizika, a Hő és áramlástan és a Környezetvédelem című tárgyak előadója vagyok, az utóbbi két tárgyat én vezetem be a kar oktatási profiljába. Az 1975. óta beiratkozott főiskolai hallgatók több, mint 80%-át tanítottam. Gyakorlatvezetőként tanítottam analízist és valószínűségszámítást is.

Rendszeresen konzultálok TDK keretében hallgatókat, a dolgozatok közül egy országos első és két második hely a legjobb eredmény, számos különdíj és harmadik hely mellett.

Tudományos kutatási területem az egyetemen megkezdett amorf félvezetős kutatások irányából eltért az amorf fémek felé, majd elektrosztatikai mérőkészülékek fejlesztésével foglalkoztam. 1983. óta ózongenerátorok fejlesztésével, az ózon elektromos kisülésekben való keletkezésével, valamint elektrosztatikus porleválasztókkal és azok gázleválasztásban való alkalmazásával foglalkozom nemzetközi (Japán, USA, Lengyelország, Kanada, s a jövőben Ausztrália) együttműködésben is. A fontosabb publikációim jegyzékét mellékelem.

1982. és 1984., valamint 1985. és 1987. között kétszer másfél évet töltöttem el Japánban a Tókió Egyetem Villamosmérnöki Karának Maszuda Laboratóriumában a japán kormány ösztöndíjasaként. 1990. és 1991. között egy évet töltöttem a University of Georgia Agrármérnöki Karának Elektrosztatikai Laboratóriumában vendégkutatóként.

1990. óta négy alkalommal töltöttem el 1-2 hónapot a Cukubai Nyersanyagforrás és Környezetvédelmi Tudományos Kutató Intézetben vendégkutatóként. Ezen intézettel 1994. óta közös kutatási témánk van a japán kormány finanszírozásában gáznemű szennyezőanyagok füst és kipufogógázokból elektrosztatikus porleválasztókkal való leválasztására. Ugyancsak a fenti intézettel közösen beadott kutatási témánk szintén elfogadást nyert a Magyar-Japán Környezetvédelmi Vegyesbizottság által, azonban az anyagi finanszírozás kérdése jelenleg megoldatlan.

Egy japán-amerikai-kanadai-magyar konzorcium tagjaként alacsony hőmérsékletű plazma környezetvédelmi alkalmazásának területén elnyertem egy kutatási támogatást a japán kormánytól, ami 1998.-ban jár le.

Középfokú nyelvvizsgám van angol és japán nyelvből. Jelenleg németül tanulok.

Oktatott tárgyait közül a Fizikát és a Hő és áramlástant angolul is tanítom, valamint az érdeklődő hallgatóknak japán nyelvtanfolyamot tartok rendszeresen.

1987.-ben Japánban a kutatási eredményeim elismeréseként Nogucsi díjat kaptam.

Dunaújváros, 1996. július 2..


Dr. Kiss Endre



A TÉZISEK ÖSSZEFOGLALÁSA

I. A "Vanádiumfoszfát üvegek előállítása; elektromos vezetőképességük és kapcsolási tulajdonságaik vizsgálata" című egyetemi doktori értekezés tézisei:

1. Vanádium foszfát üvegeket állítottunk elő vanádiumpentoxid és foszforsav kiinduló anyagokból elektromos fűtésű kemencében a hevítési hőmérséklet és az idő változtatásával. 1073, 1273 és 1473 K hőmérsékleten és 10-200 min olvasztási idővel. A 75 mol% V_2O_5 - 25 mol % P_2O_5 alapösszetételű üvegek esetében a V^{4+} ion koncentrációja 0,09 és 0,29 közé esett, s V^{3+} ionokat nem tudtunk meghatározni. Az üvegek $V_2O_4 - V_2O_5 - P_2O_5$ rendszereknek tekinthetők. A koncentráció telítődést mutat, és az összetétel mintegy 65 perc után már nem változik. Így az üvegek előállítására ez a legcélszerűbb olvasztási idő. A koncentráció a

$$c(t) = c_0(T)(1 - \exp(-D\sqrt{t} \exp(-\frac{A}{T})))$$

alakban függ az olvasztási időtől, ahol $A = 3,5K$, és $D = 10,44 \text{ min}^{\frac{1}{2}}$.

2. Vanádiumpentoxid és foszforsav kiinduló anyagokból elektromos fűtésű kemencében a hevítési hőmérséklet 1050 és 1650 K közötti változtatásával 65 min olvasztási idővel és 54,5, 75, és 100 mol% vanádiumpentoxidot (a maradék foszforpentoxid volt) tartalmazó alapösszetételből elkészített vanádium foszfát üvegek V^{4+} ion koncentrációja alapvetően a

$$c(T) = E(P) \exp(-\frac{F}{T})$$

alakban függ a hőmérséklettől, ahol P a foszforpentoxid tartalom százalékban kifejezett értékének századrésze az alapösszetételben, $F=3,5 K$, és $E(P)$ formailag a koncentráció értéke végtelen nagy hőmérsékleten.

3. Az 1. és 2. pont szerinti üvegeknél a négyvegyértékű vanádium ionok koncentrációja a

$$c = G(T) \exp(JP)$$

függvény szerint függ a foszforpentoxid tartalomtól, ahol $J=4,03$, és $G(T)$ a $c=c(T)$ függvény értéke egy adott P értéknél.

4. Az 1. és 2. pont szerint előállított üvegeknél a négyvegyértékű vanádium ionok koncentrációja:

$$c = L \exp(-\frac{3,5}{T}) \exp(4,03P),$$

ahol $L = 1$, ha $T \leq 1473K$, és $L = 1,9 \exp(-\frac{0,93}{T})$, ha $T > 1473K$.

Ennek a formulának a segítségével a vanádiumfoszfát üvegek előállítása könnyen tervezhető.

5. A vanádiumfoszfát üvegek a DTA vizsgálatok szerint teljesen amorfoknak tekinthetők.

6. Az 1. és 2. pont szerint előállított üvegek elektromos vezetőképességének logaritmus a reciprokon abszolút hőmérséklet lineáris függvénye. A V^{4+} ionok koncentrációjának növelésével

először nő, majd egy maximum után minimumot mutat, majd ismét emelkedni kezd. Az aktivációs energia fordított viselkedést mutat.

7. A vanádiumfoszfát üvegekből 0,1-0,3 mm vastag, réz és Kanthal A1 elektródákkal ellátott rétegek mind küszöb, mind memória kapcsolási tulajdonságokat mutatnak 270 és 400 K között. A küszöb feszültség 120 és 200 V közötti érték, amely függ a minta geometriájától (a vastagság növelésével nő), s az üveg c értékétől (ennek növelésével csökken). A bekapcsolt állapot differenciális ellenállása negatív. A ki és a bekapcsolt állapot ellenállásának aránya 100 és 1000 között van. A kapcsolási feszültség logaritmusa a reciprok abszolút hőmérséklet növekedésével lineárisan nő mind a küszöb, mind a memória kapcsolás esetében.

8. A bekapcsolt memória (on) állapot ellenállásának logaritmusa 310 K alatt a reciprok hőmérséklet növekedésével nő. Ebben az állapotban az alapanyag aktivációs energiájának a felét mérhetjük. Az on állapot ellenállása a hőmérséklet további növelésével 35 és 65 °C között hirtelen lecsökken, ami véleményünk szerint a V_2O_4 nek a PO_4 tetraéderek által perturbált Mott (fém-félvezető) átmenete, ami a kristályos módosulatban 68 °C-nál van. A kapcsolás egy elektromos térrel stimulált Mott átmentnek tekinthető.

II. Az egyetemi doktori értekezés elkészítése után kapott, annak témájához kapcsolódó eredmények tézisei (3)

9. Vanádiumfoszfát üvegekből stabil kapcsolóelemek készíthetők 1 mm széles Kanthal A1 szalagok segítségével 0,05 és 0,5mm rétegvastagság esetében.

10. A memória kapcsolóként üzemelő rétegeket bekapcsolt állapotban lehűtve a hőmérséklet csökkenésével az ellenállás nő, s ha elegendően nagy értéket vesz fel ($R > 100\text{k}\Omega$) akkor újabb memória kapcsolás valósítható meg, majd további hőmérséklet csökkentéssel újabb bekapcsolt állapot idézhető elő. A megfigyelt bekapcsolt állapotok száma 3.

11. A 10. pontban leírt bekapcsolt állapotok ellenállás-hőmérséklet, kapcsolási feszültség-hőmérséklet diagramjai törést mutatnak a kristályos V_2O_3 fém-félvezető hőmérséklete környékén.

12. A 2. és 3. bekapcsolt állapotban levő minta az első (szobahőmérsékleti) kikapcsolt állapotba ugrik vissza egy 250 és 150 K fölött. Ezen termikus törlési hőmérséklet alatt a kapcsolási energiák igen kicsik, a kapcsolási sebességek a ns nagyságrendbe esnek.

III. Az ózon előállításával és alkalmazásával kapcsolatos tézisek

13. Felületi kisüléssel működő ózongenerátorokat állítottunk elő úgy, hogy egy ún. kisülési elektródát helyeztünk el egy nagy tisztaságú alumíniumoxid kerámia lemez felületén, és egy ún. indukciós elektróda lemezt égettünk a kerámiába 0.1 és 1mm elektróda távolságok mellett. A két elektródára szinuszos váltakozó feszültséget kapcsolunk 50Hz és 60 kHz közötti frekvenciával és 4 és 15 kV csúcstól csúcsig feszültséggel, aminek a következtében a kerámia felületén csendes elektromos kisülés jött létre. A felületi kisülésekkel működő ózongenerátorok ózontermelése az aktív elektródahossz lineáris függvénye, ha a hűtési viszonyok megfelelőek.

14. Az ózontermelés egy állandóan közel ideálisra állított hűtés esetében lineárisan függ a frekvenciától, adott hűtőtéljesítmény esetében nagyobb frekvenciáknál és feszültségeknél telítődésbe fordulhat.

15. Az ózontermelés $J = J (U - U_0)^{\frac{4}{3}}$ egyenlet szerint függ a gerjesztő feszültségtől.

16. Az ózon koncentrációja a tápgáz áramlási intenzitásának reciprokától lineárisan függ ideális hűtés esetében, valóságos esetben kis áramlási intenzitás esetében a hőmérséklet emelkedése miatt csökken, nagyon erős áramlás esetében pedig az áramlás mintegy elfújja a kisülést, s ennek következtében csökken az ózontermelés.

17. Az ózontermelés-áramlási intenzitás grafikon telítődést mutat egy bizonyos áramlási intenzitás felett.

18. Az ózontermelés-nyomás diagram általában véve egy harangalakú görbe, ami azonban bizonyos alkalmazási tartományokban exponenciálissal, vagy hatványfüggvénnyel helyettesíthető.

19. A felületi kisüléssel működő ózontermelők esetében az ózontermelés kevésbé függ a nedvességtartalomtól, mint a hagyományos berendezéseké, még 80% relatív páratartalom esetében is elérhető a 40%-os termelés. Az ózontermelés maximumot mutat -35°C harmpontú táplevegő esetében. A negatív félperiódus jelentősen több ózont eredményez, mint a pozitív.

20. Az ózontermelés logaritmusában lineárisan növekszik a reciprok abszolút hőmérséklet növekedésével.

21. Az ózontermelés megvalósítható haladó hullámú gerjesztéssel is.

22. Az ózontermelés növekvő oxigénkoncentrációval erősebben növekszik, mint a hagyományos ózontermelőknél.

23. A felületi kisüléssel működő ózongenerátorok ózontermelési hatásfoka kismértékben jobb, mint a hagyományos berendezéseké.

24. Az ózont gyors kisülések termelik, levegő és oxigén esetében periódusonként egy áramimpulzus.

25. Az ózontermelést fényjelenség kíséri, amit diagnosztikára lehet felhasználni.

26. Az ózon hatással van a mikroorganizmusokra, a hagyományosnál gyorsabb sterilizátor készíthető felhasználásával.

27. Az ózon segítségével elpusztíthatók a bogarak, amiknek a túlélési aránya exponenciálisan csökken az ózon dózisének növekedésével, bizonyos, a koncentráció növekedésével csökkenő túrési dózis után.

29. A bogarak túlélési aránya jelentősen nagyobb, ha az ózont oxigénből állítjuk elő, mint ha levegőből készül. Oxigénből előállított ózont és a hordozó oxigént nitrogénnel keverve úgy,

hogy a kombinált oxigén-nitrogén arány a levegőével egyezzen meg, a tiszta oxigénből nyert ózonnal kezeltnél nagyobb, levegőből előállított ózonnal kezeltnél kisebb mortalitás adódik. Az oxigén egyrészt segíti a bogarak túlélését, másrészt az ózon előállításakor a kisülési térben levő nitrogén az oxigénnel nitrogén oxidokat ad, amelyek jelentősen részt vesznek a pusztító hatásban. Ebből adódik a következtetés, hogy az ózon önmagában sokkal kevésbé veszélyes, mint nitrogén oxidokkal és nedvességgel együtt.

30. Ha az ózont nedves levegőből állítjuk elő, a kisülési térben keletkező savak, nitrogén oxidok igen jelentősen megnövelik az ózon mikroorganizmusokra és bogarakra való pusztító hatását. 100% mortalitás eléréséhez elegendő harmadannyi idő is, mint amit hagyományos technikákkal elérhetünk.

31. A *Bacillus Subtilis* spórák ózonnal elpusztítva folyadékot emittálnak a testükből.

32. Elegendően nagy koncentrációjú ózont olvasztott nyersvasba fűjva a carbon redukció sebessége növekszik, s ugyanakkor a kén és a foszfortartalom a carbon előtt eltűnik, vagy elhanyagolhatóan kis értékre csökken. Az effektus a mélyhúzható acélok előállításában játszhat szerepet.

IV. Füst és kipufogógázok gáznemű szennyeződéseinek lebontása gyors elektromos kisülések segítségével területen végzett kutatások eredményeinek tézisei

33. Nanoszekundomos impulzusokkal működő elektromos porleválasztót építettünk füst és kipufogógázok gáznemű szennyeződéseinek leválasztására. Az impulzusok felfutási meredeksége 20 és 1200 nsec között, frekvenciája 10 és 2000 Hz között volt változtatható 5kV és 50kV közötti impulzusfeszültség mellett. A berendezéssel 100% leválasztási hatásfok mellett sikerült az NO lebontása.

34. Az 33. pont alatti berendezéssel 100% leválasztási hatásfokot sikerült elérni kéndioxid, metilmerkaptán, ammónia, freon 11 és 12 gázok, valamint benzol és toluol gőzök, valamint higanyoxid esetében.

35. A leválasztási hatásfokot jelentősen befolyásolja az impulzus felfutási meredeksége, annak növekedésével növekszik, és annak hossza, aminek növekedésével csökken. A leválasztási hatásfok növekszik az impulzus ismétlődési frekvencia és az impulzusfeszültség növekedésével.

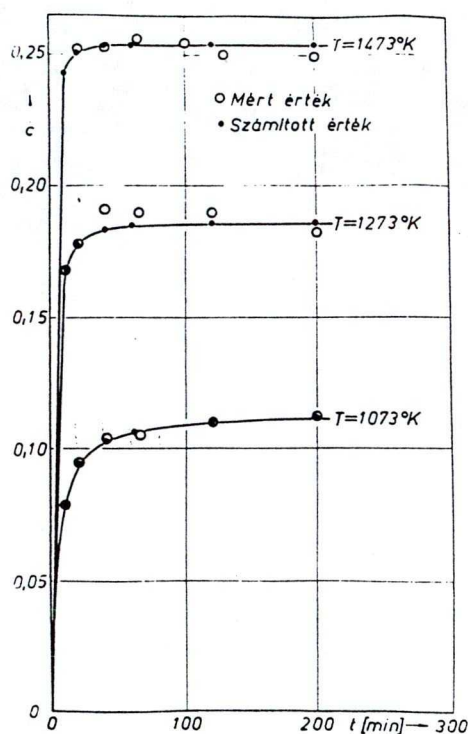
36. A 33. pont alatti berendezést úgy módosítottuk, hogy az impulzus előállító berendezést váltakozó árammal tápláltuk, aminek eredményeképpen a gázleválasztó berendezésben nem válik le a kisülési termékként keletkező aeroszol, azaz a működést sem befolyásolja. A keletkező és egyébként is meglevő aeroszokok leválasztására kétlépcsős leválasztást tartunk célszerűnek.

37. A nagyfeszültségű hálózatok esetleges (220 kV effektív érték felett meglehetősen sűrű) csendes elektromos (többnyire korona) kisüléseiben a levegőből nitrogén oxidok, a mintegy 340 ppm széndioxid jelenléte miatt szénmonoxid és különböző egyéb vegyületek alakulnak ki, amelyek ugyan kis koncentrációjuk, de a nagyfeszültségű hálózatok rendkívül nagy hossza miatt jelentősen hozzájárulhatnak a Föld környezetszennyezéséhez. Vegyi üzemek közelében dioxin kialakulását sem lehet kizárni.

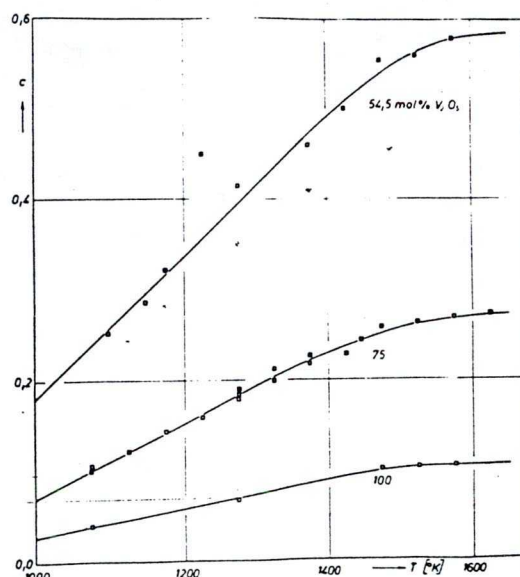
A TÉZISEK

I. A "Vanádiumfoszfát üvegek előállítása; elektromos vezetőképességük és kapcsolási tulajdonságaik vizsgálata" című egyetemi doktori értekezés tézisei:

1. Vanádium foszfát üvegeket állítottunk elő vanádiumpentoxid és foszforsav kiinduló anyagokból elektromos fűtésű kemencében az olvasztási hőmérséklet és az idő változtatásával. 1073, 1273 és 1473 K hőmérsékleten és 10-200 min olvasztási idővel. A 75 mol% V_2O_5 - 25 mol % P_2O_5 alapösszetételű üvegek esetében a V^{4+} ion koncentrációja 0,09 és 0,29 közé esett, s V^{3+} ionokat nem tudtunk meghatározni. Az üvegek $V_2O_4 - V_2O_5 - P_2O_5$ rendszereknek tekinthetők. A koncentráció telítődést mutat, és az összetétel mintegy 65 perc



1. ábra. A V^{4+} ionok koncentrációja az olvasztási idő függvényében



2. ábra. A V^{4+} ionok koncentrációja az olvasztási hőmérséklet függvényében

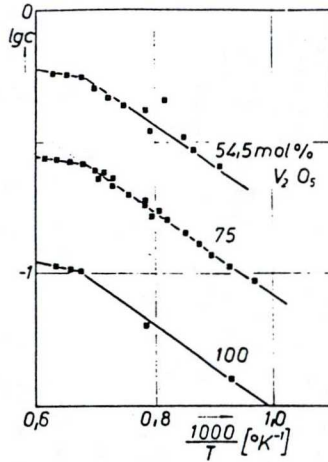
után már nem változik (1. ábra). Így az üvegek előállítására ez a legcélszerűbb olvasztási idő. A koncentráció a

$$c(t) = c_0(T)(1 - \exp(-D\sqrt{t} \exp(-\frac{A}{T})))$$

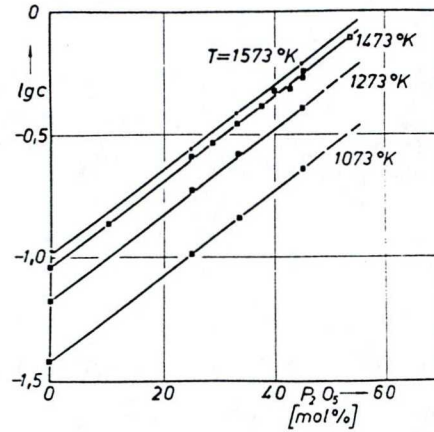
alakban függ az olvasztási időtől, ahol $A = 3,5K$, és $D = 10,44 \text{ min}^{\frac{1}{2}}$.

2. Vanádiumpentoxid és foszforsav kiinduló anyagokból elektromos fűtésű kemencében a hevítési hőmérséklet 1050 és 1650 K közötti változtatásával 65 min olvasztási idővel és 54,5, 75, és 100 mol% vanádiumpentoxidot (a maradék foszforpentoxid volt) tartalmazó alapösszetételből elkészített vanádium foszfát üvegek V^{4+} ion koncentrációja alapvetően a





3. ábra. A V^{4+} ionok koncentrációja
logaritmusának függése a reciprok
hőmérséklettől



4. ábra. A V^{4+} ionok koncentrációja
logaritmusának függése a
foszforpentoxid tartalomtól

$$c(T) = E(P) \exp\left(-\frac{F}{T}\right)$$

alakban függ a hőmérséklettől (2. és 3. ábra), ahol P a foszforpentoxid tartalom százalékban kifejezett értékének századrésze az alapösszetételben, $F=3,5$ K, és $E(P)$ formailag a koncentráció értéke végtelen nagy hőmérsékleten.

3. Az 1. és 2. pont szerinti üvegeknél a négyvegyértékű vanádium ionok koncentrációja a

$$c = G(T) \exp(JP)$$

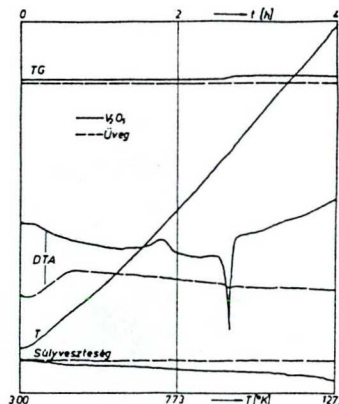
függvény szerint függ a foszforpentoxid tartalomtól (4. ábra), ahol $J=4,03$, és $G(T)$ a $c=c(T)$ függvény értéke egy adott P értéknél.

4. Az 1. és 2. pont szerint előállított üvegeknél a négyvegyértékű vanádium ionok koncentrációja:

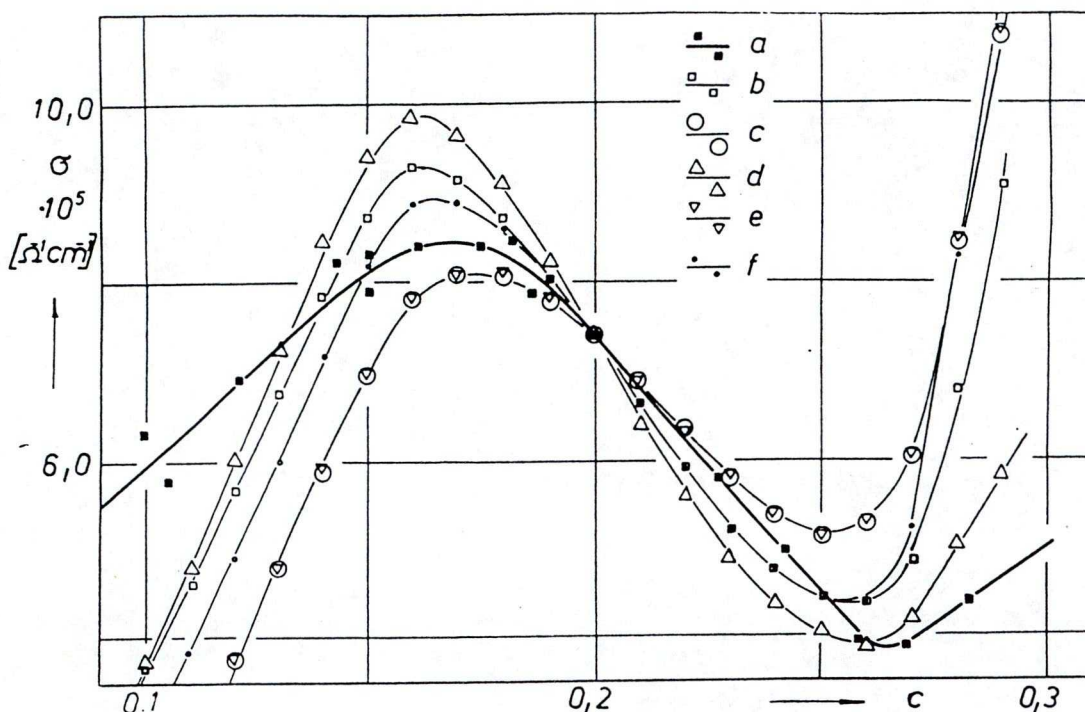
$$c = L \exp\left(-\frac{3,5}{T}\right) \exp(4,03P),$$

ahol $L = 1$, ha $T \leq 1473K$, és $L = 1,9 \exp\left(-\frac{0,93}{T}\right)$, ha $T > 1473K$.

Ennek a formulának a segítségével a vanádiumfoszfát üvegek előállítása könnyen tervezhető.



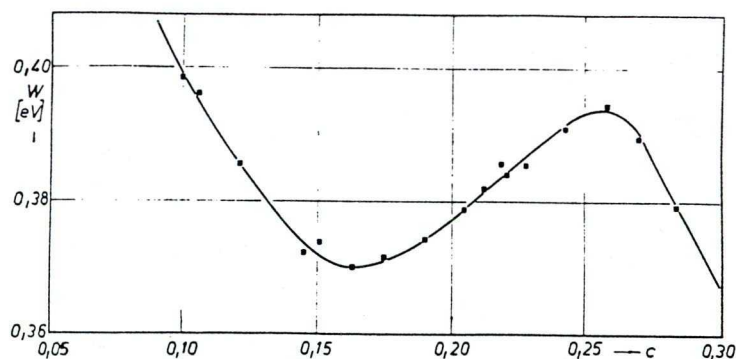
5. ábra. Vanádiumfoszfát üveg derivatogramja



6. ábra. Vanádiumfoszfát üvegek vezetőképessége a négyvegyértékű vanádium ionok koncentrációjának függvényében

5. A vanádiumfoszfát üvegek a DTA vizsgálatok szerint teljesen amorfoknak tekinthetők.

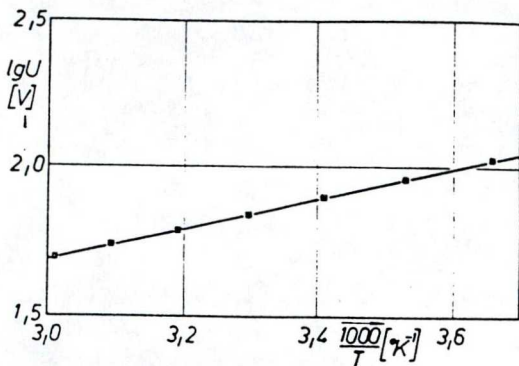
6. Az 1. és 2. pont szerint előállított üvegek elektromos vezetőképességének logaritmususa a reciprok abszolút hőmérséklet lineáris függvénye. A V^{4+} ionok koncentrációjának növelésével pedig először nő, majd egy maximum után minimumot mutat, majd ismét emelkedni kezd (6. ábra). Az aktivációs energia fordított viselkedést mutat (7. ábra).



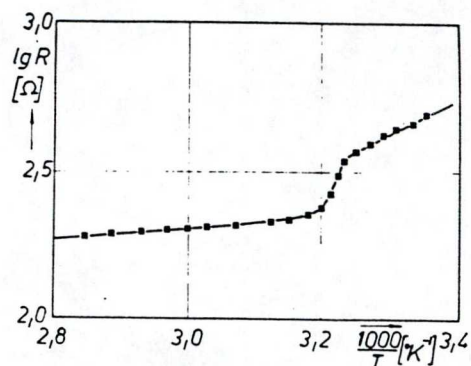
7. ábra. Az aktivációs energia változása a négyvegyértékű vanádium ionok koncentrációjának függvényében

7. A vanádiumfoszfát üvegekből 0,1-0,3 mm vastag, réz és Kanthal A1 elektródákkal ellátott rétegek mind küszöb, mind memória kapcsolási tulajdonságokat mutatnak 270 és 400 K között. A küszöb feszültség 120 és 200 V közötti érték, amely függ a minta geometriájától (a vastagság növelésével nő), s az üveg c értékétől (ennek növelésével csökken). A bekapcsolt állapot differenciális ellenállása negatív. A ki és a bekapcsolt állapot ellenállásának aránya 100

és 1000 között van. A kapcsolási feszültség logaritmusa a reciprok abszolút hőmérséklet növekedésével lineárisan nő (8. ábra) mind a küszöb, mind a memória kapcsolás esetében.



8. ábra. A kapcsolási feszültség a reciprok hőmérséklet függvényében

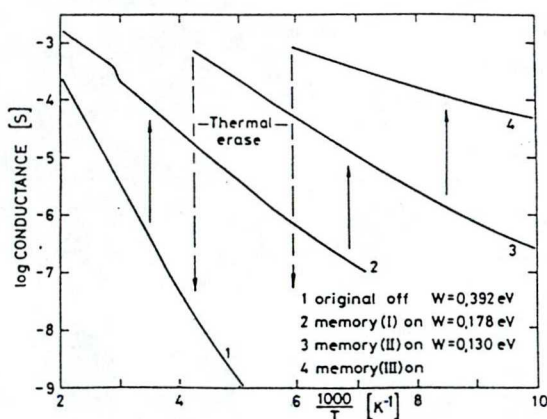


9. ábra. A bekapcsolt állapot ellenállásának változása a reciprok hőmérséklet függvényében

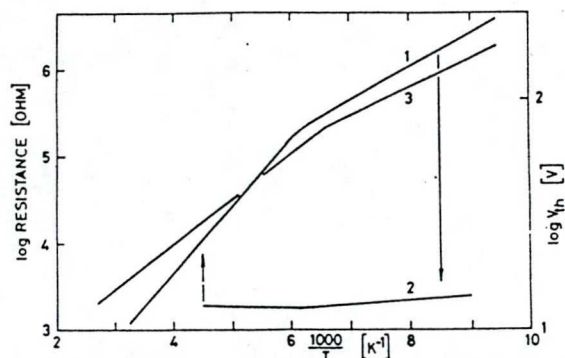
8. A bekapcsolt memória (on) állapot ellenállásának logaritmusa 310 K alatt a reciprok hőmérséklet növekedésével nő. Ebben az állapotban az alapanyag aktivációs energiájának a felét mérhetjük. Az on állapot ellenállása a hőmérséklet növelésével 35 és 65 °C között hirtelen lecsökken (9. ábra), ami véleményünk szerint a V_2O_4 nek a PO_4 tetraéderek által perturbált Mott (fém-félvezető) átmenete, ami a kristályos módosulatban 68 °C-nál van. A kapcsolás egy elektromos térrel stimulált Mott átmentnek tekinthető.

II. Az egyetemi doktori értekezés elkészítése után kapott, annak témájához kapcsolódó eredmények tézisei (3)

9. Vanádiumfoszfát üvegekből stabil kapcsolóelemek készíthetők 1 mm széles Kanthal Al szalagok segítségével 0,05 és 0,5mm rétegvastagság esetében.



10. ábra. A bekapcsolt állapotok vezetése a reciprok hőmérséklet függvényében



11. ábra. A bekapcsolt állapot ellenállásában és kapcsolási feszültségében megfigyelhető törés

10. A memória kapcsolóként üzemelő réteget bekapcsolt állapotban lehűtve a hőmérséklet csökkenésével az ellenállás nő, s ha elegendően nagy értéket vesz fel ($R > 100k\Omega$) akkor újabb

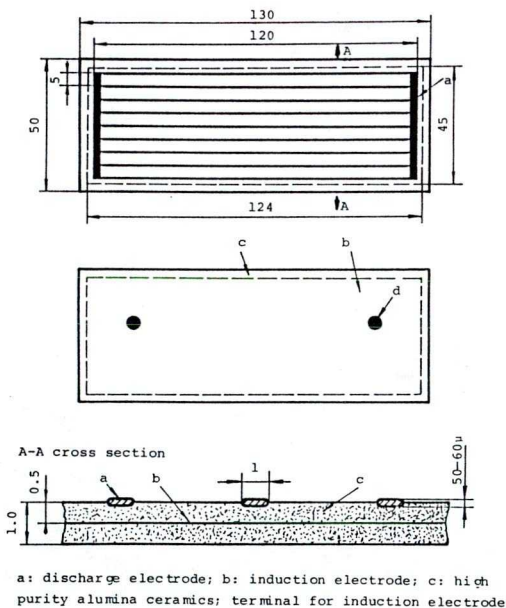
memória kapcsolás valósítható meg, majd további hőmérséklet csökkentéssel újabb bekapcsolt állapot idézhető elő (10. ábra). A megfigyelt bekapcsolt állapotok száma 3.

11. A 10. pontban leírt bekapcsolt állapotok ellenállás-hőmérséklet, kapcsolási feszültség-hőmérséklet diagramjai törést mutatnak a kristályos V_2O_3 fém-félvezető hőmérséklete környékén (11. ábra).

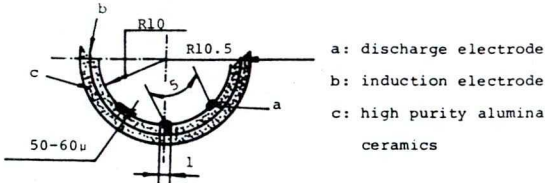
12. A 2. és 3. bekapcsolt állapotban levő minta az első (szobahőmérsékleti) kikapcsolt állapotba ugrik vissza egy 250 és 150 K fölött. Ezen termikus törlési hőmérséklet alatt a kapcsolási energiák igen kicsik, a kapcsolási sebességek a ns nagyságrendbe esnek.

III. Az ózon előállításával és alkalmazásával kapcsolatos tézisek

13. Felületi kisüléssel működő ózongenerátorokat állítottunk elő úgy, hogy egy ún. kisülési elektródát helyeztünk el egy nagy tisztaságú alumíniumoxid kerámia lemez felületén, és egy ún. indukciós elektróda lemezt égettünk a kerámiába 0.1 és 1mm elektróda távolságok mellett (12. ábra). A gyakorlati megvalósításhoz az eszközt hengerpalást formájában készítettük el (13. ábra). A két elektródára szinuszos váltakozó feszültséget kapcsoltunk 50Hz és 60 kHz közötti

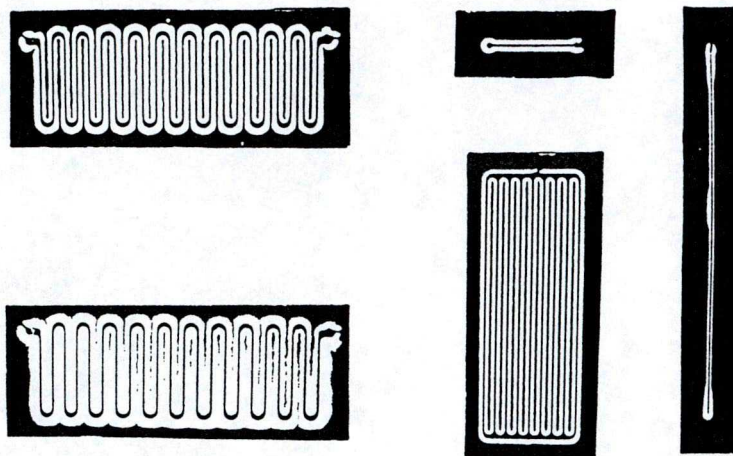


12. ábra. Felületi kisüléssel működő ózongenerátor kísérleti példányának sematikus rajza

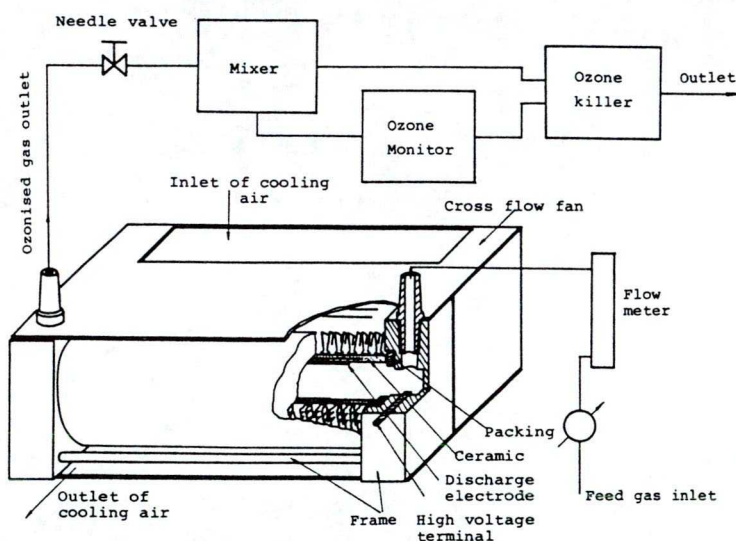


13. ábra. Felületi kisüléssel működő ózongenerátor gyakorlati megvalósításának rajza

frekvenciával, 4 és 15 kV csúcstól csúcsig feszültséggel, aminek a következtében a kerámia felületén csendes elektromos kisülés jött létre. Néhány kísérleti változat kisülési képét a 14. ábrán mutatjuk be. Az ózontermelést alapvetően a 15. ábrán bemutatott elrendezés alapján vizsgáltuk. A tápegységet magunk készítettük, az ózon koncentrációját UV abszorpciós ózon koncentráció mérővel mértük. Tápegzként oxigént, oxigén és nitrogén keverékét, valamint



14. ábra. Az ózontermelő felületi kisülés képe



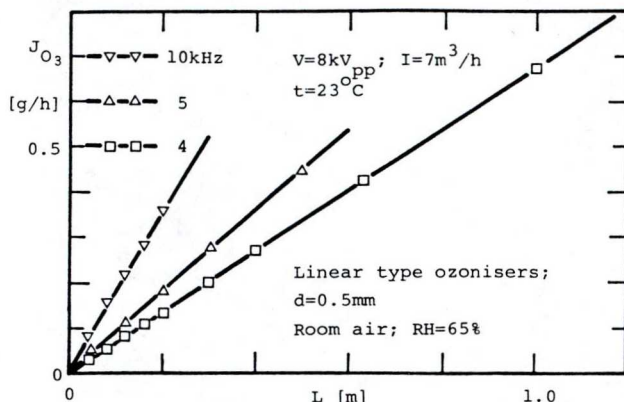
15. ábra. A kísérleti elrendezés

száritott és környezeti levegőt használtunk. A felületi kisülésekkel működő ózongenerátorok ózontermelése az aktív elektródahossz lineáris függvénye (16. ábra), ha a hűtési viszonyok megfelelőek (6, 7, 17, 19).

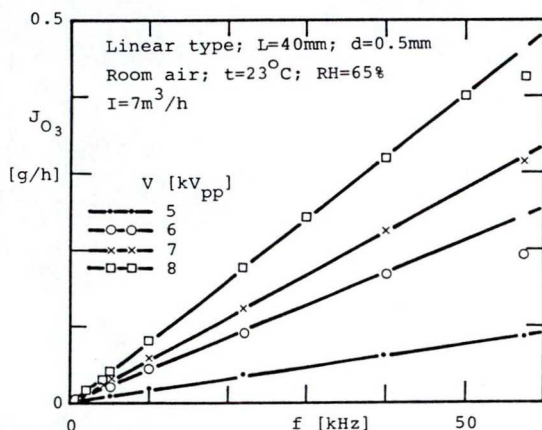
14. Az ózontermelés egy állandóan közel ideálisra állított hűtés esetében lineárisan függ a frekvenciától (17. ábra), állandó hűtőteljesítmény esetében nagyobb frekvenciáknál és feszültségeknél telítődésbe fordulhat (18. ábra) (6, 7, 17, 19).

15. Az ózontermelés $J = J (U - U_0)^{\frac{4}{3}}$ egyenlet szerint függ a gerjesztő feszültségtől (19. és 20. ábra) (7, 17, 19).

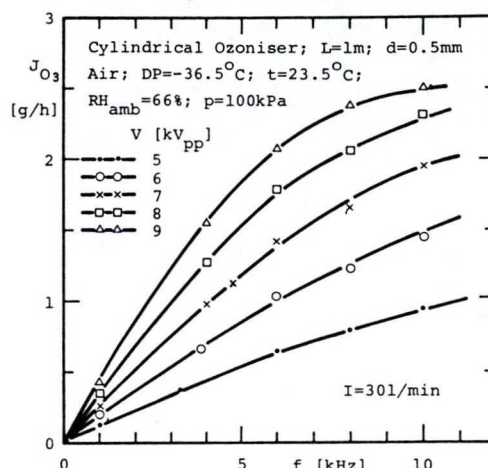
16. Az ózon koncentrációja a tápgáz áramlási intenzitásának reciprokától lineárisan függ ideális hűtés esetében, valóságos esetben kis áramlási intenzitás esetében a hőmérséklet emelkedése



16. ábra. Az ózontermelés, mint az aktív elektróda hossz függvénye



17. ábra. Az ózontermelés függése a frekvenciától közel ideális hűtés esetében



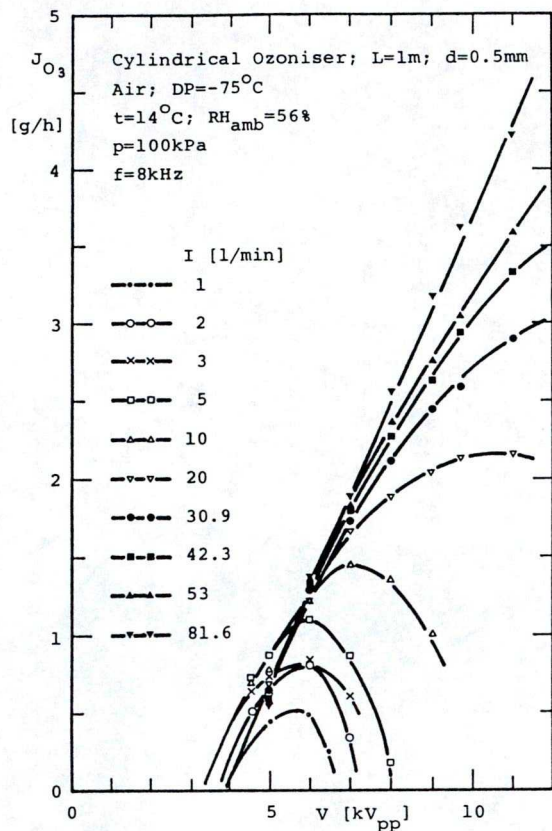
18. ábra. Az ózontermelés változása a frekvencia függvényében állandó hűtés esetében

miatt csökken, nagyon erős áramlás esetében pedig az áramlás mintegy elfújja a kisülést, s ennek következtében csökken az ózontermelés (21. és 22. ábra). (17, 19)

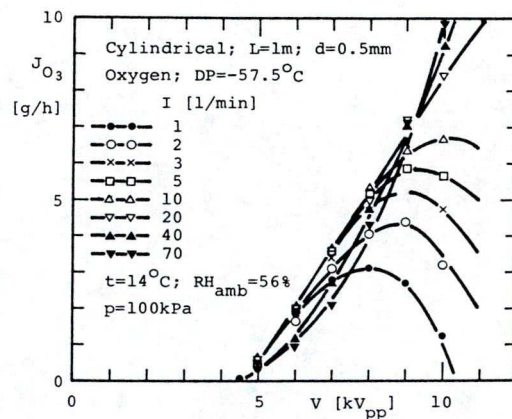
17. Az ózontermelés-áramlási intenzitás grafikon telítődést mutat egy bizonyos áramlási intenzitás felett minden vizsgált nyomás (100-500 kPa) és tápgáz esetében. Egy jellemző példát mutatunk be a 23. ábrán. Jól látszik az ózontermelés csökkenése alacsony áramlási intenzitásnál, s az előző pontban említett elfújás is, ha a tápfeszültség alacsony (17, 19).

18. Az ózontermelés-nyomás diagram általában véve egy harang alakú görbe (24. ábra), ami azonban bizonyos alkalmazási tartományokban exponenciálissal (25. ábra), vagy hatványfüggvénnyel helyettesíthető (26. ábra) (17,19).

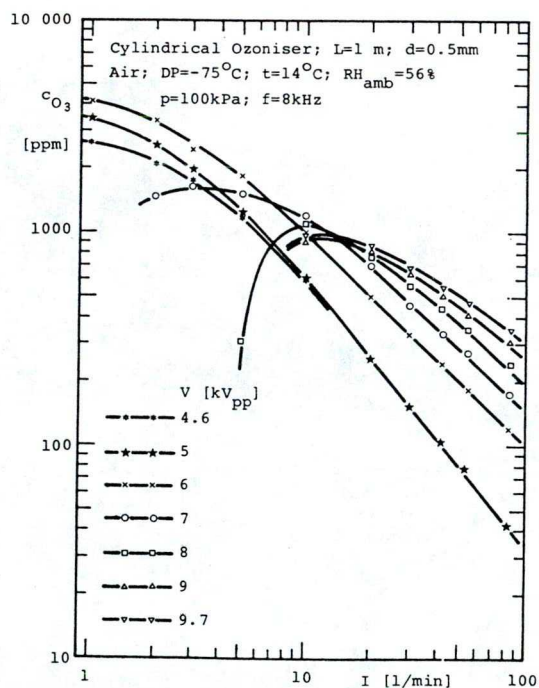
19. A felületi kisüléssel működő ózontermelők esetében az ózontermelés kevésbé függ a nedvességtartalomtól, mint a hagyományos berendezéseké, még 80% relatív páratartalom esetében is elérhető a 40%-os termelés. Az ózontermelés maximumot mutat -35°C



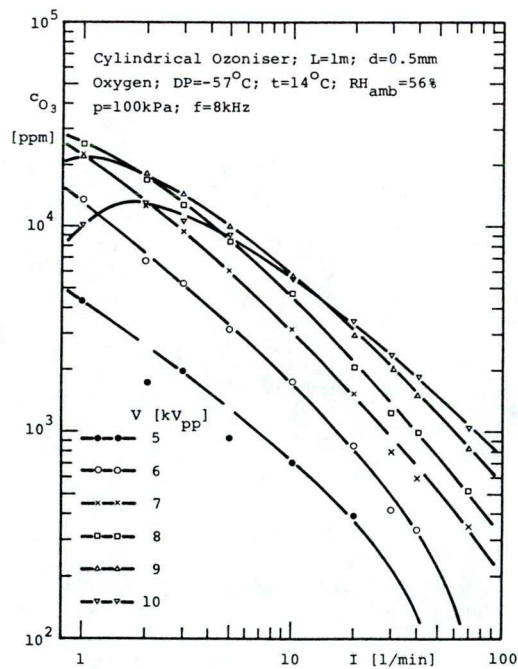
19. ábra. Az ózontermelés változása a tápfeszültség függvényében száraz levegő esetében



20. ábra. Az ózontermelés-tápfeszültség diagram oxigén esetében

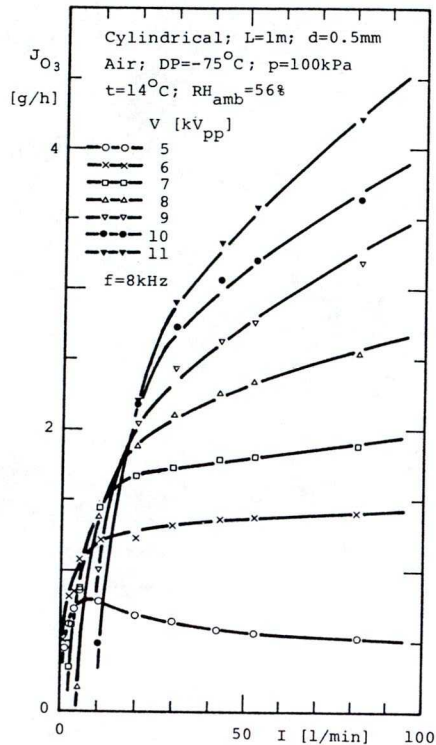


21. ábra. Az ózonkoncentráció változása az áramlási intenzitás függvényében száraz levegő esetében

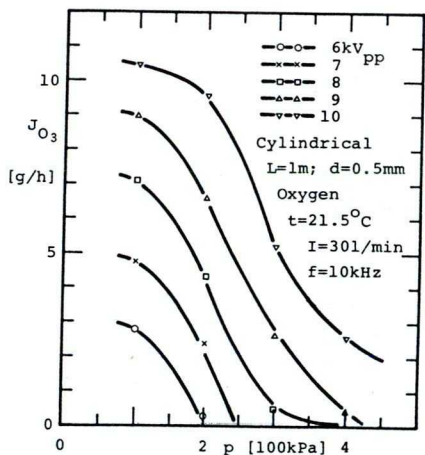


22. ábra. Az ózonkoncentráció változása az áramlási intenzitás függvényében száraz oxigén esetében

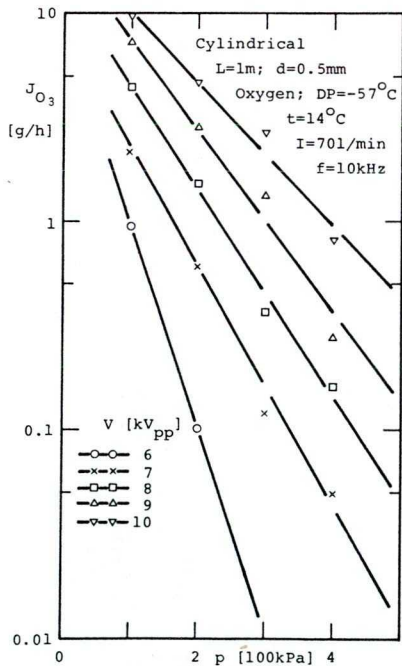
harmatpontú táplevegő esetében (27. és 28. ábra). A negatív félperiódus jelentősen több ózont eredményez, mint a pozitív (29. ábra) mind száraz, mind nedves levegőnél(7, 9, 10, 17, 19).



23. ábra. Az ózontermelés változása az áramlási intenzitás változásával

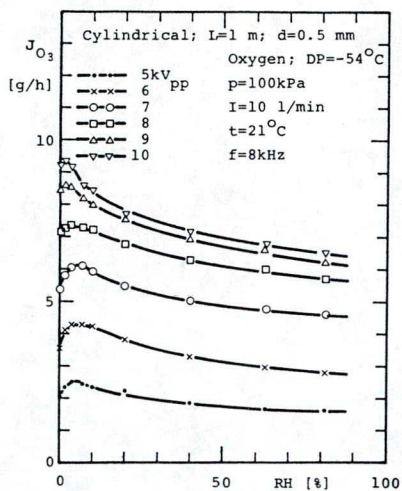


24. ábra. Az ózontermelés, mint a nyomás függvénye oxigén esetében közepes áramlási intenzitásnál

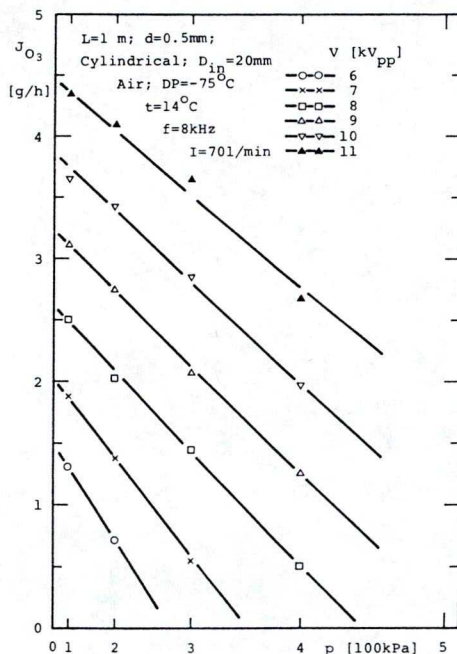


25. ábra. Az ózontermelés, mint a nyomás függvénye oxigén esetében nagy áramlási intenzitásnál

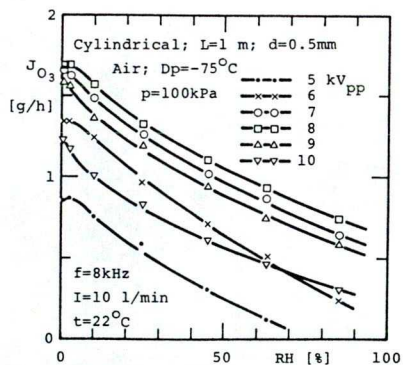




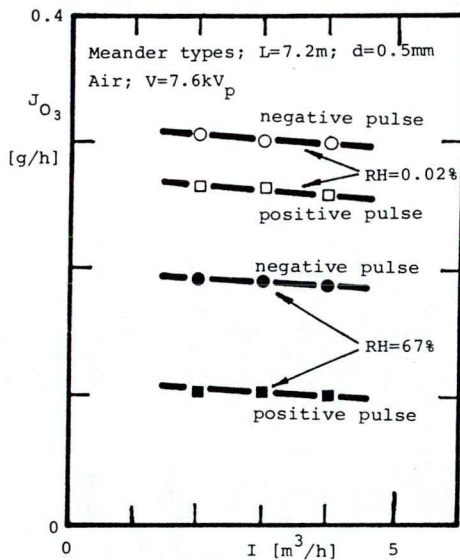
26. ábra. Az ózontermelés, mint a nyomás függvénye száraz levegő esetében nagy áramlási intenzitásnál



27. ábra. Az ózontermelés, mint az oxigén relatív nedvességek függvénye

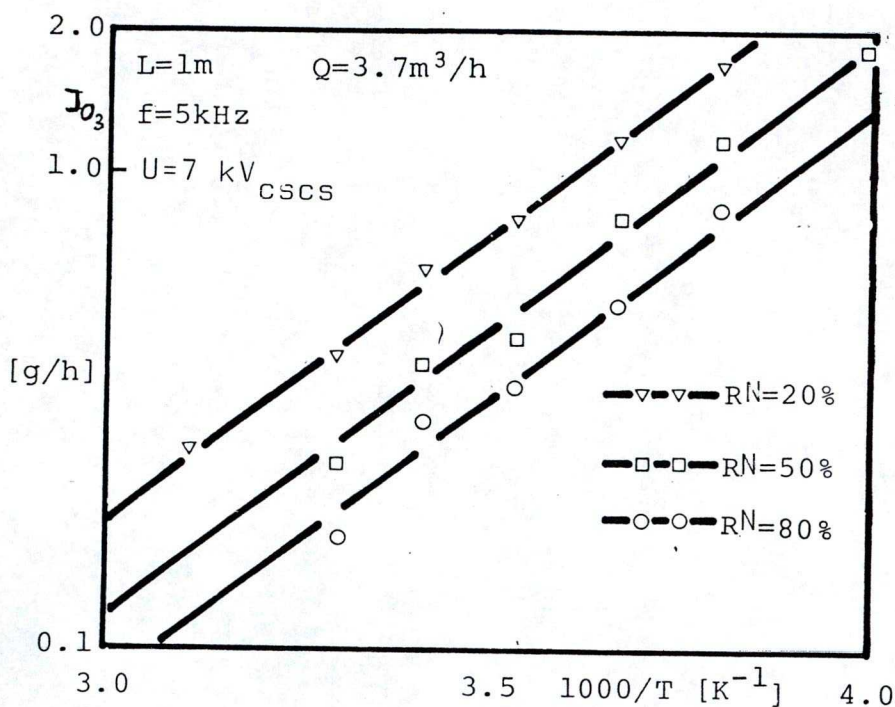


28. ábra. Az ózontermelés, mint a relatív nedvesség függvénye levegőnél



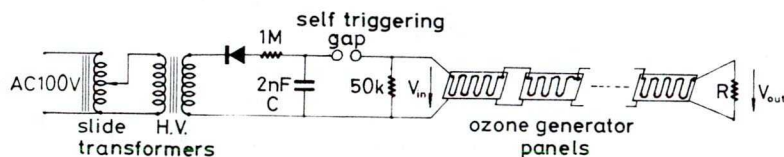
29. ábra. Az ózontermelés, mint az áramlási intenzitás függvénye impulzusüzemű gerjesztés esetében különböző pozitív és negatív polaritás esetében különböző nedvességtartalomnál

20. Az ózontermelés logaritmusában lineárisan növekszik a reciprok abszolút hőmérséklet növekedésével (30. ábra). Ez arra mutat, hogy az ózon megsemmisülése termikusan aktivált folyamat. Az ábra eredményeinek értelmezése azt eredményezte, hogy sikerült az elméleti maximális ózon előállítási energia hatásfok mintegy 80%-át elérnünk 170 K körüli hőmérsékleten, úgy, hogy az ózongenerátort is folyékony nitrogénnel hűtöttük (9)



30. ábra. Az ózontermelés, mint a reciprok hőmérséklet függvénye

21. Az ózontermelés megvalósítható haladó hullámú gerjesztéssel is. Ennek bizonyítására a 31. ábra szerinti kapcsolásban üzemeltettünk meander típusú elektródákkal ellátott felületi kisülés-



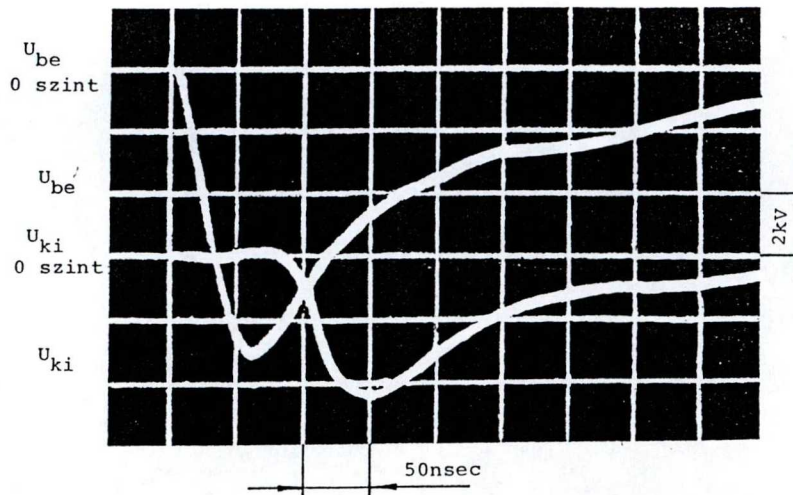
31. ábra. Haladóhullámú gerjesztéshez alkalmazott mérési elrendezés

sel működő ózongenerátor lapokat. A haladó hullám meglétének bizonyítéka a 32. ábrán látható bemeneti és kimeneti impulzus hullámforma. Az ózontermelés az impulzusfeszültség és az ismétlődési frekvencia lineáris függvénye (5).

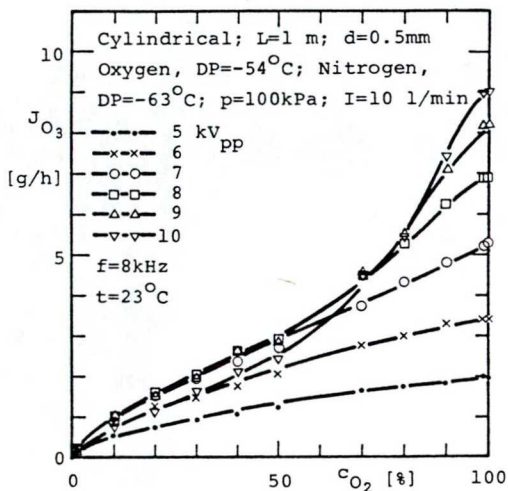
22. Az ózontermelés növekvő oxigénkoncentrációval erősebben növekszik, mint a hagyományos ózontermelőknél (33. ábra) (17, 19).

23. A felületi kisüléssel működő ózongenerátorok ózontermelési hatásfoka kismértékben jobb, mint a hagyományos berendezéseké (34. ábra) (5, 17, 19).

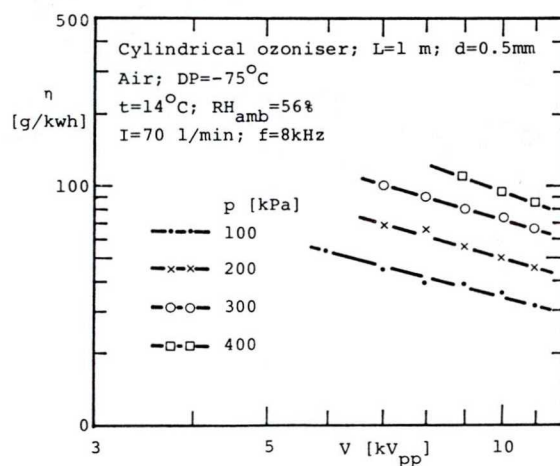
24. Az ózont gyors kisülések termelik, levegő és oxigén esetében periódusonként egy áramimpulzus. Az áramot és a fényjelenségeket a 35. ábra szerinti elrendezésben vizsgáltuk. Az egyes individuális kisülések vizsgálatához az elektróda egy kis részét kivágtuk és a többi részétől külön vizsgáltuk (36.a. ábra), vagy egy kis rész kivételével letakartuk az elektródát (36.b. ábra). Az egyes kisülések áramimpulzusát a 37. ábrán mutatjuk be, a 13. ábrán látható eszköz összáramát pedig a 38. ábrán láthatjuk.



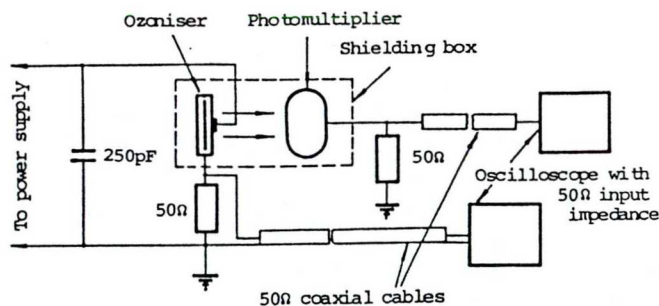
32. ábra. A haladóhullámú gerjesztés bemeneti és kimeneti hullámformája



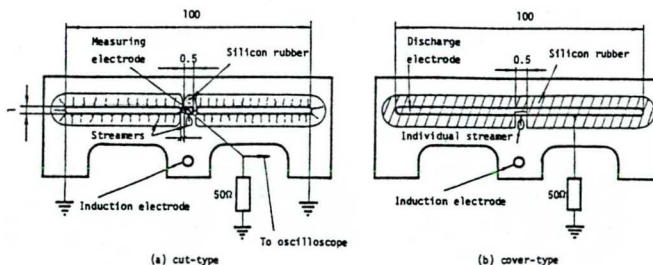
33. ábra. Az ózontermelés, mint az oxigén-koncentráció függvénye



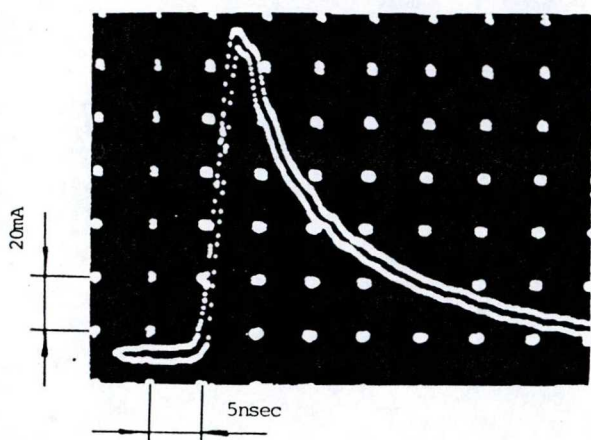
34. ábra. Az ózontermelés hatásfoka, mint a tápfeszültség függvénye



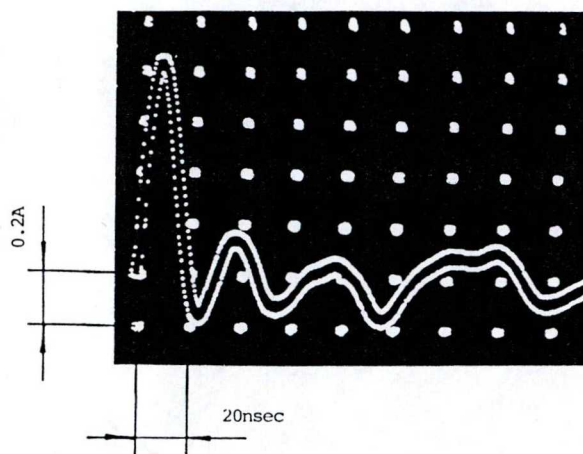
35. ábra. Az áram és a kisülés fényének mérésére szolgáló kapcsolás



36. ábra. Az individuális kisülések vizsgálatára használt eszköz



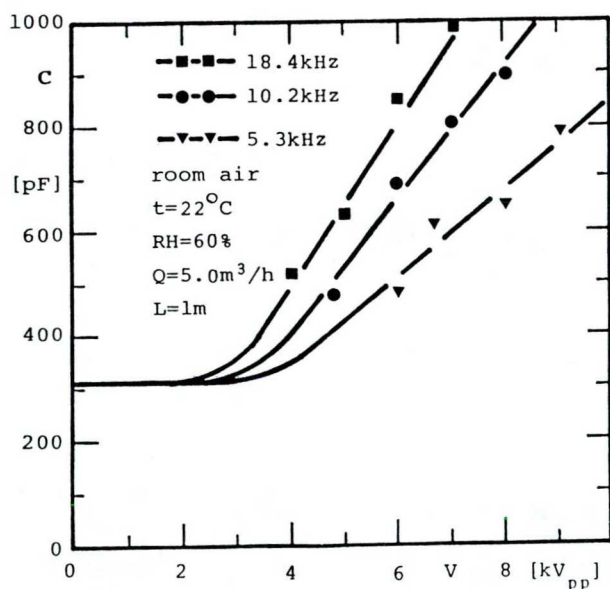
37. ábra. Az egyes kisülések áramimpulzusa



38. ábra. A 13. ábrán látható eszköz kisülési árama

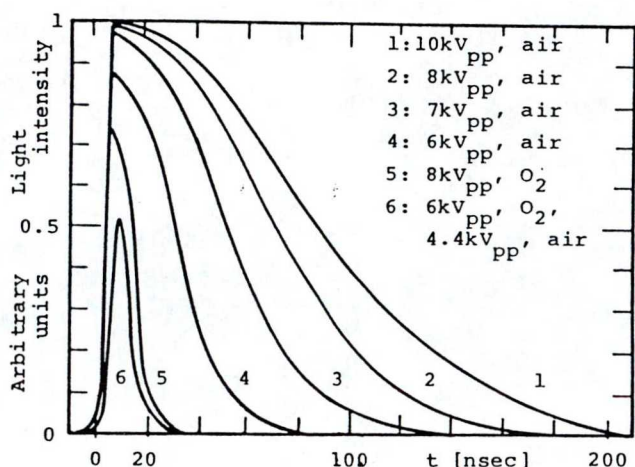
A kisülési áram jellemzői közül leginkább a csúcsáram értéke határozza meg az ózontermelés jellemzőit, a feszültségfüggése és az áramlási intenzitástól való függése általában hasonlít a megfelelő ózontermelési görbékre, feltéve, hogy biztosítjuk a megfelelő hűtést. Annak elmaradása esetében a függvénykapcsolat nem lesz egyértelmű, a pozitív és a negatív áramimpulzusok csúcsértékei szétválnak. Rendkívül tiszta tápgázok és eszközök alkalmazásával a kisülési áram megugrik akkor, amikor a gáz áramlási sebessége olyan nagy lesz, hogy az az idő, ami alatt a gáz áthalat az egyes kisülési csatornákon összemérhető lesz a fél periódusidővel.

A kisülés során a kerámia felülete feltöltődik, úgy viselkedik, mintha vezető lenne, s az eszköz kapacitása megnövekszik. Az effektus megvizsgálására megvizsgáltuk az energiaforgalmat, s a hatásos és a meddő teljesítményből meghatároztuk az ún. látszólagos kapacitást egy 330 pF statikus kapacitással rendelkező eszköz (12. ábra) esetében. A dinamikus kapacitás-tápfeszültség diagramot a 39. ábrán mutatjuk be (12, 14, 16, 20, 47,).

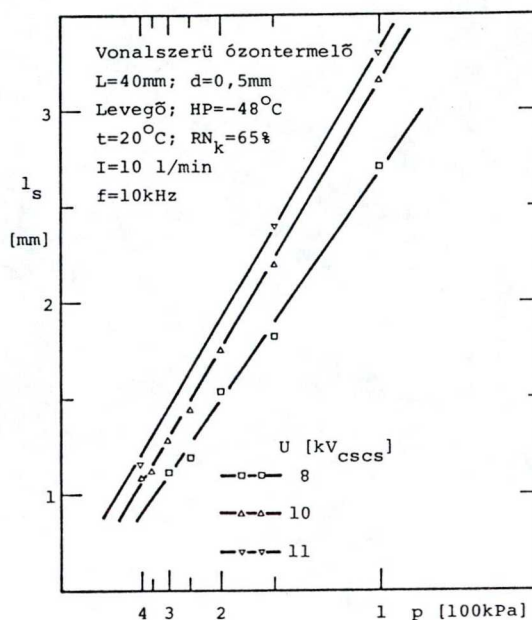


39. ábra. Az ózontermelő dinamikus kapacitása, mint a tápfeszültség függvénye

25. Az individuális kisülés által emittált fény időbeli lefutását a 40. ábrán mutatjuk be. A fény intenzitása az ózontermeléssel azonos módon változik a tápfeszültséggel, a megfelelés azonban nem teljes. A fény diagnosztikára jól használható, koncentráció mérésre azonban nem. A kisülési elektróda melletti világító csík szélessége a reciprok nyomással arányos (41. ábra). Hasonló jellegű mutat levegő esetében az áramimpulzus csúcsértéke is (14, 16, 22, 29, 47,).



40. ábra. A kisülés által emittált fény időbeli lefutása

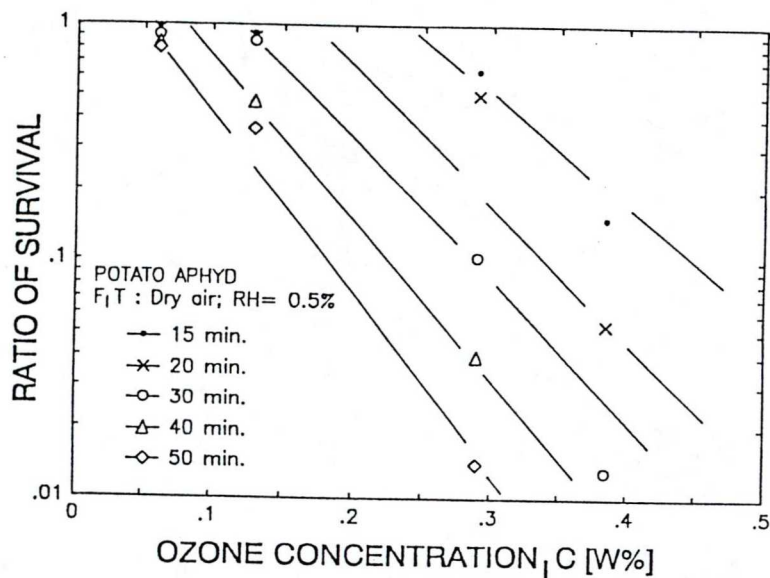


41. ábra. A kisülési elektróda körüli világító csík szélessége

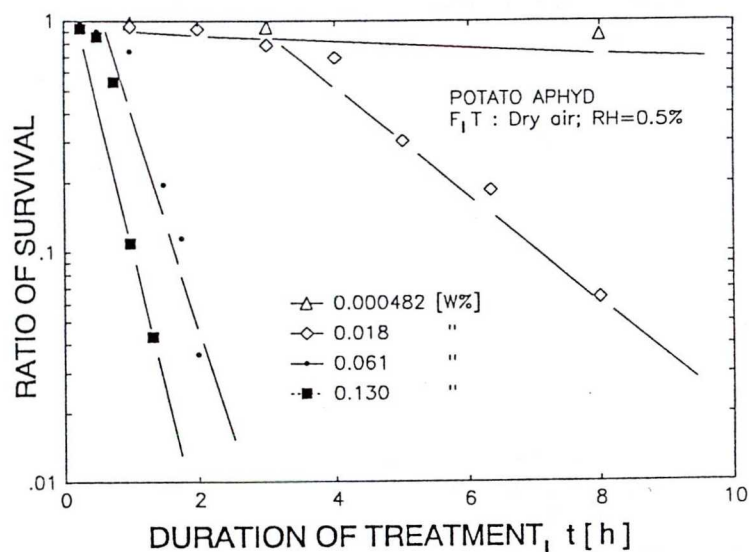
26. Az ózon hatással van a mikroorganizmusokra, megfelelő koncentráció esetében elpusztítja azokat, a hagyományosnál gyorsabb sterilizátor készíthető felhasználásával. Fogászati fűrészek befogó berendezéseinek sterilizálását oldottuk meg ózon segítségével, amely munkálatok során a hagyományos sterilizálásnál mintegy ötször gyorsabb berendezést építettünk. Kísérleteket végeztünk az ózon csávázószerként való alkalmazására, s megállapítottuk, hogy minden vírus elpusztítható segítségével. Igen egyszerűnek mutatkozott a dohánymagban levő mozaik vírus elpusztítása néhány perc alatt úgy, hogy a mag csírázóképesége nem változott. A szalmonella, mikoplazma, a lisztéria elpusztítását is sikeresen oldottuk meg ózon segítségével (21, 23, 34).

27. Az ózon segítségével elpusztíthatók a bogarak, rovarok. Potato Aphids, Confused Flour Beetle, Maize Weevil, Indian Meal Moth és Beet Army Worm fajtaakat tettük ki 5 ppm és 2 % közötti koncentrációjú ózon hatásának, s megállapítottuk, hogy a túlélési aránya exponenciálisan csökken az ózon koncentrációjának (42. ábra) és a kezelési időnek (43. ábra) a növekedésével (azaz a koncentráció és a kezelési idő szorzataként előálló dózis a meghatározó paraméter) bizonyos, a koncentráció növekedésével csökkenő tűrési dózis, késleltetési idő, után (44. ábra) (25, 27, 41, 43).

29. A rovarok túlélési aránya jelentősen nagyobb, ha az ózont oxigénből állítjuk elő, mint ha levegőből készül. Oxigénből előállított ózont és a hordozó oxigént nitrogénnel keverve úgy, hogy a kombinált oxigén-nitrogén arány a levegőével egyezzen meg, a tiszta oxigénből nyert ózonnal kezeltnél nagyobb, levegőből előállított ózonnal kezeltnél kisebb mortalitás adódik (45. ábra.) Az oxigén egyrészt segíti a bogarak túlélését, másrészt az ózon előállításakor a kisülési térben levő nitrogén az oxigénnel nitrogén oxidokat ad, amelyek jelentősen részt



42. ábra. A túlélési arány és a koncentráció kapcsolata



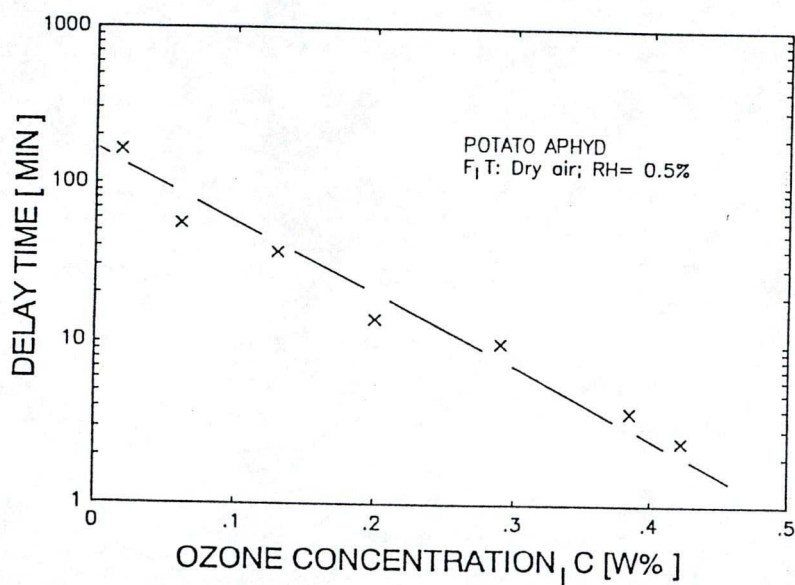
43. ábra. A túlélési arány és a kezelési idő kapcsolata

vesznek a pusztító hatásban. Ebből adódik a következtetés, hogy az ózon önmagában sokkal kevésbé veszélyes, mint nitrogén oxidokkal és nedvességgel együtt (21, 23, 27, 36, 41).

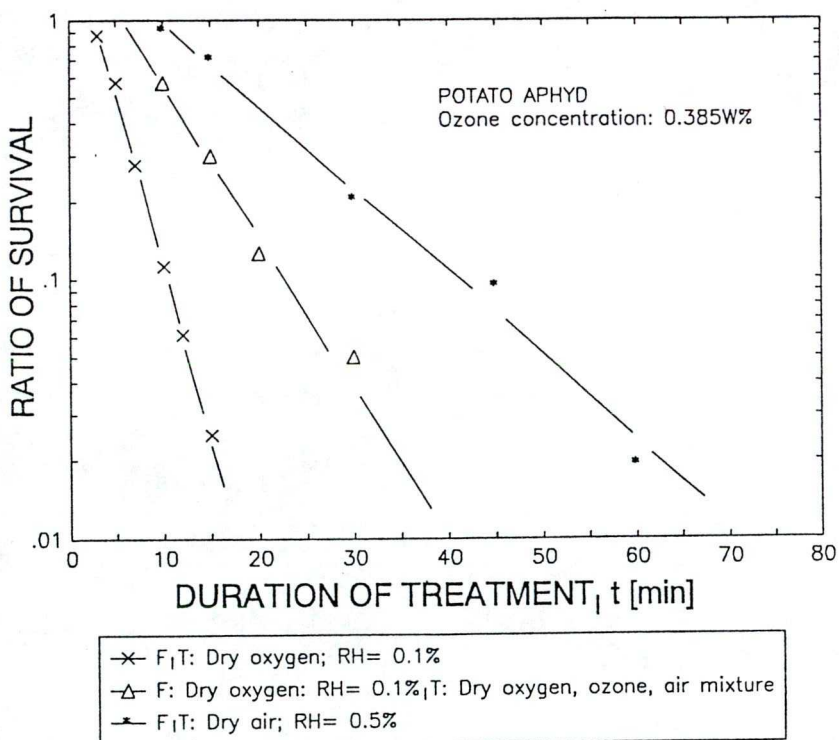
30. Ha az ózont nedves levegőből állítjuk elő, a kisülési térben keletkező savak, nitrogén oxidok igen jelentősen megnövelik az ózon mikroorganizmusokra és bogarakra való pusztító hatását. 100% mortalitás eléréséhez elegendő harmadannyi idő is, mint amit hagyományos technikákkal elérhetünk (21, 23, 25, 27, 36, 37, 41).

31. A *Bacillus Substilis* spórák ózonnal elpusztítva folyadékot emittálnak a testükből (21, 23).

32. Elegendően nagy koncentrációjú ózont olvasztott nyersvasba fűjva a carbon redukció sebessége növekszik, s ugyanakkor a kén és a foszfortartalom a carbon előtt eltűnik, vagy



44. ábra. A késleltetési idő és a koncentráció kapcsolata

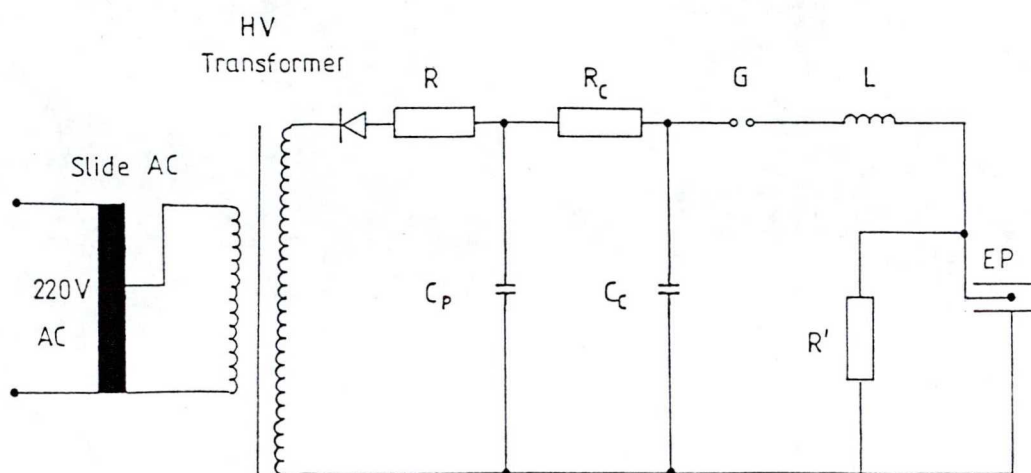


45. ábra. A túlélési arány és a kezelési idő kapcsolata különböző tápgázok (F) és kezelési (T) gázok esetében

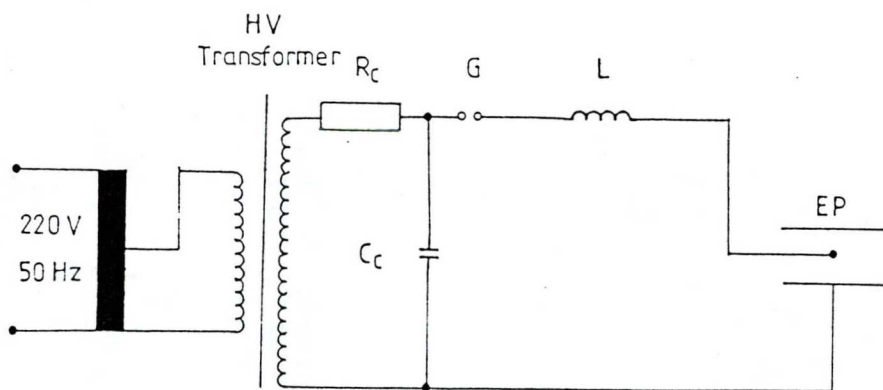
elhanyagolhatóan kis értékre csökken. Az effektus a mélyhúzható acélok előállításában játszhat szerepet (26, 38).

IV. Füst és kipufogógázok gáznemű szennyeződéseinek lebontása gyors elektromos kisülések segítségével területen végzett kutatások eredményeinek tézisei

33. Nanoszekundumos impulzusokkal működő elektromos porleválasztót építettünk füst és kipufogógázok gáznemű szennyeződéseinek leválasztására. Az impulzusok felfutási meredeksége 20 és 1200 nsec között, frekvenciája 10 és 2000 Hz között volt változtatható 5kV és 50kV közötti impulzusfeszültség mellett. A berendezés kapcsolási vázlatát a 46. ábrán mutatjuk be az egyenáramú impulzusok esetében és a 47. ábrán a váltakozóáramú impulzusokra. Az ábrákon G-vel a saját, vagy külső triggerelési szikraközöket jelöltük. A porleválasztó berendezések a 48. ábrán bemutatott eszközhöz hasonlóak voltak, 19-150mm átmérővel és 30-120cm hosszakkal.

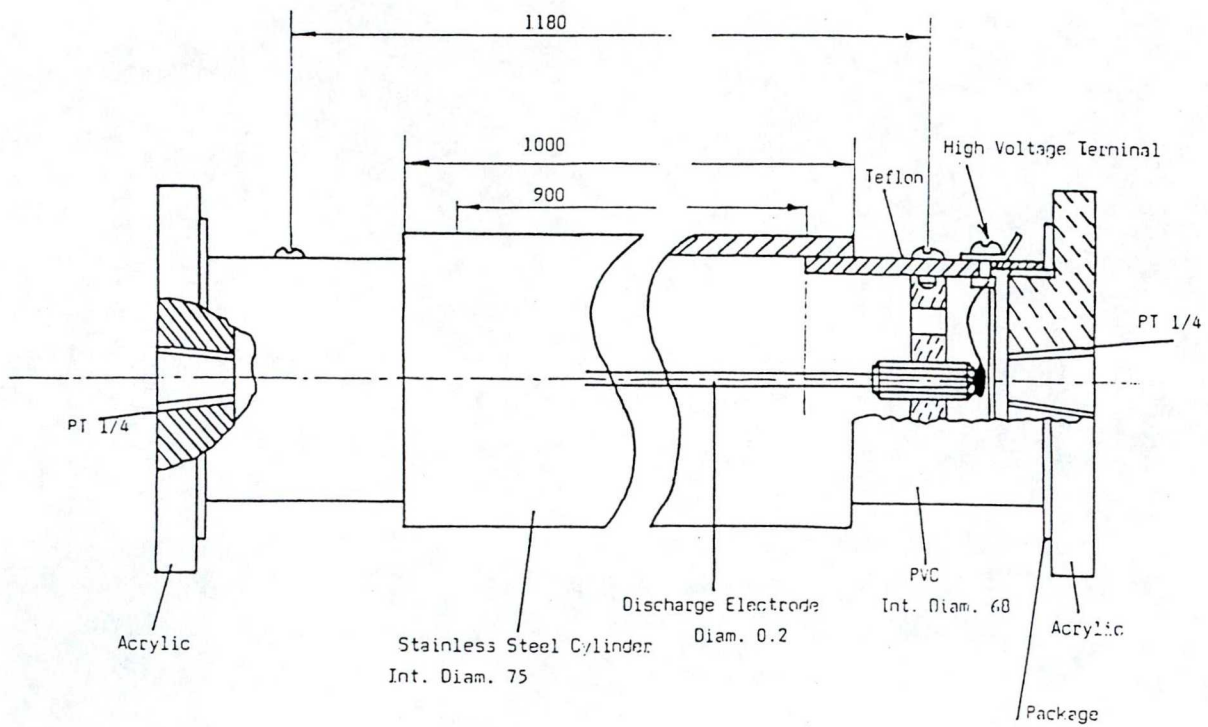


46. ábra. Egyenfeszültségű impulzusok előállítására alkalmazott berendezés

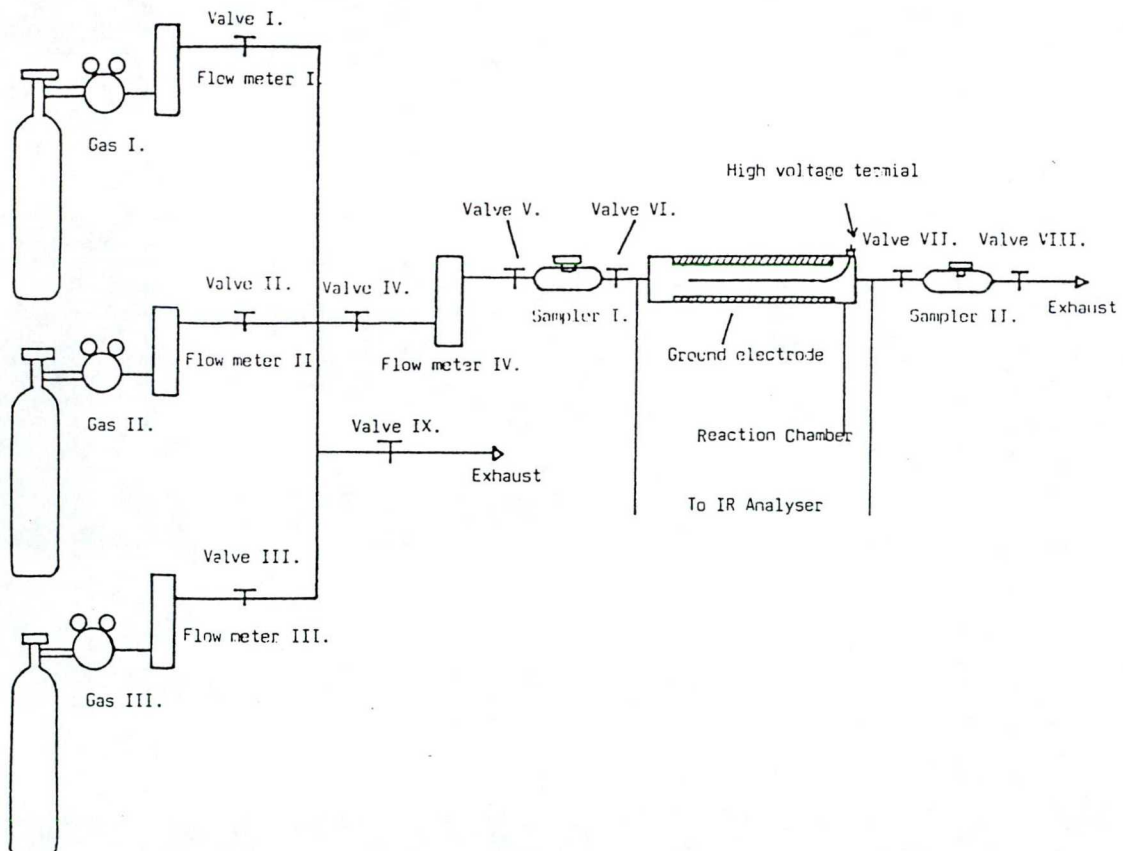


47. ábra. Váltakozóáramú impulzusokat előállító berendezés kapcsolása

A rendelkezésre álló gáz tiszta NO volt, ezért a kisebb koncentrációk előállítására kétszeres hígítást kellett megvalósítani. A kísérleti elrendezést a 49. ábrán mutatjuk be. 10 ppm és 100% közötti NO koncentrációval végeztünk megsemmisítési kísérleteket pozitív és negatív polaritású impulzusokkal egyaránt. A koncentrációt FTIR berendezéssel és kemilumineszcensz NO koncentrációmérővel határoztuk meg. A kísérletek azt mutatták, hogy még tömény gáz is felbontható, s a kisebb koncentrációk esetében 100% bontási hatásfok is elérhető.

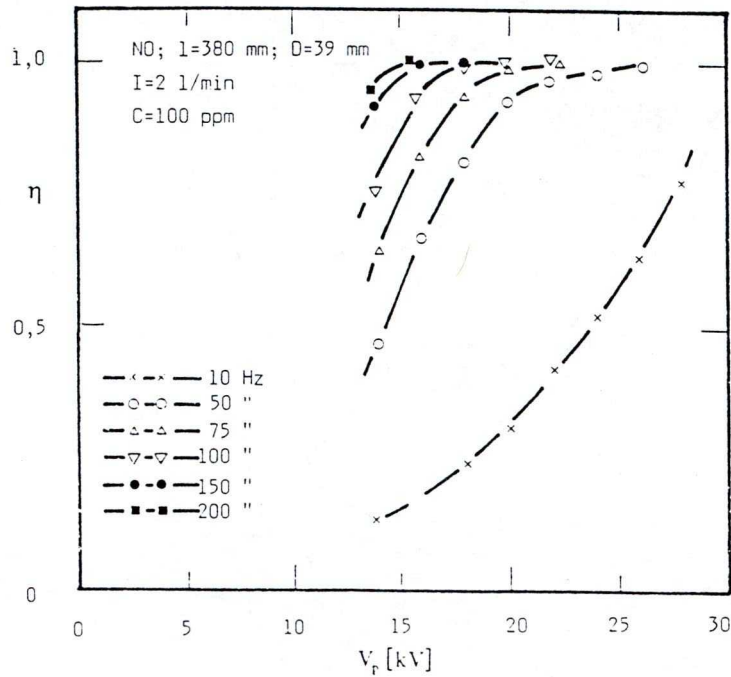


48. ábra. A gázbontó reakció kamra

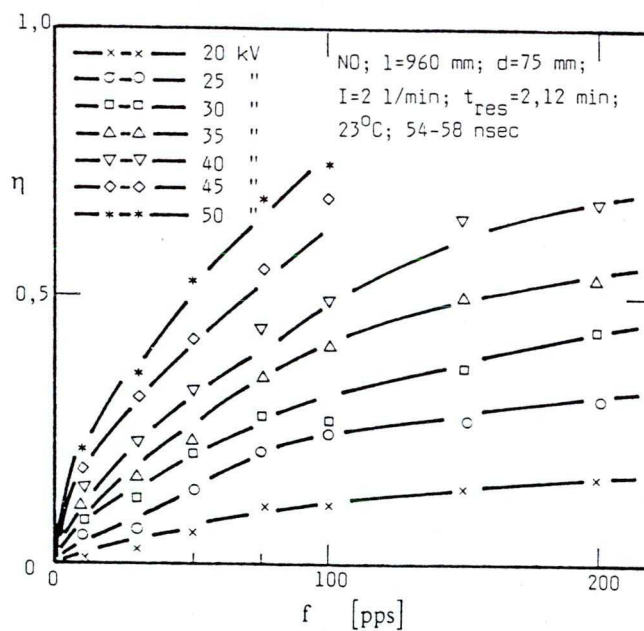


49. ábra. A kísérleti elrendezés

A leválasztási hatások az impulzus csúcsfeszültségétől az 50. ábrán látható módon függ.



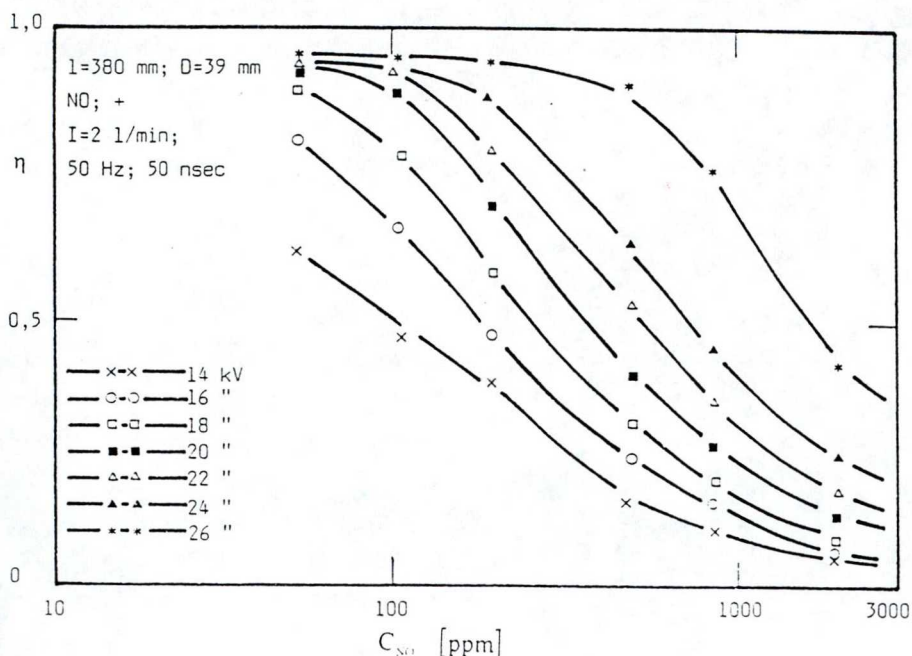
50. ábra. Nitrogén oxid megsemmisítési hatásfoka az impulzus csúcsfeszültségének függvényében különböző frekvenciákon



51. ábra. A leválasztási hatások függése az impulzus ismétlődési frekvenciájától

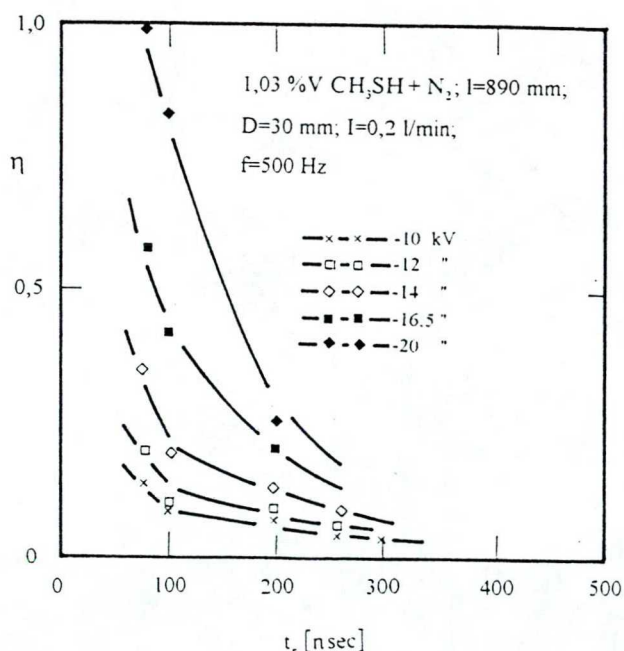
A hatásfok növekszik a frekvencia növelésével (51. ábra), de a melegedési effektus miatt nagyobb frekvenciákon az NO visszaalakul. A koncentráció növekedésével adott beállítás mellett a hatásfok csökken (52. ábra), mert a rendelkezésre álló elegendően gyors elektronok száma a beállítára jellemzően meghatározott (39, 42, 50, 51, 53, 54).

34. Az 33. pont alatti berendezéssel 100% leválasztási hatásfokot sikerült elérni kéndioxid, metilmerkaptán, ammónia, freon 11 és 12 gázok, valamint benzol és toluol gőzök, valamint higanyoxid esetében (28, 31, 33, 45, 48, 49, 52, 53,54).



52. ábra. Az NO bomlási hatásfokának függése a koncentrációtól különböző feszültségeknél

35. A leválasztási hatásfokot jelentősen befolyásolja az impulzus felfutási meredeksége, annak növekedésével növekszik, és annak hossza, aminek növekedésével csökken. A felfutási meredekség hatását jól mutatja az 53. ábra, amit metilmerkaptán bontása során vettünk fel. A leválasztási hatásfok metilmerkaptán esetében is növekszik az impulzus ismétlődési frekvencia és az impulzusfeszültség növekedésével (49, 53, 54).



53. ábra. A felfutási idő hatása metilmerkaptán bontási hatásfokára

36. A 33. pont alatti berendezést úgy módosítottuk, hogy az impulzus előállító berendezést váltakozó árammal tápláltuk, aminek eredményeképpen a gázleválasztó berendezésben nem válik le a kisülési termékként keletkező aeroszol, azaz a működést sem befolyásolja. A keletkező és egyébként is meglevő aeroszokok leválasztására kétlépcsős leválasztást tartunk célszerűnek(53, 54).

37. A nagyfeszültségű hálózatok esetleges (220 kV effektív érték felett meglehetősen sűrű) csendes elektromos (többnyire korona) kisüléseiben a levegőből nitrogén oxidok, a mintegy 340 ppm széndioxid jelenléte miatt szénmonoxid és különböző egyéb vegyületek alakulnak ki, amelyek ugyan kis koncentrációjuk, de a nagyfeszültségű hálózatok rendkívül nagy hossza miatt jelentősen hozzájárulhatnak a Föld környezetszennyezéséhez. Vegyi üzemek közelében dioxin kialakulását sem lehet kizárni (50, 53, 54).