

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA DOLGOZAT

Készítette: Fazekas Gergely (B97EOM)

Egyetem, tanszék: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi egyetem, Villamos Energetika tanszék

Konzulens: Dr. Szedenik Norbert

Téma: Elektrosztatikus kisülések az Iparban (Charges and discharges in industry)

TARTALOMJEGYZÉK

1. Előszó	4
2. Összefoglalás	4
3. Bevezetés	4
4. Elektrosztatikus feltöltődés Ipari környezetben	5
4.1. Fogalom meghatározások	5
4.2. Anyagok és osztályozásuk.....	6
4.3. Elektrosztatikus töltések szétválása:	7
4.4. Elektrosztatikus feltöltődés	7
5. Gázok-gőzök robbanásához szükséges körülmények	8
5.1. Megelőzése:.....	8
5.2. Oxigén koncentráció, és környezeti feltételek	8
5.3. Robbanási határok gázokban és folyadékokban	9
5.4. Inert gázok használata	9
5.5. Lobbanáspont	10
5.6. Legkisebb gyulladási energia	10
5.7. Kisülések veszélyességének meghatározási módszerei	12
5.8. Éghető porok	12
6. Sztatikus feltöltődés folyadékokban	12
6.1. Feltöltődési mechanizmus.....	13
6.2. Töltés felhalmozódás és vezetőképesség besorolás	13
7. Bemutató kísérlet	14
8. Elektrosztatikus töltésszétválasztás	14
9. Elektrosztatikus kisülések	16
9.1. Kisülések osztályozása	17
9.1.1. Szikrakisülés.....	17
9.1.2. Korona kisülés.....	18
9.1.3. Pamos kisülés	18
9.1.4. Terjedő kisülés.....	18
9.1.5. Villámszerű kisülések.....	18
9.1.6. Porkupac felszínén kialakuló kisülés.....	18
10. Az aceton gáz	19
11. Kísérleti elrendezés tesztelése	20

12.	Sikertelen tesztek okának felderítése	22
13.	A mérés és értékelése	24
14.	Kísérlet hibájának kijavítása	26
15.	Működőképes elrendezés tesztelése, dokumentálása	26
15.1.	Mérési elrendezés dokumentálása különböző körülmények között.....	28
16.	Az elrendezés hordozhatóvá tétele.....	31
17.	Kapott eredmények értékelése.....	32
	Ábrajegyzék.....	33
	Táblázatok	33
	Irodalomjegyzék.....	34

1. ELŐSZÓ

Munkám során az elméleti anyagokat szabványokból, illetve azokhoz tartozó műszaki előírásokból sajtótíttam el. Ezek közül az anyagok közül a legfontosabbnak az Irodalomjegyzék [1] pontjában feltüntetett IEC műszaki előírást tartom. Ez az IEC60079- 32- 1 szabványhoz tartozó műszaki előírások gyűjteménye. Az itt leírt elméleti anyag így az angol műszaki előírásokon alapul, melynek általam lényeginek tartott részeit magam fogalmaztam meg magyar nyelven.

2. ÖSSZEFOGLALÁS

Az iparban elektrosztatikus eredetű kisülésekből komoly balesetek jöhetnek létre. Olyan környezetben, ahol robbanóképes elegy alakul ki, az elektrosztatikus szikrák könnyen begyújthatják az elegyet, és így mind emberi életet, mind anyagi javakat veszélyeztetnek. A nyilvánvaló tűz és robbanásveszélyes anyagokon túl az ipar változatos részein jelenhet meg ez a veszélyforrás. Az egyik talán legjobb példa egy kecskeméti lisztpor robbanás arra, hogy akár olyan anyagok, amelyek nem tűz-és robbanásveszélyesek, por formában mégis azzá válhatnak, és akár egész épületeket rombolhatnak le. Munkám során célul tűztem ki, hogy az ilyen, iparban előforduló jelenségek egy részét ellenőrzött körülmények között oktatás és demonstráció céljából létrehozom. Az ilyen kísérletek sokat segíthetnek az iparban robbanásveszélyes körülmények között dolgozók továbbképzésében, a kialakuló veszélyhelyzetek komolyságára való ráébredésre, figyelemfelkeltésre. Ezért olyan bemutatót építettem, amelyben acetont lehet elektrosztatikus szikrakisüléssel begyújtani. Nagy hangsúlyt helyeztem az eszköz hordozhatóságára, amivel azt szeretném megmutatni, hogy ilyen körülményeket laboratóriumon kívül is könnyen elő lehet állítani. A bemutató hatásosságát tovább növeli, az alkalmazott anyag veszélyessége. Rendkívül látványos hogy mennyire kis mennyiségű acetont kell, illetve a létrehozott elektrosztatikus kisülés nem nagyobb, mint ami akkor sül ki, amikor műszálas pulóvert vet le az ember. Meglátásom szerint ezen kísérlet bemutatása, és az alkalmazott eszközök korrekt bemutatása olyan emlékeztető élményt hagy a szemlélőben, amire hosszútávon veszélyes környezetekben is emlékezni fog. Ami egy ilyen oktatásnak fontos része kell, hogy legyen.

3. BEVEZETÉS

Az elektrosztatikus feltöltődések, és kisülések az ipar számos területén előfordulnak. Az elektrosztatikus töltésszétválás akkor válik veszélyessé, amikor a töltések fel tudnak halmozódni, és

tűz vagy robbanásveszélyes környezetben a kisülés energiája eléri a minimális gyulladási energiát. A minimális gyulladási energia az egyik legfontosabb, bár nem egyetlen jellemzője a kisülésnek veszélyességének. Ezért a veszélyhelyzetek megszüntetése a töltések felhalmozódásának megakadályozására, illetve a felhalmozódott töltések semlegesítésére irányulnak, annak céljából, hogy ne éri el a minimális gyulladási energiát.

Az iparban a veszélyes anyagokat csoportosíthatjuk halmazállapotuk alapján. Szilárd, folyékony, és gáz-por halmazállapotú anyagok egyaránt lehetnek veszélyesek. Szilárd vezető anyagok, amelyeket szigetelő borít, feltöltődhetnek, majd mikor eléri a szigetelő letörési feszültségét nagy energiájú kisülés formájában semlegesítődik töltésük. Áramló folyadékok, és porok szintén feltöltődnek, bár az áramló folyadékokban a gyújtó elektrosztatikus kisülés esélye csekély. Ott ahol a folyadék kilép a csőből, és robbanásképes gőzök, gázok vannak, jelen a környezetben a felhalmozott töltésekből létrejövő kisülés könnyen belobbanthatja azokat. Szálló porok esetében az elszigetelt szemcsék között töltések halmozódhatnak fel, ha a kisülés energiája eléri a minimális gyulladási energiát, annak szintén robbanás lehet a következménye. Európa szerte több malom is áldozatává vált már lisztpor robbanásoknak, jó példa erre a Brémai Roland Malom. Ahol 1979. február 6-án karbantartási munkálatokat végeztek, évtizedeken át a berendezésekben felgyült lisztpor egy kisebb helyi tűz miatt berobbant, a lökéshullám szétvetette a silók tetejét, az épület falai több helyen ledőltek, a födém szerkezet az épületbe omlott[2]. Bár itt a gyújtóforrás tűz volt, ez mit sem változtat a porok veszélyességén. A robbanásban 14 ember meghalt, 17 megsérült.

Az elektrosztatikus kisülések gyújtóhatásán kívül a kisülések az emberre nézve egyéb veszélyeket is hordoznak, a kisülés akaratlan izom összehúzódást, ezáltal akaratlan mozgást eredményezhet, amely különböző veszélyes helyzetek kialakulásához vezethet.

4. ELEKTROSZTATIKUS FELTÖLTŐDÉS IPARI KÖRNYEZETBEN

4.1. Fogalom meghatározások[1] műszaki előírás 15-17 oldaláról

Vezető: Azok az anyagok, amelyeknek az ellenállása a disszipatív anyagoké alatt van, így elektrosztatikus kisülések, létrejöhetnek.

Disszipatív: az ellenállása a vezető, és a szigetelő közötti tartományba esik.

Szigetelő: az ellenállása nagyobb, mint a disszipatív anyagoké

Felületi ellenállás: Ω -ban kifejezett ellenállásérték, amelyet két egymástól adott távolságra elhelyezett elektród között mérünk.

Szivárgási ellenállás: Ω -ban kifejezett ellenállásérték, amely magában foglalja a felületi ellenállását az elektróda, és a mért felület, illetve a felület és a föld között mért ellenállásnak.

Relaxációs idő: az az idő, ami alatt az elektrosztatikus töltés a szilárd anyag felszínén, folyadékokban, vagy porokban felhalmozódott, az 1/e részére (körülbelül 37%) csökken az eredeti értékének.

Vezetőképesség: ellenállásból származtatott mennyiség, amely megmutatja, hogy az anyag mennyire vezet. Mértékegysége S/m (siemens), $1/\Omega\text{m}$

Fajlagos felületi ellenállás: ellenállás a felület két ellentétes pontja között a felület hosszúsága és szélessége mentén. Általában Ω -bankifejezve.

Fajlagos térfogati ellenállás: egységnyi hosszúságú, és egységnyi keresztmetszetű anyagon át mért ellenállásérték Ωm ben kifejezve

4.2. Anyagok és osztályozásuk

Ipari környezetben elektrosztatikai vezetőképesség szempontjából háromféle anyagtypust különböztetünk meg. Ezek:

- vezető (Conductive)
- disszipatív (Dissipative)
- szigetelő (Insulating)

Ezeknek az anyagoknak az ellenállás értékére a műszaki előírás többféle értéket is megad, attól függően, hogy az ellenállás mire vonatkozik (1.táblázat).

1.táblázat Tárgyak osztályozása ellenállás alapján
([1]. Műszaki előírás 20. oldaláról. Magyarra fordítva)

Tárgy	Mértékegység	Vezető	Disszipatív	Szigetelő
Anyag	Fajlagos térfogati ellenállás (Ωm)	$<100\text{ k}\Omega\text{ m}$	$100\text{ k}\Omega\text{ m} - 1\text{ G}\Omega\text{ m}$	$> 1\text{ G}\Omega\text{ m}$
Burkolat	Felületi	$<10\text{ k}\Omega$	$10\text{ k}\Omega - 100\text{ G}\Omega (25 \pm 5)\%$	$\geq 100\text{ G}\Omega (25 \pm 5)\%$
	Ellenállás			
	(Ω)			
Burkolat	Felületi	$<100\text{ k}\Omega$	$100\text{ k}\Omega - <1\text{ T}\Omega (25 \pm 5)\%$	$\geq 1\text{ T}\Omega (25 \pm 5)\%$
	Ellenállás			
	(Ω)			
Ruházat	Felületi ellenállás és Ponttól pontig Ellenállás (Ω)	Nem áll rendelkezésre	$\leq 2,5\text{ G}\Omega (25 \pm 5)\%$	$> 2,5\text{ G}\Omega (25 \pm 5)\%$
Lábbeli	Szivárgási	$< 1\text{ M}\Omega$	$100\text{ k}\Omega - <100\text{ M}\Omega (25 \pm 5)\%$	$\geq 100\text{ M}\Omega (25 \pm 5)\%$
	ellenállás			
Kesztyűk	Szivárgási	$< 1\text{ M}\Omega$	$1\text{ M}\Omega - 100\text{ M}\Omega (25 \pm 5)\%$	$\geq 100\text{ M}\Omega (25 \pm 5)\%$
	ellenállás(Ω)			

Padló	Szivárgási ellenállás (Ω)	$< 1 \text{ M}\Omega$	$1 \text{ M}\Omega - < 100 \text{ M}\Omega (25 \pm 5)\%$	$\geq 100 \text{ M}\Omega (25 \pm 5) \%$
Csövek	Hosszegységre eső ellenállás (Ω/m)	$< 1 \text{ k}\Omega$	$1 \text{ k}\Omega/\text{m} - < 1 \text{ M}\Omega/\text{m} (25 \pm 5) \%$	$\geq 1 \text{ M}\Omega/\text{m} (25 \pm 5) \%$
Tömlők	Illesztési ellenállás (Ω)	$< 1 \text{ k}\Omega$	$1 \text{ k}\Omega - 1 \text{ M}\Omega (50 \pm 5) \%$	$\geq 1 \text{ M}\Omega (50 \pm 5) \%$

4.3. Elektrosztatikus töltések szétválása:

Elektrosztatikus töltések szétválása különböző mozgások, illetve villamos megosztás (influenca) során jönnek létre. Ilyen lehet például szigetelő padlón való járás, felületek folyamatos szétválása, mint a futószalagok és hajtó henger, csövekben áramló folyadékok felöltődése, illetve szigetelő folyadékok esetén a tartályba töltött folyadék még földelt fém tartály esetén is lassan veszti el töltését. Így ebben töltések halmozódnak fel, amelyek akkora térerősséget hozhatnak létre, ami elegendő arra, hogy megosztást hozzon létre a környező vezető testekben.

4.4. Elektrosztatikus feltöltődés

A szétváló töltések hozhatnak létre veszélyes körülményeket, ha fel tudnak halmozódni. A felhalmozódás akkor jöhet létre, ha a töltések szétválási ideje rövidebb, mint asemlegesítésükhöz szükséges idő, és a test – ha vezető vagy disszipatív – nincs földelve. Szigetelő anyagokon a töltések felhalmozódása földeléssel nem szüntethető meg. Rajtuk a töltődési folyamat addig tart, amíg el nem éri az anyag letörési feszültségét, ami után az átüt, ezzel begyűjtve az esetlegesen környezetében lévő robbanóképes gázokat, gőzöket, porokat. Az iparban igyekeznek kerülni a szigetelők alkalmazását, ahol mégis szükség szerű, ott vezető réteggel vonják be őket, amelyeket szintén földelnek. Folyadékok áramlása során is töltések keletkeznek. Keletkezésük mértéke nagyban függ az áramló folyadék vezetési paramétereitől, --amelyek meghatározzák a relaxációs időt,-- és az áramlás sebességétől. Magukban a folyadékokban elektrosztatikus gyűjtőszikra létrejötté kevésbé valószínű. A gondot az jelenti, amikor a folyadék tartályba áramlik. A tartály feltöltése során az elektrosztatikusan töltött folyadék kapcsolatba lép a tartályban lévő gázokkal, gőzökkel, melynek során, ha az ott lévő anyagok tűz- és robbanásveszélyesek, akkor akár be is robbanthatja azokat. Ennek kivédésére a töltő cső átmérőjét a tartály előtt meg szokták növelni, ezzel csökkentve a beáramlás sebességét, illetve a tartály feltöltésének sebességére korlátozásokat vezetnek be. A csőben elhelyezett szűrők szintén jelentős mértékben növelik az áramló folyadékban keletkező töltések mennyiségét, még akkor is, ha ezek a szűrők fémből vannak, és földeltek. Így a szűrőket olyan távolságba kell elhelyezni a töltendő tartálytól, hogy a töltések relaxációs ideje elteljen a szűrő és a tartályba érkezés között. Mint a [3] hivatkozott irodalom 1.3 pontjában

olvasható szilárd anyagok aprózása, és folyadékok porlasztása elektrosztatikai szempontból lényegében hasonló folyamatnak felel meg, ráadásul a töltések felhalmozódása nem függ az anyag vezetőképességétől. A levegővel kevert por- és folyadékszemcsék igen rövid ideig érintkeznek az edény falával, ez a rövid idő mégis elégséges, hogy töltések cserélődjenek ki a szemcsék és a fal között.

5. GÁZOK-GŐZÖK ROBBANÁSÁHOZ SZÜKSÉGES KÖRÜLMÉNYEK

Tiszta gázokban a töltések felhalmozódása nem számottevő, azonban a gyakorlatban előforduló technikai gázok mindig tartalmaznak valamennyi szilárd vagy cseppfolyós részecskét. Gázok hirtelen expanziója során szilárd vagy cseppfolyós részecskék keletkeznek. Ezt használják fel pl. festésnél. Azonban a folyamat jelentősen megnöveli az esélyét a kisüléseknek, amikor a kiáramló töltött részecskék földeletlen vezetővel találkoznak. Több baleset forrása volt már tűz- és robbanásveszélyes környezetben a CO₂-vel való oltás. A legtöbb szénhidrogén és még sok más, az iparban használatos anyag, gyúlékony. Ezek gázhalmazállapotban, vagy folyékony anyagok gőzei, illetve anyagok porai, ha levegővel keverednek, vagy oxidáló anyaggal lépnek kapcsolatba az elektrosztatikus kisülések létrejöttét okozhatja. Ezek a tényezők sokrétűek lehetnek, amelyeket az alábbi pontokban sorolok fel. (forrás [1] 123. oldal C Melléklet)

5.1. Megelőzése:

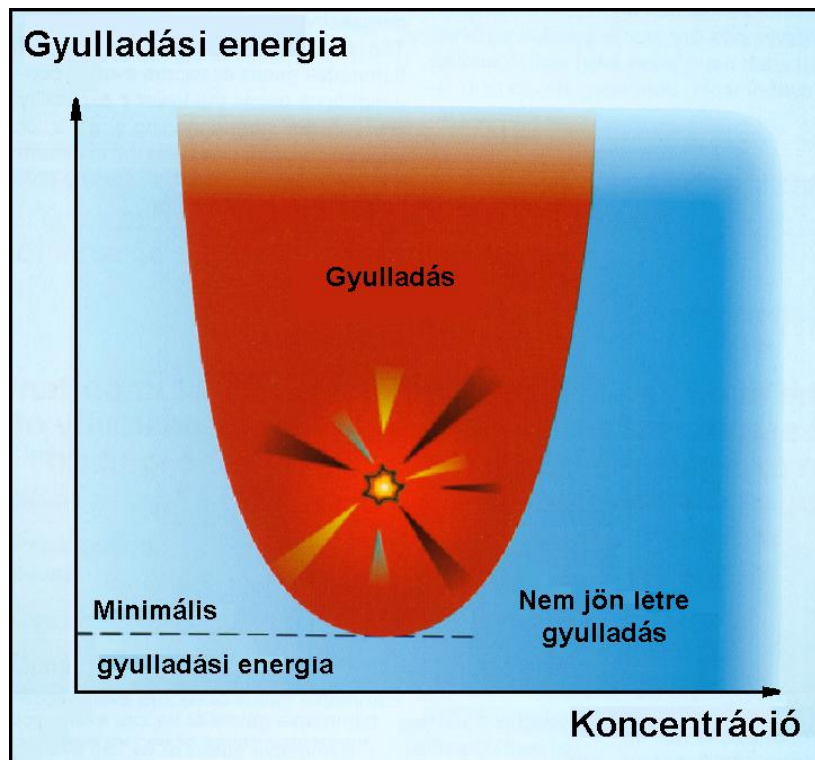
Nem lehet elkerülni a töltések felhalmozódását a részecskéken. A gyújtóhatást viszont el lehet kerülni, ha nincs tűz- és robbanásveszélyes környezet jelen, vagy elkerüljük a kisülések létrejöttét, amelynek módjai:

- a. meg kell győződni, hogy a fém, és egyéb vezető részek földeltek.
- b. el kell kerülni a szigetelő anyagok alkalmazását
- c. korlátozni kell a töltések mennyiségét a kiáramlás sebességének csökkentésével. (pl.: erre alkalmas szórófej kialakítással)
- d. el kell távolítani részecskéket a gázból.

5.2. Oxigén koncentráció, és környezeti feltételek

Nagyban befolyásolja a gyújtási tulajdonságokat az oxigén koncentrációja, hőmérséklete, illetve a levegő nyomása. A következő pontokban felsorolt adatok a normál légköri körülményekkel kapcsolatosak. A hőmérséklet -20..60 °C közötti, a nyomás 0,8-1,1 bar közötti értéktartományban adott.

Ha a feltételek eltérnek a környezettől, pl. magas hőmérséklet, vagy 21%-osnál kisebb oxigén arány a levegőben, azkomolyan csökkenti az éghetőséget.(1. ábra)



1. ábra Minimális gyulladásási energia, és gyúlékony anyag koncentráció

5.3. Robbanási határok gázokban és folyadékokban

Minden anyagnak van felső és alsó robbanási határa, és csak ezek között lehetséges sikeres gyújtást létrehozni. A szénhidrogének esetében ezek a határok 1%-15% között vannak térfogatszázalékban. Azok az anyagok, amelyeknek szélesebb az éghetőségi határuk kiváltképp veszélyesek. Ilyenek pl. hidrogén, acetilén, szén-diszulfid.

A szellőztetés gyakran a leghatásosabb módja annak, hogy a robbanási határ alatt tartsuk a levegőben a gyúlékony keveréket, ezzel lehetetlenné téve annak begyűjtését.

5.4. Inert gázok használata

Inert gázok azok a gázok, amelyek nem tűzveszélyesek, nem vagy csak kis mennyiségben tartalmaznak oxigént, és az égést sem táplálják. Ilyenek például: a nitrogén, kazán füstgáz, CO₂ amelyek nagy nyomáson való bejuttatásának számú töltött részecskét, vagy folyadékcséppet jelent. Ha a rendszerben tűz- és robbanásveszélyes környezet van jelen, akkor ez villamos kisüléshez vezethet, mielőtt az inert gáz kifejthetné hatását. Ezek a gázok lecsökkentik az oxigén koncentrációt olyan alacsony szintre, hogy a gyújtás ne legyen lehetséges.

Az inert légkör ismét éghetővé válik, ha levegőt adunk hozzá. Fontos felismerni, hogy a porok, illetve gyúlékony gőzök/gázok ismét könnyen begyulladhatnak, ha elhagyják az inert tárolót.

5.5. Lobbanáspont

Általában nem lehetséges begyűjtani azokat a folyadékok fölött lévő gőz/levegő keverékeket, amelyek lobbanáspontjuk alatt vannak. Hogy megakadályozzuk a sikeres gyűjtást, a folyadék hőmérsékletét a lobbanáspontja alatt kell tartani 5°C-al. Olyan keverékeket, amelyek nagy gyúlékonyságú folyadékokat tartalmaznak, ezt az eltérést 15°C-ra kell emelni. Általában jobb alkalmazni a magasabb, mint az alacsonyabb lobbanáspontot.

Meg kell jegyezni, hogy a spray-k finom porok, gyúlékony anyagok begyűlladhatnak jóval a lobbanáspontjuk alatt.

5.6. Legkisebb gyulladási energia

Éghető gázokat, gőzöket és porokat gyakran osztályoznak a legkisebb gyulladási energiájuk alapján. Ezek az értékek a legkönnyebben begyűjthető keverék, és az ahhoz szükséges kisülést írják le. A gázok gőzök legkisebb gyulladási energiája általában 0,1-0,3mJ, porok esetében 1 mJ-10 J nagyságrendbe esik.

A szikrakisülések gyújtóképessége a kisülést létrehozó villamos hálózat induktivitásától, ellenállástól, és kapacitásától függ. Bizonyos körülmények között gyűjtás történik a legkisebb gyulladási energia alatt, amelyek főleg kapacitív körökre jellemzőek. Ezért ügyelni kell arra, hogy meggyőződjünk a kockázatelemzés megfelelőségéről a kiválasztott hálózatra nézve.

Gyúlékony gáz jelenléte a gyúlékony levegő/por keverékben ahhoz vezethet, hogy gyűjtási energia a por/levegő keveréké alá kerül, még akkor is, ha gőz koncentrációja jócskán alatta marad az alsó gyulladási pontnak. Fontos tehát elfogadni, hogy a gyulladási energia a gyúlékony gázé körül lesz, ha jelentős gázkoncentráció van jelen.

A következő táblázat adatokat közöl a Legkisebb Gyűjtási Energia (MIE, a Legkisebb gyűjtáshoz Szükséges Töltés (MIQ) értékeiről különböző anyagok esetén, amelyek a gyűjtás szempontjából optimálisan vannak keverve, 25°C hőmérsékleten és 1 hPa nyomáson. Az optimális keverék arányát térfogat %-ban és a robbanási csoport az ICE 60079-20-1 szabvány szerint. (forrás:[1] hivatkozott irodalom 125. oldal)

2.táblázat Legkisebb Gyújtási Energia, legkisebb Gyújtási Töltés, optimális keverék

Anyagok	MIE[mJ]	MIQ[nC]	Gyújtási optimum [Vol.-%]	Robbanási osztályoz IEC 60079- 20-1
Acetaldehid	0,38	-	-	IIA
Ecetsav- etil-észter	0,46	120	5,2	IIA
Aceton	0,55	127	6,5	IIA
Akrolein*	0,13	-	-	IIB
Akrilnitril	0,16	-	9.0	IIB
Allil-klorid*	0,77	-	-	IIA
Ammónia	14	1500	20	IIA
Benzol	0,2	45	4,7	IIA
1,3-Butadién	0,13	-	5,2	IIB
Butángáz	0,25	60	4,7	IIA
2-Butanon	0,27	-	5,3	IIB
2-Butyi chloride*	1,24	-	-	IIA
Szén-diszulfid	0,009	-	7,8	IIC
Ciklohexán	0,22	-	3,8	IIA
Ciklopropán	0,17	-	6,8	IIB
1.2-Diklór	1	-	10,5	IIA
Diklór-metán	9300	880000	18	IIA
Dietil-éter	0,19	40	5,1	IIB
Dietil- éteroxigénben*	0,0012	-	-	-
2.2-Dimetil-bután	0,25	70	3,4	IIA
Etán	0,25	70	6,5	IIA
Etanol	0,28	60	6,4	IIB
Etilén	0,082	32	8.0	IIB
Etilénoxigénben*	0,0009	-	-	-
Acetilén	0,019	-	7,7	IIC
Acetilén oxigénben*	0,0002	-	-	-
Etilén-oxid	0,061	-	10,8	IIB
Heptán	0,24	60	3,4	IIA
Hexán	0,24	60	3,8	IIA
Hidrogén	0,016	12	22	IIC
Hidrogénoxigénben*	0,0012	-	-	-
Metán	0,28	70	8,5	IIA
Metil-alkohol	0,2	50	14,7	IIA
2-Metilbután	0,21	63	3,8	IIA

Metil-ciklohexán	0,27	70	3,5	IIA
Pentán	0,28	63	3,3	IIA
cisz-2-pentén	0,18	-	4,4	IIB
Transz-2-pentén	0,18	-	4,4	IIB
Propán	0,25	70	5,2	IIA
Propán oxigénben*	0,0021	-	-	-
1-propin(metil acetilén)	0,11	-	6,5	IIB
Propilén-oxid	0,13	-	7,5	IIB
Tetrafluoretilén	4,1	-	-	IIA
Tetrahidro-2H-pirán	0,22	60	4,7	IIA
Toluol*	0,24	-	-	IIA
1.1,1-Triklor-etán	4800	700000	12	IIA
Triklóretilén	510	150000	26	IIA
Xilén*	0,2	-	-	IIA

5.7. Kisülések veszélyességének meghatározási módszerei

Az egyik eljárás, hogy a próbadarabot feltöltjük az előforduló legveszélyesebb környezetben, ami a működés során felléphet, és létrehozuk a kisülést a kísérleti földelt gömbelektródig, a gázban Legkisebb Gyújtási Energiával. Ezt a módszert leírja pl. az IEC 61340-4-4

5.8. Éghető porok

Minden éghető anyag, ide értve a fémeket is képes éghető környezetet létrehozni, ha por formájában finoman el van oszlatva a levegőben. A porrobbanás veszélye fennáll, ha a részecskék mérete 0,5 mm-nél kisebb, és az éghetőségi tartományban van a por koncentrációja. A robbanásveszély sok tényezőtől függ a részecskék méretén kívül. Legveszélyesebb a nagyon finom por.

6. SZTATIKUS FELTÖLTŐDÉS FOLYADÉKOKBAN

Sok művelet a gyúlékony folyadékokkal eredményez gyúlékony környezetet a rajtuk végzett munka során létrejövő párolgások miatt. A lobbanáspont megközelítése jelzi, hogy közelítünk ahhoz a legkisebb felületi hőmérséklethez, amely gyúlékony környezetet eredményez a folyamat során. Azonban bizonytalanságok merülnek fel a lobbanáspont bonyolult mérése miatt, a különbségek oka a lobbanásponttesztkörnyezetek, és a valódi ipari körülmények közötti különbségek, illetve a folyadékok felületi hőmérsékletének mérésére vonatkozó nehézségek miatt. Elfogadható tehát a feltételezés, hogy gyúlékony környezet alakulhat ki, amikor a folyadék hőmérséklete még alatta van

a lobbanáspontnak, ezért biztonsági tűrést kell bevezetni. Ez a határ függ a hőmérsékletmérés bizonytalanságától, a folyadék összetételétől stb. Jól kontrollált környezetben a határ 5°C tiszta folyadékok esetén, folyadékelegyek esetén 15°C szükséges.

6.1. Feltöltődési mechanizmus

A folyadékok elektrosztatikusan feltöltődhetnek, amikor szilárd anyagokhoz képest elmozdulnak vagy két, vagy több nem oldódó fázisból állnak, amelyek elmozdulnak egymáshoz képest. Folyadékok porlasztása szintén erősen töltött ködöt, permetet eredményez.

6.2. Töltés felhalmozódás és vezetőképesség besorolás

A töltések felhalmozódását két egymással ellentétes folyamat hozza létre, a töltések szétválása, illetve a töltés semlegesítés. Az elektrosztatikus töltésfelhalmozódás, és az elektrosztatikus veszély egyes folyadékokban erősen függ az villamos vezetőképességétől, illetve a relatív permittivitástól (ϵ_r). A töltések semlegesítése a tárolókban szorosan összefügg a vezető képességükkel. Ezt a következő módon definiálhatjuk:

- nagyvezetőképességű $\gamma > 5\,000 \times \epsilon_r$ [pS/m];
- közepes vezetőképességű $25 \times \epsilon_r$ [pS/m] $< \gamma < 5\,000 \times \epsilon_r$ [pS/m];
- kis vezetőképességű $\gamma < 25$ [pS/m] $\times \epsilon_r$

Azokra a folyadékokra, amelyeknek a permittivitása 2 körül van ezek a meghatározások érvényesek:

- nagyvezetőképességű $\gamma > 10\,000 \times \epsilon_r$ [pS/m];
- közepes vezetőképességű $50 \times \epsilon_r$ [pS/m] $< \gamma < 10\,000 \times \epsilon_r$ [pS/m];
- kis vezetőképességű $\gamma < 50$ [pS/m] $\times \epsilon_r$

Azokra a folyadékokra, amelyeknek a permittivitása kettőnél nagyobb vagy ismeretlen általában az alábbi meghatározások érvényesek:

- nagyvezetőképességű $\gamma > 10\,000 \times \epsilon_r$ [pS/m];
- közepes vezetőképességű $100 \times \epsilon_r$ [pS/m] $< \gamma < 10\,000 \times \epsilon_r$ [pS/m];
- kis vezetőképességű $\gamma < 100$ [pS/m] $\times \epsilon_r$

A töltésfelhalmozódás veszélyességi szintje gyakran jár együtt akis vezetőképességű anyagokkal. Azonban ez előfordulhat közepes, vagy nagy vezetőképességű anyagokkal is, ha olyan folyamatoknak vannak kitéve, amelyekben ködök, vagy permetek képződnek, vagy amikor közepes vezetőképességű anyagot szállítanak szigetelt csövekben, vagy kétfázisú keverési műveletek során. Töltésgenerálódás hiányában a töltések eltűnése az exponenciális törvény szerint történik, ahonnan a relaxációs idő:

$$\tau = \epsilon_r \epsilon_0 / \gamma$$

ahol:

τ -- a relaxációs idő;

ϵ_r -- a relatív permittivitása a folyadéknak

ϵ_0 -- a levegő permittivitása

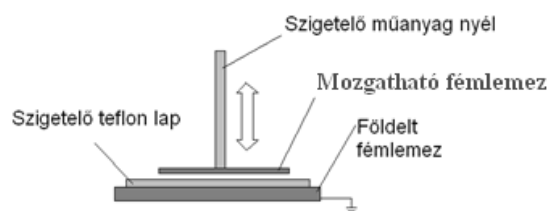
γ -- az elektromos vezetőképesség folyadékokban

7. BEMUTATÓ KÍSÉRLET

Munkám során olyan elektrosztatikus bemutató kísérletet építettem, amelyben biztonságos laboratóriumi körülmények között elektrosztatikus kisülés révén mutatom be az iparban előforduló tűz- és robbanásveszélyes környezetekben uralkodó veszélyforrások komolyságát. A kísérlet során aceton gázt robbantok be elektrosztatikus kisüléssel. Mindezzel szemléltetni szeretném, hogy mennyire kis töltés elégséges ahhoz, hogy ipari környezetben, nem megfelelő védelemmel ellátott munkakörnyezetben, vagy a munkakörnyezet szabályainak, szigorúságátbe nem tartva milyen könnyen vezethet akár tragikus következményekhez egy-egy mozdulat. A továbbiakban a kísérlet egyes lépéseinek részletes leírását, illetve mérési adatokat közlök.

8. ELEKTROSZTATIKUS TÖLTÉSSZÉTVÁLASZTÁS

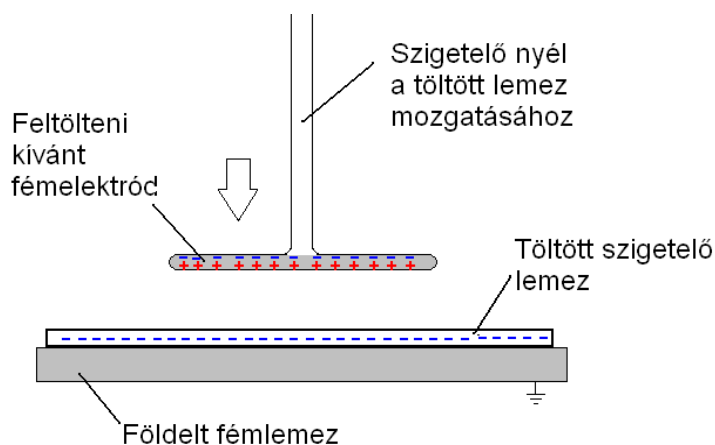
A kísérlet sikeres elvégzése szempontjából létfontosságú a szükséges elektrosztatikus kisülés előállítása. Mint az előző pontokból is látszódott, elektrosztatikus kisülés létrehozása a legkönnyebben szigetelő jelenlétében valósítható meg. Azonban az előző pontokban hosszasan tárgyaltam, hogy ettől függetlenül számtalan módon létrejöhet elektrosztatikus eredetű kisülés.



2. ábra

Az elektrosztatikus feltöltődéshez használt eszköz elvi modellje

Az elrendezés elvi rajzát a 2. ábra mutatja. Az ábrán látható szigetelő teflon lemezt - amelyet földelt fémlemezre helyezek - felületi töltésekkel látom el, ami a kísérlet során műszálas szövetrel való dörzsöléssel történik. A feltöltött teflon lemezre ráhelyezem a szigetelő nyelű fémlemezt. Amikor a szigetelő nyelű fémlemezt közelítem a töltésekkel rendelkező szigetelő lemezhez, akkor a fémben lévő töltéshordozók a coulomb erő hatására elmozdulnak, és töltésmegosztás jön létre a fémben. A szétválást követően a szigetelt lemez töltéseivel ellentétes töltésekre vonzó erő, az azonosakra taszító hat, ennek eredménye, hogy a fém felső felülete azonos előjelű töltést fog mutatni, mint amilyen a megdörzsölt



3. ábra
Töltések szétválasztása

szigetelő lap felülete volt (3. ábra). A kétfémlemez rövid idejű összekötésével érem el a töltésleadást. Aminek hatására a fémlemezben megosztott töltések eltávoznak a föld felé, a visszamaradó rendszer a fém felületén „0” potenciált fog mutatni. Azonban ha a fémlemezt elkezdem távolítani a szigetelő anyagtól, akkor a szigetelő felületén lévő töltések egyre kevésbé hatnak a fémben lévőkre, végül a vezető felületen a töltések egyenletesen oszlanak el. Ezek a töltések azon folyamat eredménye, amikor a fémben szétvált töltések egyik felét a földeléssel elvezetem. Az elrendezés érdekessége, hogy a felületi töltés megmarad a teflon lemezen, így egy-egy kisülés létrehozása után nem szükséges újból megdörzsölni a teflon lapot. Természetesen a töltéseknek van relaxációs ideje, így a szigetelő lemezen se marad meg huzamosabb ideig, a töltések eltűnésében nagy szerepet játszik a levegő páratartalma. Továbbá mivel az elrendezés egy kondenzátor, aminek az egyik fegyverzete földelt, ezért amikor a fémlemezt felemeljük, amivel változtatjuk a létrehozott kondenzátor kapacitását. Mivel a rendszerben a Q töltés közel állandó (páratartalomtól függően közel állandó), ha a páratartalom nem haladja meg a 60%-ot, a megváltozott kapacitás a $C=Q/U$ képlet miatt a feszültséget változtatja (1. képlet). Az 1. képletből látszik, hogy ha a fegyverzetet emeljük, azzal csökken az elrendezés kapacitása, aminek következménye, hogy a feszültség nő. Abban az esetben, ha a másik fegyverzet nem lenne földelve,

ez a feszültségnövekedés a földhöz képest csak közel a fele értéket mutatna, mivel a másik fegyverzet feszültsége is el tudna mozdulni a földhöz, mint viszonyítási ponthoz képest. A földhöz való viszonyítás azért szükséges, mert a kísérlet során a kisülést közel föld potenciálon lévő elektróda, és az iménti eljárás során létrehozott feszültség között hozzuk létre. Így a földelés szerepe kettős. Egyszer a töltések szétválasztása után a töltésleadásban van szerepe, másodszor pedig a csökkenő kapacitás hatására a növekvő feszültség maximalizálásban. Hiszen ha az egyik elektród földelt, az nem változtatja meg sem a kondenzátorban tárolt töltést, se a kapacitás értékét, tehát a földelés miatt valóban maximális feszültséget lehet mérni a fegyverzetek között.

Az elrendezés kapacitásának közelítő értéke kiszámítható a teflon lap ϵ_r relatív permittivitásának ismeretében az alább látható képlet alapján. Innen

$$C = \epsilon * \frac{A}{d}$$

$$C = \frac{8,852 * 10^{-12} * 2,1 * (7,5 * 10^{-2})^2 * \pi}{3 * 10^{-3}} = 109.44 \text{pF}$$

$$C1 = \frac{Q}{U1}, C2 = \frac{Q}{U2} \quad \text{Csökkenő kapacitás}$$

$$C1 * U1 = C2 * U2 \quad \text{Növekvő feszültség}$$

$$U1 = \frac{C2}{C1} * U2$$

1. képlet

jelölések:

ϵ : permittivitása

A: fegyverzet felülete,

d elektródák távolsága,

Q: töltés, C: kapacitás

U: feszültség

9. ELEKTROSTATIKUS KISÜLÉSEK

Az elektrosztatikus kisülések mindig nagy térerősségű környezetből indulnak. Levegőben homogén elektródok között 30 kV/cm az a legkisebb térerősség ahol a kisülés létrejöhet megfelelő környezeti feltételek esetén (páratartalom stb.). A villamos erőtér hatására az úgynevezett startelektronok gyorsulni kezdenek. A mozgási energiájuk az ütközés nélkül megtett szabad úthossz, és a gyorsító térerősség függvénye. Ha az elektron eléri az adott gáz ionizálási energiáját, akkor képes újabb startelektron létrehozására, amely megfelelő mozgási energiára szert téve újabb szabad elektronokat hozhat létre. Ezt a folyamatot ütközési ionizálásnak nevezzük, amelynek törvényeit Townsend vizsgálta először. Ha az átlagos szabad úthossz elég nagy, akkor ez a lavinaszerű folyamat elektronlavinává alakul. Szintén Townsend foglalkozott az elektronlavina kialakulásának törvényszerűségeivel. Mivel a lavina belsejében az elektronok kissé távolodnak egymástól,

ígycsepp alakú lavinaforma jön létre, amelynek a fej részében találhatóak az elektronok, a visszamaradt farok részben pozitív ionok helyezkednek el.

Az ütközési ionizálás során a gerjesztett molekulák, fotonok formájában szétsugározhatják az energiájukat minden irányban, így ionizálhatják azon molekulákat, amelyeknek ionizálási energiája kisebb, mint a foton energiája. Így szekunder lavinák alakulhatnak ki, amelyet ha utolér a primer lavina, a szekunder által hátrahagyott pozitív ionokkal való találkozás során heves ütközéseket eredményez, amely újabb előrevetett startelektronokat hoz létre. Végül elágazó csatornaszerű kisülési kép alakul ki, amit streamer-nek nevezünk. A streamer esetében az ütközési ionizálásnál nagyobb szerepet kap a foto ionizálás. A térerősség lecsökken 30 kV/cm-ről 5 kV/cm-re, az áram viszonylag alacsony, 10^{-8} - 10^{-4} A nagyságrendű, hőmérséklete néhány száz °C. A streamer csatorna hosszának növekedésével nő az árama is. Ha eléri a 0,01 A-t, akkor instabillá válik, az áramerőssége hirtelen 0,2-0,5 A-re nő, és egy fényesebb leader kisüléssé alakul át. A nagyobb áramerősség hatására megnő a hőmérséklet is, amely így 1000 °C fölé növekszik. A kisülési csatorna eltorzítja az elektródok közötti térerősséget, a még át nem ütött részben megnöveli a térerősséget, így a kisülés önmagát erősíti, és a másik elektródáig nem áll meg. A létrejött villamos zárlat paramétereit nem a kisülés, hanem a környező hálózat határozzák meg. Az elektrosztatikus kisülésre jellemző, hogy a felhalmozott töltésmennyiség viszonylag kicsi, amit a kisülés árama gyorsan elfogyaszt. Ha nagyobb kapacitás miatt a felhalmozott töltésmennyiség elég nagy a kisülés eljuthat a villamos ív állapotába is. Amelynél az ívcsatorna hőmérséklete 2000°C fölé van az átmérője nagyobb, mint a szikráé, és a hőmérsékleti ionizálás is szerepet játszik.

9.1. Kisülések osztályozása

A kisülések osztályozását az [1] irodalmi melléklet A3.2-A3.7 pontjai alapján jegyeztem le.

9.1.1. Szikrakisülés

A szikrakisülés két vezető anyag között alakul ki, amelyek lehetnek folyékony vagy szilárd halmazállapotúak. Ezt a kisülést jól látható kisülési csatorna jellemzi, amelyben nagy áramerősség folyik. Szikrakisülés akkor következik be a vezetők között, amikor a köztük lévő elektromos tér meghaladja a levegő átütési szilárdságát. Az átütés függ a vezetők alakjától, és a köztük lévő távolságtól.

Mivel az elektródok vezetők, így a legtöbb töltés, ami rajtuk tárolódott kisül a szikrakisülésben. A legtöbb gyakorlati esetben ez a kisülés semlegesíti a legtöbb tárolt töltést. A kisülési energia a vezető elektróda, és a föld között számítható az alábbi összefüggéssel:

$$W = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2$$

Ahol W : az energia Joule-ban, Q a töltések mennyisége Coulomb-ban U a feszültség Voltban C a kapacitás Faradban.

9.1.2. Korona kisülés

Ezek a kisülések akkor jönnek létre, ha a vezetőknek vannak éles, hegyes, vagy kis sugarú részei. A kisülés ezen formája akkor alakul ki, ha földelt vezető mozog nagy villamos töltéssel rendelkező tárgyak felé, vagy a vezető nagy potenciálra tud emelkedni. (3MV/m fölé). Mivel a térerősség meghaladja a levegő ionizálási energiáját megindul a kisülés, de ez nem terjed messze. Ezen kisülésnek az energiája sokkal kisebb, mint a szikrakisülésé.

9.1.3. Pamos kisülés

Ezek a kisülések akkor jönnek létre, mikor lekerekített földelt vezetők mozognak töltött szigetelt tárgyak felé, illetve ha a térerősség értéke kellően nagy. Ez a jelenség rövid ideig áll fenn, megfelelő körülmények között lehet látni, illetve hallani. A szikrakisüléssel ellentétben ez a kisülés csak kis részét tudja semlegesíteni a töltésnek, és nem létesít kapcsolatot a két tárgy között. Ennek ellenére a kisülés képes begyűjteni a gyúlékony gőzöket/gázokat. A kisülésnek egyenértékű energiája 4 mJ fölött van. Az egyenértékű energia szikrakisülésre való transzformáción alapul gázokban. Ezek az értékek nem hordoznak információt a porokban kialakuló koronakisülések veszélyeit illetően.

9.1.4. Terjedő kisülés

A kisülés ezen formájához jelen kell, hogy legyen egy nagy ellenállású anyagréteg, és egy nagy dielektromos állandójú anyag. Mind a két rétegnek töltöttnek kell lennie, de ellentétes polaritással. A kisülés elektromos kapcsolatot teremt a két réteg között. A kisülés gyakran fényes, fű alakú, és hangos csattanó hanggal jár együtt. Ez a kisülés gyűjti össze a legtöbb töltést a szigetelő felületről.

9.1.5. Villámszerű kisülések

A villámszerű kisülések akkor jönnek létre, amikor töltött felhők és a föld között az elektromos tér erőssége elég nagy a kisülés létrehozásához. Ilyen villámszerű kisüléseket figyeltek meg hatalmas hamufelhőkben vulkánok kitörésekor. Ezek nyilvánvalóan alkalmasak begyűjteni a gyúlékony közegeket, de még nem figyeltek meg ekkora töltött felhőket ipari körülmények között

9.1.6. Porkupac felszínén kialakuló kisülés

Amikor erősen töltött szigetelő porral töltöttek meg silókat vagy nagy konténereket, akkor nagyon nagy töltések képesek felhalmozódni az ömlesztett porban. Ez nagyon nagy elektromos

térerősséghez vezet, az ömlesztet porkupac felszínén. Ilyen kritikus körülmények között, futó kisülés figyelhető meg a felületen. A szükséges feltételek ezen kisülés kialakulásához rendkívül összetettek, befolyásoló tényezők: az ellenállása az ömlesztett pornak, a feltöltő áramlás, a térfogata és a geometriája az ömlesztett pornak, és a részecskék mérete. A feljegyzések szerint azokban a környezetekben, ahol gyúlékony gázok gőzök találhatóak, éghető porokkal, ott ez a kisülésfajta gyújtást eredményezhet. A kisülés maximális energiájának becslésére vonatkozó képlet:

$$W = 5,22 \times D^{3,36} \times d^{1,46}$$

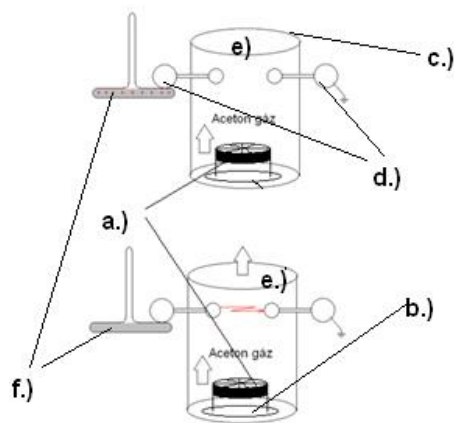
ahol:

W a felső határa az energiának a kisülés során mJ-ban; D az ármérője a földelt vezető silónak méterben; d az átlagos részecske átmérő a porban, milliméterben

10. AZ ACETON GÁZ

A kísérletet az önállólaboratóriumi munkám során kezdtem el, ahol körömlakklemosóval dolgoztam. Ez az anyag F tűzveszélyességi osztályú tűzveszélyes (lobbanáspont $-17...-20$ °C), alacsony forráspontú folyadék, szobahőmérsékleten is erősen párologó anyag, azaz fokozottan figyelni kell a használata során. Az aceton gáz belélegezve fejfájás, kábaság, hányinger, hányás, tüneteket produkálhat, így a kísérlet tesztelése során fokozottan kell ügyelni rá, hogy ne lélegezzük be. Kisebb mennyiségtől nem lesz baja az embernek, de ha órákon át dolgozik az anyaggal, akkor körültekintően kell eljárni. Az acetont a szépségiparban körömlakklemosásra is alkalmazzák, ezért körömlakklemosót alkalmazok a kísérletben. Maga a gáz erősen robbanásveszélyes, a forráspontja 329,4 K, ami 56,3°C, szintelen erősen párologó anyag. Az 5.6. fejezet táblázatából kiolvasható, hogy minimális gyulladási energiája: 0,55 mJ, 127nCtöltéssel begyűjthető, 6,5%-nyi aceton alkalmazása esetén.

Felhasználása a gyakorlatban sokrétű műanyagok készülnek belőle, illetve a vegyipar általános oldószere, tehát olyan anyaggal dolgozom, amely ipari környezetben tényleges veszélyt jelenthet.



4. ábra
Kísérlet elvi elrendezése

A kísérlet elvi elrendezésének elemei: (4. ábra)

- a.) 6 cm-es 24V-os PC hűtőventillátor, aminek a szerepe a gáz mihamarabbi eloszlása, és robbanóképes elegy keverése. Az elrendezés aljára a csövön belülré helyeztem ventillátort, amelyet a rögzítési pontokon áttekert hosszú csavarokkal kialakított lábakkal tartok adott távolságra a párolgó folyadéktól. A ventilátor szerepe a párolgó gáz elkeverése a levegőben.
- b.) párolgó folyadék tartóedény
- c.) 25 cm magas 10 cm külső átmérőjű 5 mm falvastagságú plexi cső
- d.) elektródapárok
- e.) műanyag fedél
- f.) elektrosztatikus töltéseket hordozó fémlap

Az elrendezés nagy előnye, hogy a ventilátor lába csavarokból kialakított emiatt precízen akár milliméter pontosan állítható a ventilátor és a párolgó acetontávolsága.

Mivel maga az acetontávör erősen robbanásveszélyes, ezért különös figyelmet kell fordítani az adagolásra. Ha túl nagy mennyiséggel próbálnám elvégezni a kísérletet, akkor nagy az esélye, hogy esetleg szétveti a plexi csövet, így az adagolás kulcsfontosságú a balesetveszély elkerülése érdekében, illetve a kísérlet pontos reprodukálhatóságára is nagy hangsúlyt igyekeztem fektetni. A folyékony acetont így injekciós fecskendővel adagolom.

11. KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS TESZTELÉSE

A kísérleti elrendezés az alábbi elemekből áll: 25 cm magas 10 cm külső átmérőjű 5 mm falvastagságú plexi cső. Nyeles fémlap, aminek alapja kör és átmérője 15 cm. A teflon lap, amelynek méretei 235×245×3mm (a mérés során nincs jelentősége a pontos méretének, egyetlen szempont, hogy alapterülete nagyobb legyen, mint a mozgatható kör alapú fémlap) fém, téglalap

alapú lemez, amely rövidebbik oldala szintén körülbelül 20 cm kell, hogy legyen, a hosszabbik oldala pedig nyúljon túl a teflon lapon körülbelül 32 cm, hogy földelni lehessen. A teflon, és a fémlap pontos méreteit azért nem közlöm, mert a kísérlet sikeressége nem függ ezektől, így csak a kísérlet reprodukálhatósága érdekében adom meg ezeknek közelítő adatait. A kísérlethez tartozik továbbá 10 cm átmérőjű műanyag fedő, amelynek pereme rápattan a plexi csőre, ezzel zárja le, illetve ad némi fojtást. A cső alján műanyag talp van elhelyezve, amely ki van marva a cső peremének mentén, és ebbe belesúszatható a cső. három furat található a csövön, melyek közül kettő az elektródák tartására szolgál (15 cm magasságban), illetve aharmadik, ami a ventilátor vezetékét vezeti át(5 cm magasságban). Ezeket az 5. ábra-6. ábra mutatja.



5. ábra Plexi cső az elektródákkal és ventilátorral



6. ábra . Mozgatható fémlap (baloldalon), földelt fémlap a teflon szigetelőlappal (jobb oldalon)



Az önálló laboratórium során elkészített, de működésképtelen kísérleti elrendezést módosítottam a fentebb említett ventilátorral, illetve a pontos adagolás érdekében injekciós fecskendőt használtam. A tesztek elején a ventilátor fújási irányát lefelé mutatónak választottam, és 0,2 ml nagyon kis mennyiségű körömlakklemosóval próbálkoztam létrehozni robbanást. A sikertelenséget követően a körömlakklemosót a cső tetején lévő fedél felemelésével, a ventilátorral kifújattam, és a mennyiséget 0,1 milliliterrel növeltem. Az ismételt sikertelenségek után a mennyiséget ezzel a módszerrel 0,5 milliliterig növeltem. Többször elvégeztem ezt a folyamatot, közben változtattam a kisülésnél használt elektródák távolságát. Többszöri sikertelen széria után a ventilátor fújási irányát is megváltoztattam és a tesztek újra elvégeztem. Sikeres elrendezést nem sikerült létrehozni.

12. SIKERTELEN TESZTEK OKÁNAK FELDERÍTÉSE

Az elrendezést Digital Stat-Arc 2 282model típusú térerősség mérő műszerrel, és TINALAB II műszerrel mértem. A térerősség mérő műszerdigitális kijelzőn keresztül teszi lehetővé az éppen mért értékleolvasását, illetve analóg kimenetén keresztül össze lehet kötni más mérőeszközökkel, pl.oszcilloszkóppal.A műszer specifikációjában szerepel, hogy a mérés során akkor ad pontos értéket, ha 1inchre, azaz2.54cm-re van a mérni kívánt felülettől. Ekkor az analóg kimeneten 0-1V tartományban a mért értékkel arányosan feszültséget ad ki. 1V feszültség jelenik meg a kimenetén, ha a mért érték 10 kV/inch SI mértékrendszerben: 3,937 kV/cm. A méréshatárt kétszeresére lehet növelni amennyiben a műszer és a mérendő felület távolságát négyszeresre választom az előbb vázolt elrendezéshez képest. Ebben az esetben a méréshatár 7.874 kV/cm-re adódik. Mint tudjuk homogén elektródaelrendezés esetén a levegőben 1 cm átütéséhez szükséges feszültség 30kV így homogén elektródák között 30 kV/cm térerősség kell, hogy kisülést lehessen létrehozni. Mivel az általam készített elrendezés erősen inhomogén, ezért az elektródák kis sugarának, illetve nagy görbületének köszönhetően sokkal kisebb térerősség esetén is létrejön a kisülés. A méréshez használt eszköz a TINALAB II műszer, amelyrendelkezik oszcilloszkóp üzemmóddal. A műszer két részre tagolható a hardver részre, amely magát a mérést végzi, illetve a szoftver részre, amelyből be tudjuk állítani, hogy a hardver milyen üzemmódban milyen méréshatárok között, dolgozzon, illetve ha az adott üzemmód lehetővé teszi, hogy a mérés eredményét is el lehessen menteni.

12.1. TINALAB II szoftver és hardver

A TINALAB II műszer multi-funkciós mérőeszköz. Többféle üzemmódban tud működni. Amelyek lehetnek Function Generator, Oscilloscope, Signal Analyzer, Spectrum Analyzer, Logic Analyzer, Digital Signal Generator, Voltmeter, XY Recorder. A műszer attól függően működik egyik vagy másik módban, hogy a számítógépen mit választ ki a felhasználó7. ábra.

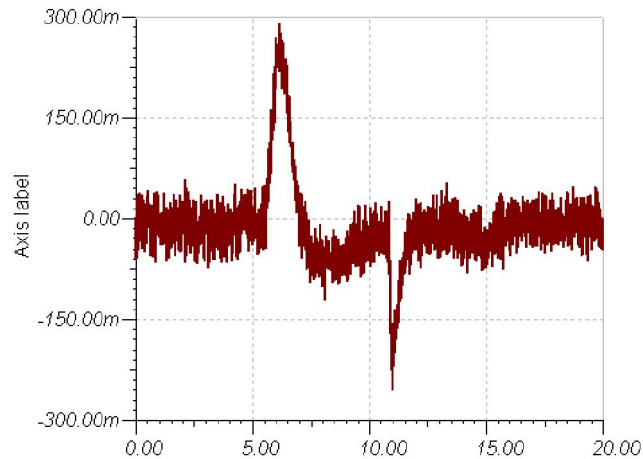


7. ábra
TINALAB II műszer szoftveres felülete

A mérési elrendezés megtervezésénél elsődleges szempont volt számomra, hogy lássam, mi zajlik le az elektródák között időtartományban. Így a térerősség mérő műszerrel a mozgatható fém lap térerősségét mérem. Az itt kapott adatokból a feltöltődés minőségi paramétereit, illetve a kisülés pillanatában fennálló térerősséget is meg lehet tekinteni az oszcilloszkóp képernyőjén. A kísérlet során ez a fémlap kontaktusba kerül a két elektród egyikével, amelyek között a sztatikus kisülést létre szeretném hozni. Így a mérés során mérhető az egyik elektródon kialakuló térerősség is, a másik elektródot a kezemmel fogom közel állandó potenciálon tartani, hiszen az emberi test kapacitása elég nagy ahhoz, hogy a fémelektrod potenciálja ne tudjon lebegni. Megoldás lehetne a másik elektród földelése is, azonban ezt a módszert azért nem választottam, mert így ha a fényviszonyok miatt magát a kisülést nem is látom szabad szemmel, annak létrejöttét érzékelni tudom. A másik elektród így föld potenciálon lesz, de legalábbis ahhoz nagyon közelin. TINALAB II műszernek az oszcilloszkóp üzemmódját használom. Mivel nem periodikus jelet vizsgálok, így ezt freerun üzemmódban kell működtetni. A mérés során 1Vpp-nél nagyobb feszültséget nem mérhetünk, hiszen a térerősség-mérő műszer nem ad ki ennél nagyobb értéket. 500mV/Div esetén az ábra biztosan a képernyőn lesz, és nem lóg le róla. Sajnos mivel négy osztás látható az oszcilloszkóp kijelzőjén, ezért 200mV/Div nem alkalmazható, mivel az csak 800mV maximális kitérésig terjed. Az időosztást úgy kell megválasztani, hogy a teljes mérés garantáltan benne legyen. Ennek megfelelően másodperc nagyságrendű osztást kell választani. Aműszernek a két legnagyobb beállítható értéke 10s, 5s. Ezek megfelelnek a mérés elvégzéséhez, hiszen ennyi idő elegendő ahhoz, hogy sikeres kísérlet egy periódusát végrehajtsam. A tesztek során a környezeti bizonytalanságok miatt célszerű a nagyobb 10 s-os mérési tartományt használni, mert így biztosabban mérhetünk sikeres robbanást.

13. A MÉRÉS ÉS ÉRTÉKELÉSE

Az előző fejezetben leírt mérést összeállítottam, és az alább látható eredményt kaptam (8. ábra). A mért eredmény az elvárásoktól mesze elmaradt, ezért a mérés vízszintesosztást csökkentettem.

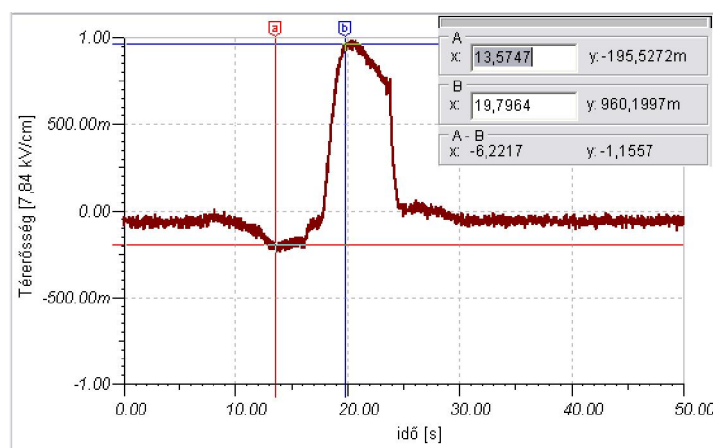


8. ábra

Csatoló kondenzátorral készített hibás mérés

Rövid keresgélés után megtaláltam a hiba forrását. Nem figyeltem kellőképpen az oszcilloszkóp beállítására, ezért a váltakozó áramú méréseknél használatos csatoló kondenzátoron keresztül csatlakoztam a mérési pontra. Az ábrán azt látjuk, ahogyan AC módban az elektrosztatikus térerősség mérő műszer jele feltölti, illetve kisüti a csatoló kondenzátort. Természetesen ez az eredmény értékelhetetlen számunkra.

A mérésben a hibát kijavítva a következő eredményt mértem (9. ábra).



9. ábra

Csatoló kondenzátor nélkül mérthelyes eredmény

A mérés során, 5 mp volt a vízszintes tengelyen az időosztás.

Az ábráról könnyen leolvasható mi történt a kísérlet során. Kezdetben mikor még nem tettem le a töltött teflon szigetelőre a fémlapot, akkor a térerőssége közel 0 volt. Ez az elvárásoknak megfelel, hiszen a magára hagyott vezető előbb utóbb elveszti sztatikus töltését, mivel a levegő nem ideális szigetelő, és töltések jelenléte nélkül a térerősség értéke 0. –A kísérlet végén szintén 0-nak kell lennie a térerősségnek, hiszen szikrakisülés formájában semlegesítjük a vizsgált vezető töltését.(lásd: Szikrakisülés fejezet)

Az A kurzor értékénél, (1,357mp) már megtörtént a töltések szétválása. Mivel a mérőműszer a vezető felső felét mérte, ezért az ábrán láthatjuk a szétvált töltések negatív részét. Bár ekkor még töltésleadásról nem beszélhetünk, mégis a „0” térerősségtől eltérő értéket mérhetünk. Ezután jön a földelés szakasza, amely az ábrán igen rövid ideig látszik, de egy pillanatra a rendszer térerőssége „0” értéket mutat. Ezután az emelés hatására csökkenő kapacitás miatt megnő a feszültség. Mivel a feszültség konzervatív erőterben számolható a térerősség vonal-menti integráljaként. Így a térerősség növekedése magával vonja a feszültség növekedését is. Ez a folyamat 1,979 másodpercnél éri el a maximumát, ami $960,1197 \cdot 10^{-3} \cdot 7,874 \text{ kV/cm} = 7.52 \text{ kV/cm}$. A maximum elérése után az alatt az idő alatt, míg a fémlapot eljuttattam az elektródáig a térerősség értéke folyamatosan csökkent. Majd mikor elérte az elektródát a létrejövő kisülés elvezette az összes töltést a rendszerből, ezzel a térerősség értéke ismét „0”-ra csökkent. Azonban megfigyelhető, hogy a csökkenés 24,6606mp-ig folyamatos volt, majd ezután rövid időre a térerősség nem csökkent tovább. Ebből arra következtettek, hogy a kisülés rövid időre belépett a streamer kisülés fázisába. Ennek pontosabb kiértékelésére a mért eredmények zajossága miatt nincs lehetőség. Az időtartama ennek az állapotnak igen rövid 0,4 mp. Ez nem is meglepő, hiszen korlátozott mennyiségű töltés van a rendszeren, amit a streamer kisülés árama gyorsan elfogyaszt. Az elrendezésben annyi töltés nincs, hogy a leader kisülés állapotába lépjen. Tehát az elrendezés a fizikai modell alapján működött.

Mivel a mérési eredmények alapján valószínűsíthető, hogy a létrejött kisülés belépett a streamer állapotba, aminek a hőmérséklete az 9. elektrosztatikus kisülés fejezetben tárgyalt elmélet alapján néhány száz °C hőmérsékletű, ezért a létrehozott kisülést alkalmasnak lehet ítélni arra, hogy az aceton gázt berobbantsa. A tesztek alatt maximális hosszúságú kisülést többször is létre hoztam, amelynek hossza 1-1,5 cm közé esett, ezeket több esetben szabad szemmel is látni lehetett. Ez szintén megerősíti a feltételezést, hogy a kialakuló kisülés minősége megfelel a kísérletnek. Továbbá az [1]. irodalmi hivatkozás 12. fejezetében (96. oldal) a bevezetésből az is kiderül, hogy kísérleteket végeztek annak kiderítésére, hogy az emberek milyen energiájú kisüléseket képesek érzékelni. A hivatkozott anyag szerint a legkisebb energiájú kisülés, érzékelt az 1mJ,-10mJ energiájú. Amíg másoknál pár száz mJ energiájú kisülés kellett, hogy izommozgást

tapasztaljanak.1000mJ energiájú kisülést pedig mindenki kellemetlennek érzett. Mivel a mérési elrendezést úgy állítottam össze, hogy az egyik elektródát fogtam a kisülés alatt abból a célból, hogy annak létrejöttéről megbizonyosodjak, így kijelenthető hogy a kisülés energiája biztosan 1mJ felett van. Ami legrosszabb esetben is majdnem kétszeresen haladja meg az optimális keverék begyűjtéséhez szükséges energiát. Tehát kijelenthető, hogy a létrehozott elektrosztatikus kisülés alkalmas aceton gáz begyűjtására.

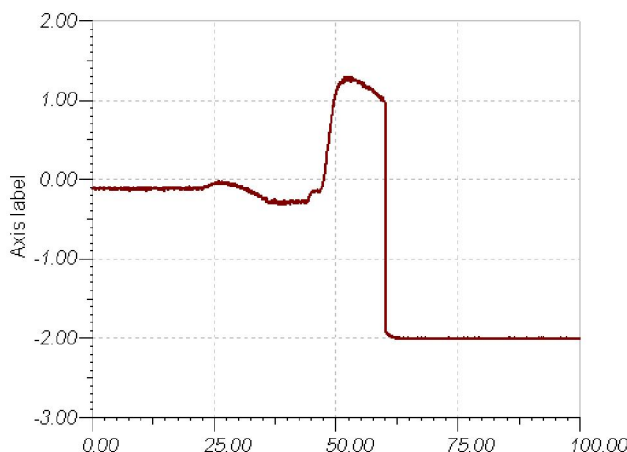
14. KÍSÉRLET HIBÁJÁNAK KIJAVÍTÁSA

Mivel a mérések nem mutatták meg mi lehet a hibája az elrendezésnek, ezért arra a következtetésre jutottam, hogy a körömlakklemosó, amit használok, esetleg nem képez olyan robbanó elegyet, amit kisülés be tudna gyűjtani. A körömlakklemosót azért alkalmaztam, mert tudom, hogy a szépségiparban az acetont, mint körömlakklemosót használják. Sajnos az a feltételezés, hogy tiszta acetont használnak körömlakklemosónakhibás volt, így tiszta aceton beszerzése mellett döntöttem a kísérlet működése érdekében.

15. MŰKÖDŐKÉPES ELRENDEZÉS TESZTELÉSE, DOKUMENTÁLÁSA

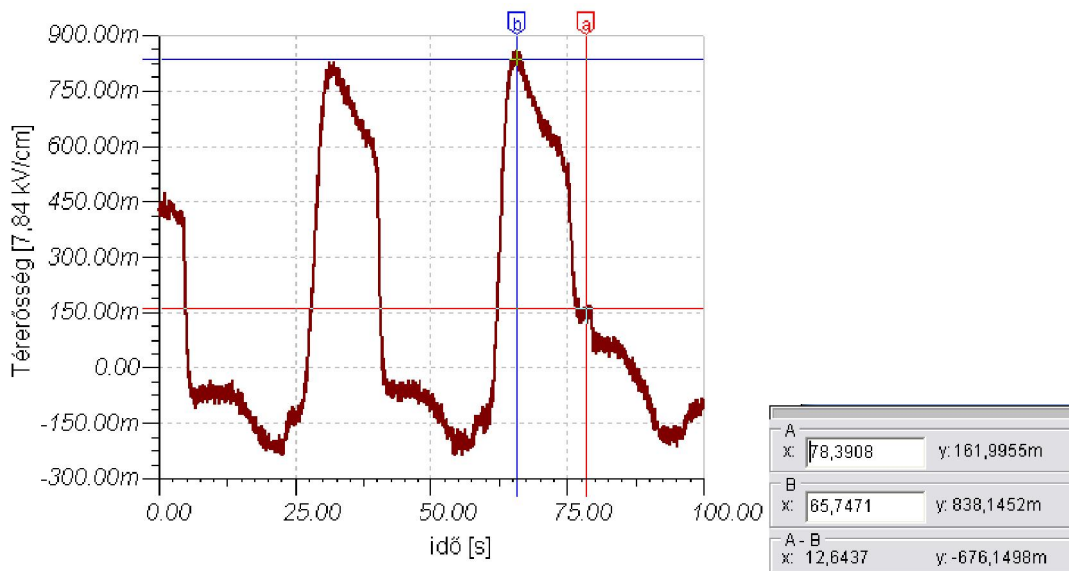
A beszerzett tiszta acetonnal néhány próbálkozás után működőképesé vált az elrendezés. Megkezdtem a tesztelését, mely során arra voltam kíváncsi, hogy mi az a legkisebb mennyiségű aceton, amelyet a kisülés be tud gyűjtani adott elektródátávolság mellett. Mivel a balesetek elkerülése a legfontosabb ilyen munkák során, így a 0,5 ml acetonnál többet nem használtam fel. Ekkora mennyiségnél már komoly méretű lángok csaptak ki a cső tetején egy-egy sikeres próbálkozás után, amelyet erős hanghatás is kísért. A tesztek során 0,2 ml-nél kevesebb anyaggal nem volt sikeres teszt, és az is nyilvánvalóvá vált, hogy a ventilátornak felfelé kell fújni, ugyanis lefelé fújó ventilátorral nagyon ritkán volt csak sikeres teszt. Az elrendezés tesztelése során ismételten összeállítottam a mérést. A TINALAB II szoftver, és hardver nem működött együtt megfelelően. Gyakran mikor sikerült létrehozni sikeres tesztet úgy, hogy az összeállított mérési elrendezés elindítás után leállt, vagy kifagyott, ezért nem kaptam vissza mért adatokat. Ekkor nem volt elég leállítani a program kezelőfelületén lévő stop gombbal, majd újraindítani, hanem gyakran le kellett választani magát a műszert, és ismét beállítani mindent. Többször az is előfordult, hogy újra kellett telepíteni a drivert, mert ismeretlen okból az törlődött. Ezen hibák okára nem sikerült rájönni, de a mérést jelentősen megnehezítette. Többször előfordult, hogy olyan értékeket mértem,

ami egyértelműen értelmetlen eredményeket adott (8. ábra), és azután a műszer ismételt újraindítást igényelt.



10. ábra Hibás mérési eredmény

Az ábrán látható mérés eleinte szépen mutatta mi történt a teszt közben, ám a kisülés után olyan értéket mutat a műszer, amely több szempontból sem lehetséges az összeállított mérési elrendezésben. Mivel nincs külső tápforrás, és a második elektróda közel „0” potenciálban van, így bizonyosan nem mérhetünk az ábrán látható képet. Elektrosztatikus elrendezésről lévén szó nem lehetséges spontán módon negatív töltéshordozó felhalmozódás vezetőben, és ami bizonyos ez az állapot nem állandósulhat.



11. ábra Aceton gáz berobbantásának mérése

A tesztelés során a folyamatos próbálkozásoknak köszönhetően egy mérési időintervallumba több kisülés is belefér, mint azt a 11. ábra mutatja. 10 mp alatt 2-3 kisülés is megjeleníthető az oszcilloszkóp kijelzőjén. A mérés során ez esetben a pontosabb kiértékelés érdekében kisebb függőleges osztást, 150mv/Div-et alkalmaztam, és az oszcilloszkóp offset funkciójával a képet negatív irányba toltam.

A11. ábrán látható mérés tanúbizonysága annak, hogy a kisülések nem minden esetben azonosak. Az első két kisülés esetén láthatóan nem lép be a streamer kisülés állapotába. Míg a harmadik esetben az Akurzornál jól látszik, hogy a kisülés térerőssége esik, majd egy ponton a folyamat megáll, és rövid ideig 1.275 kV/cm értéken maradt, majd ezután „0” értékre esik. Ez a jelenség megegyezik a 9. elektrosztatikus kisülések fejezetben tárgyalt streamer kisüléssel. A térerőssége alatta marad az 5 kV/cm-nek, de az ott feltüntetett értékek homogén elektródaelrendezésre érvényesek, ami a mérésben nem állt fenn, hiszen inhomogén erőterekkel dolgozom.

A11. ábrából továbbá az is következik, hogy a kísérlet sikeressége erősen függ attól, hogy milyen mennyiségű töltést sikerül felhalmozni az elektródán. Energia kiszámításának képletében is szerepel a Q töltés. Tehát a töltésmennyisége valóban közvetlen szerepet játszik a minimális gyulladási energia létrehozásában. (Lásd 9.1.1 fejezet)

15.1. Mérési elrendezés dokumentálása különböző körülmények között.

A tesztelés napján az időjárás miatt a levegő páratartalma magasabb volt az előző teszteknél, emiatt a kísérlet nem működött. Próbálkoztam nagyobb mennyiségű acetonnal, ami 0,4-0,5 ml volt. Ez nem oldotta meg a problémát. Mivel a gondot a magasabb páratartalom jelentette, ezért úgy döntöttem, hogy hajszárítóval megpróbálom kiszárítani a csőben a levegőt. A hajszárítóval több percen keresztül szárítottam a cső belsejét (a hajszárító hőkioldója állította le a gépet), majd ismét 0,3-0,5 ml acetonnal próbálkoztam, de a siker elmaradt. Több szárítási próbálkozás után végül 0,4 ml acetonnal a kísérlet sikeres lett. További tapasztalat, hogy magasabb páratartalom esetén a csövet sikeres kísérlet után azonnal vissza kell zárni. Ugyanis maga a sikeres kísérlet is jelentős hőt termel, és ezzel is szárítja a levegőt. Ha egyszer az eredmény sikeres, a gyors csőlezárás a következő próbálkozás sikerének esélyét nagyban növeli. A mérés során az aceton mennyiségével 0,2-0,5 ml között kell maradni, annál kisebb mennyiséggel a próbálkozás nem volt sikeres egyetlen alkalommal sem.

A hét következő napjain a relatív páratartalom ingadozott a magasnak ítélt 50-60% és az alacsonynak tartott 30-0% között, így lehetőségem nyílt többféle körülmény között is tesztelni az elrendezést. A mérések során vizsgáltam az aceton mennyiségét, azt hogy hányadik próbálkozásig jutottam, amíg sikeres eredményt kaptam, vagy feladtam, az elektródák távolságát, a ventilátor fújási irányát, az időtartamot ameddig a mérés tartott, a hőmérsékletet és a páratartalmat. A 3. táblázat mutatja a mért eredményeket. Ebből jól látható, hogy a sikerességet több dolog is befolyásolta. A ventilátor fújási irányát először lefelé irányítottam. Ezzel az elrendezéssel 3 mérési sorozatot próbáltam végigmérni 5 mm-es elektródatávolsággal, a mérés sikertelen lett minden alkalommal. Miután felfelé fordítottam a ventilátort a siker azonnal bekövetkezett, így kétség sem fér ahhoz, hogy a sikertelenség oka a lefelé fújó ventilátor volt. Pár mérést végeztem ugyanezzel az

elrendezéssel, amiből arra lehet következtetni, hogy a sikeresség nem a próbálkozás számától függ, mint ahogy először gondoltam, hanem az eltelt időtartamtól. 20 mp alatt soha nem sikerült sikeres mérést produkálni, ezt elsősorban annak tudtam be, hogy idő kell az acetonek elpárolgásához, illetve annak elkeveredéséhez.

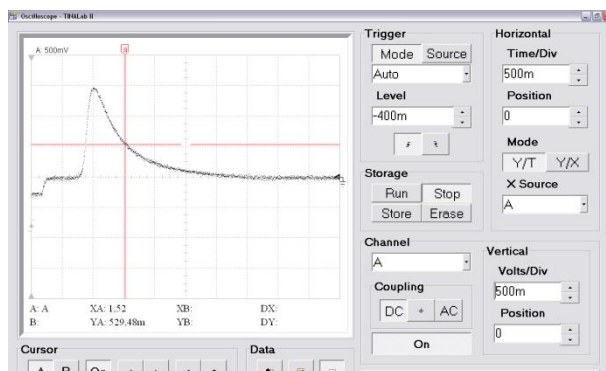
3.táblázat Mért adatok

Megjegyzés	Aceton mennyisége (ml)	Próbálkozás szám	Távolság (mm)	Ventilátor fújási iránya	Teszt időtartama (perc: mp)	Relatív páratartalom	Hőmérséklet
sikertelen	0,3	80	5	↓	5:03	30%	27°C
sikertelen	0,3	80	5	↓	4:05	30%	27°C
sikertelen	0,3	80	5	↓	3:55	30%	27°C
sikeres	0,3	1	5	↑	0:29	30%	27°C
sikeres	0,3	1	5	↑	0:24	30%	27°C
sikeres	0,3	4	5	↑	0:25	30%	27°C
sikeres	0,2	1	5	↑	0:21	30%	27°C
sikeres	0,2	3	5	↑	0:20	30%	27°C
sikeres	0,2	10	5	↑	0:39	30%	27°C
sikertelen	0,2	50	10	↑	3:04	30%	27°C
sikertelen	0,2	50	10	↑	2:40	30%	27°C
sikertelen	0,2	50	10	↑	2:34	30%	27°C
sikeres	0,2	4	8	↑	0:30	30%	27°C
sikeres	0,2	10	8	↑	0:41	30%	27°C
sikeres	0,2	2	8	↑	0:22	30%	27°C
sikertelen	0,2	50	3	↑	2:20	30%	27°C
sikertelen	0,2	50	3	↑	2:03	30%	27°C
sikertelen	0,2	50	3	↑	2:15	30%	27°C
sikertelen	0,3	52	5	↑	2:55	50%	25°C
sikertelen	0,3	40	5	↑	1:42	50%	25°C
sikeres	0,4	1	5	↑	0:30	50%	25°C
sikeres	0,4	1	5	↑	1:30	50%	25°C
sikeres	0,4	1	5	↑	0:30	50%	25°C
sikeres	0,4	3	5	↑	0:45	50%	25°C
sikeres	0,3	1	5	↑	0:43	50%	25°C
sikeres	0,3	2	5	↑	0:35	50%	25°C

Ezt követően próbáltam meghatározni olyan acetonek mennyiségét, amit minimálisnak nevezhetek az elrendezésben, és az alacsony páratartalmú környezetben. Így a mennyiséget 0,2 ml-re csökkentettem. A kísérlet így is sikeres volt, bár a próbálkozás számából is látszik, hogy sokkal

bizonytalanabbá vált. Az elektródatávolság növelésével teljes sikertelenség következett be ilyen mennyiségű acetonnal. A távolság kismértékű növelésével (8mm) a kísérlet még sikeresen elvégezhető, de a bizonytalanság tovább fokozódott. A távolság csökkentése után (3mm) a tesztek során nem kaptam sikeres végkifejletet. Ennél kisebb mennyiségű acetonnal részint azért nem próbálkoztam, mert a kísérlet során a 0,2 ml is éppen hogy lelökte a tetejét a csőnek, illetve a 2 ml-es fecskendővel 0,1 ml folyadékot kimérni már csak nagy relatív hibával lehet. Az utolsó mérés azt mutatja, hogy magasabb páratartalom esetén nagyobb mennyiségű acetonra van szükség ahhoz, hogy sikeres eredményt kapjunk, ám ahogy a levegő szárad a hajszárító, illetve a sikeres mérések miatt, úgy az aceton mennyiségét némiképp csökkenteni lehet.

Természetesen az itt feltüntetett méréseknél lényegesen többet végeztem el, de minden próbálkozást nem dokumentáltam, illetve túl sok azonosnak tekinthető mérési eredmény feltüntetésének sem látom értelmét. A mérési adatok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a kísérletet legcélszerűbb 5 mm-es elektródatávolsággal elvégezni, a kísérlethez használt aceton mennyisége a páratartalom függvényében csökkenthető, de magasabb páratartalom esetén is 0,4 ml acetonnal, illetve hajszárítóval sikeres mérés hozható létre. 80%-os páratartalomban végzett mérésekről ad információt a 12. ábra. Itt jól látszik, hogy maga a kisülés létrehozása ebben a környezetben nem lehetséges. A mozgatható fémlemezről a töltések olyan gyorsan tűnnek el, hogy mire azelektrodákhoz érintem már nincs rajta elég töltés a kisülés létrehozásához. Az ábráról továbbá leolvasható, hogy az A mérési pontban 1,52 másodperccel a mérés megkezdése után a töltések már $1/e$ részükre csökkentek. Az ábráról az is látszik, hogy ez az 1,5 másodperc három osztásnak felel meg az oszcilloszkóp kijelzőjén, így a maximum értéke a térerősségnek 0,5 másodperccel ezelőtt az időpont előtt volt. Ha ezt az ábrát összehasonlítjuk a 9. ábra képével –ugyanaz a többi mérési eredményt feltüntető ábrából is látszik, csak a 9.-en a legkönnyebb megállapítani-, akkor azt láthatjuk, hogy körülbelül ennyi idő kell ahhoz, hogy a kísérletet végző személy az elektródáig juttassa a töltéseket. A 4.1 pontból látszik, hogy az $1/e$ -ig eltelt idő a töltések relaxációs ideje, és ezen a szinten már nem kell tartani a kisülések létrejöttétől. Ezt a kísérletek is igazolták, ekkora páratartalom mellett nem lehetett kisülést létrehozni.

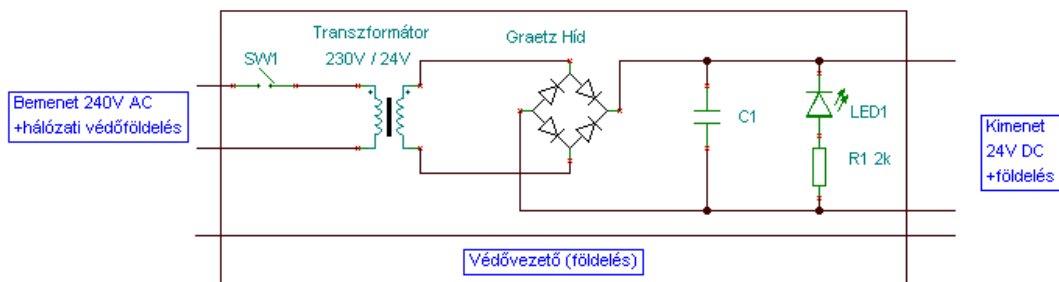


12. ábra

Elektrosztatikus feltöltődés, és kisülés 80%-os relatív páratartalomban

16. AZ ELRENDEZÉS HORDOZHATÓVÁ TÉTELE

A mérési elrendezés 50-60%-os relatív páratartalomban is működőképes, de magának a kísérletnek mobilnak kell lennie, hogy a kísérlet demonstrációs jellegét elérje. Hiszen laboratóriumban elvégzett kísérlet gyakran számokban, és mért értékekben jut el azokhoz, akik ilyen körülmények között dolgoznak. Sokkal jobban érzékelteti az emberben a veszély nagyságát az a tény, hogy ha az elrendezés mobil, és kis túlzással bárhol bármikor elvégezhető. A laboratóriumban eddig egy földelt fémtestre csatlakoztam krokodil csipesszel, és így tudtam földelést kialakítani az elrendezés számára, illetve a PC ventilátort is használt 24V is tápforrásról hajtottam. A teljes mobilitás eléréséhez olyan tápegységet kellett találnom, amelynek van 1 db 24V-os kimenete, illetve 1 db földelő kimenete. Ilyen tápegységet a kereskedelmi forgalomban nem találtam, ezért saját tápegység megépítése mellett döntöttem. Olyan konfigurációt terveztem, amely kellően robosztus, és a várható terhelést biztosan elbírja. Ezért választásom egy transzformátoros megoldásra esett, amelyet kétutas egyenirányítással teszek a ventilátor számára egyenfeszültséggé. Az esetleges feszültségingadozásokat, amik fordulatszám ingadozáshoz vezethetnek egy nagyobb simító kondenzátorral szüntetem meg. A hálózat, vagy a környező villamosberendezések nagyfrekvenciás zajai nincsenek hatással a PC ventilátorra, így további szűrő kondenzátorokra nincs szükség. A hálózati csatlakozást számítógép tápkábelrel, illetve ahhoz tartozó csatlakozóval valósítottam meg. Az alkatrészeket próba NYÁK panelen állítottam össze, illetve a későbbiekben erre forrasztom fel a végleges kivitel is. A földelést pedig a csatlakozó, földelő bemenetével kötöttem össze közvetlenül, így a földelés a hálózati csatlakozó védőföldjével van közvetlenül összekötve. A kapcsolat elvi felépítését a 13. ábra mutatja.



13. ábra
Tápegység kapcsolásának elvi rajza

17. KAPOTT EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Munkám során igyekeztem laboratóriumi körülmények között olyan viszonyokat teremteni, amelyek ténylegesen előfordulhatnak ipari környezetben, ezzel is valós veszélyekre hívni fel a figyelmet. Mint azt a [4] irodalmi hivatkozásból is olvashatjuk az aceton igen veszélyes anyag. A lobbanáspontja nagyon alacsony, hasonlóan a forráspontjához. Ennek következtében erősen illékony anyag. Tárolása során fokozottan kell figyelni a párologó gázaira, gőzeire. Ilyen közegben az inert gázos védelem adhat kellő biztonságot. Azonban pillanatok alatt ismét veszélyessé válhat, ha valamilyen okból levegővel keveredik. Ennek oka lehet az üzemszerű használat során a tárolóval végzett folyamatok sokasága, pl. áttöltés, egyéb műveletek. Azon a ponton, ahol a túltelített aceton gáz levegővel képes keveredni nagy kis elektrosztatikus kisülés is be tudja robbantani az elegyet. Ezzel a kísérlettel szeretném felhívni a figyelmet az adott területen kötelező védőeszközök használatának fontosságára. A kísérletem során ugyanis nem hoztam létre nagy térerősséget, homogén elektródák között az általam létrehozott villamos tér nem tudott volna kisülést létrehozni. Továbbá az elrendezéssel létrehozott sikertelen kísérletek meglátásom szerint legalább annyira fontosak lehetnek a robbanásveszélyes környezetben dolgozók oktatásában, mint a sikeresek. Nagyon jó példa erre a nagy, közel 80%-os páratartalomban végzett mérés, amely során egyértelműen megmutatkoznak a magas páratartalom jótékony hatásai.

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra	Minimális gyulladási energia, és gyúlékony anyag koncentráció.....	9
2. ábra	Az elektrosztatikus feltöltődéshez használt eszköz elvi modellje	14
3. ábra	Töltések szétválasztása	15
4. ábra	Kísérlet elvi elrendezése	20
5. ábra	Plexi cső az elektródákkal és ventilátorral.....	21
6. ábra	Mozgatható fémlap, földelt fémlap a teflon szigetelőlappal.....	21
7. ábra	TINALAB II műszer szoftveres felülete	23
8. ábra	Csatoló kondenzátorral készített hibás mérés	24
9. ábra	Csatoló kondenzátor nélkül mérthelyes eredmény.....	24
10. ábra	Hibás mérési eredmény	27
11. ábra	Aceton gáz berobbantásának mérése.....	27
12. ábra	Elektrosztatikus feltöltődés, és kisülés 80%-os relatív páratartalomban.....	31
13. ábra	Tápegység kapcsolásának elvi rajza.....	32

TÁBLÁZATOK

1.táblázat	Tárgyak osztályozása ellenállás alapján	6
2.táblázat	Legkisebb Gyújtási Energia, legkisebb Gyújtási Töltés, optimális keverék	11
3.táblázat	Mért adatok	29

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Future IEC 60079- 32- 1 TS Ed.1.0: Explosive atmospheres – Part 32- 1: Electrostatic hazards, Guidance -- Technical Specification (2011- 07- 14)
- [2] Wikipedia Roland-malom (Bréma) [http://hu.wikipedia.org/wiki/Roland-malom_\(Bréma\)](http://hu.wikipedia.org/wiki/Roland-malom_(Bréma))
- [3] MSZ 16040/2-77 szabvány
- [4] Wikipedia Aceton <http://hu.wikipedia.org/wiki/Aceton>