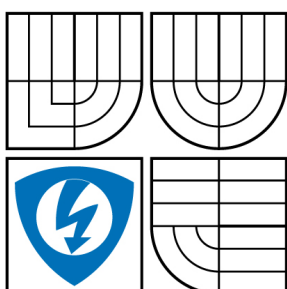


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## TEORETICKO - PRAKTICKÉ PROBLÉMY LEVITACE

THEORETICAL - PRACTICAL VIEW OF THE LEVITATION OF THE LIFTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MATEJ BUDAY

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

RNDr. VLADIMÍR ZDRAŽIL, Ph.D.

BRNO 2008



## A n o t á c i a

Problematika levitácie a javy s ňou spojené sa stávajú veľkým trendom novodobej fyziky. Ich skúmanie ale vyžaduje precíznosť a trpezlivosť so zdanlivými neúspechmi. Konkrétnym predstaviteľom teórie, ktorú skúmame my, je lifter a jeho levitovanie v elektrostatickom poli. Vplyvom privedeného vysokého napätia na lifter dôjde k ionizácii vzduchu, v oblasti okolo kladnej elektródy tvorenej tenkým drôtikom je viditeľný oblak plazmy. Pri správnej veľkosti napájacieho napätia a konštrukcie liftra začne lifter levitovať vo vzniknutom elektrostatickom poli.

**Kľúčové slová:** lifter, levitácia, ionizácia, plasma, elektrostatické pole, zdroj vysokého napätia

## **A b s t r a c t**

Levitation and its effects becomes a huge trend of modern physics. It is very important to be accurate and patient in the research. Representative of the theory, which we are examining, is a lifter and its levitation in electrostatic field. Air ionization is produced by high voltage connected to the lifter's electrodes and a beam of plasma will surround a thin wire electrode. The levitation effect will appear, if there is right magnitude of electric field intensity and right method of lifter construction.

**Keywords :** lifter, levitation, ionization, plasma, electrostatic field, HV supply

## **Bibliografická citácia**

BUDAY, Matej. Teoreticko – praktické problémy levitace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. s., příloh. RNDr. Vladimír Zdražil, Ph.D.

## **P r o h l á š e n í**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Teoreticko-praktické problémy levitace" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce (RNDr. Vladimír Zdražil, Ph.D.) a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne:

Podpis:

## **P o d ě a k o v a n í e**

Týmto by som chcel poďakovať nášmu vedúcemu bakalárskej práce RNDr. Vladimírovi Zdražilovi, Ph.D. ako i Ing. Michalovi Raškovi, za všetky cenné rady a pomoc. Ďalej ďakujem pánovi RNDr. Pavelovi Dobisovi, CSc., pánovi doc. Ing. Václavovi Jirsíkovi, CSc. a pánovi doc. Ing. Lubomírovi Grmelovi, CSc., vďaka ktorým sme mohli začať s výskumom levitácie a bolo nám uznané zadanie bakalárskej práce.

Tiež by som chcel poďakovať pánovi doc. RNDr. Františkovi Krčmovi, Ph.D. (Ústav fyzikální a spotřební chemie, FCH) za sprístupnenie a dozor pri práci z vysokonapäťovým zdrojom. Tiež za sprístupnenie priestorov pre vlastné merania, pre zapožičanie analytických váh ako i sprístupnenie tekutého dusíka pre meranie v plynach rôzneho zloženia. Tiež za jeho odborné rady pri problémoch s meraniami.

Touto cestou by som chcel poďakovať i Ing. Zdenkovi Buřivalovi, CSc. (Ústav elektrotechnologie), ktorý sa s nami podelil o jeho skúsenosti s ionizovaným vzduchom a jeho vplyve na ľudský organizmus a zapožičal nám vysokonapäťový voltmeter.

V Brne dňa:

Podpis:

|                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                                                                                               | <b>11</b> |
| <b>2. NÁVRHY TESTOVACÍCH MODELOV LIFTROV.....</b>                                                                                  | <b>12</b> |
| 2.1 Základné typy liftrov.....                                                                                                     | 12        |
| 2.2 Konštrukcie liftrov zložené zo základných tvarov liftrov.....                                                                  | 13        |
| 2.2.1 Radenie liftrov do poschodí.....                                                                                             | 14        |
| 2.3 Návrhy konštrukcií liftrov podľa potreby merania .....                                                                         | 15        |
| 2.3.1 Meranie závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia pri použití rôznych konštrukcií a rôzneho zaťaženia liftra ..... | 15        |
| 2.3.2 Zabezpečenie vše smerového pohybu liftra.....                                                                                | 18        |
| <b>3. PROBLEMATIKA VLASTNÉHO MERANIA S LIFTROM.....</b>                                                                            | <b>21</b> |
| 3.1 Meranie závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia pri rôznej konštrukcii a rôznom zaťažení liftra .....              | 21        |
| 3.1.1 Určenie hmotnosti liftrov L1 až L5 .....                                                                                     | 22        |
| 3.1.2 Meranie z liftrami L1 až L5.....                                                                                             | 26        |
| 3.1.3 Meranie z liftrami C1 až C3 .....                                                                                            | 30        |
| 3.2 Meranie závislosti sily zdvihu na veľkosti napätia pre lifter v plynch rôzneho zloženia .....                                  | 46        |
| 3.2.1 Usporiadanie meracieho pracoviska .....                                                                                      | 46        |
| 3.2.2 Problémy pri práci s dusíkom .....                                                                                           | 47        |
| 3.2.3 Vlastné meranie s liftrom B1 .....                                                                                           | 48        |
| 3.2.4 Dosiahnuté výsledky.....                                                                                                     | 54        |
| <b>4. BEZPEČNOSŤ ZDRAVIA PRI PRÁCI S LIFTROM.....</b>                                                                              | <b>55</b> |
| 4.1 Nežiaduce vplyvy ionizácie .....                                                                                               | 55        |
| 4.1.1 Možný dopad na ľudský organizmus.....                                                                                        | 56        |
| 4.2 Žiaduce vplyvy ionizácie .....                                                                                                 | 57        |
| 4.3 Návrh metód pre zabránenie styku človeka s ionizovaným vzduchom .....                                                          | 57        |
| 4.3.1 Rekombinačná sieť napájaná zdrojom jednosmerného nízkeho napätia .....                                                       | 57        |
| 4.3.2 Rekombinačná sieť vodivo spojená priamo so zemským povrchom .....                                                            | 58        |
| 4.3.3 Zamedzenie inhalácie škodlivých zlúčenín NO <sub>x</sub> a O <sub>3</sub> človekom pomocou ochranného pásma .....            | 59        |



|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.4 Izolovanie líftra od okolitého prostredia pomocou boxu.....                     | 60        |
| 4.4 Bezpečnosť pri práci so zdrojom jednosmerného napätia o veľkosti<br>do 50kV ..... | 61        |
| <b>5. ZÁVER.....</b>                                                                  | <b>62</b> |
| <b>6. POUŽITÁ LITERATÚRA .....</b>                                                    | <b>64</b> |

## **ZOZNAM OBRÁZKOV**

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázok 2.1: Základný tvar liftra.....                                                                                                                                 | 12 |
| Obrázok 2.2: Rozmery konštrukcie liftra v tvare trojuholníka .....                                                                                                     | 13 |
| Obrázok 2.3: Princíp zloženej konštrukcie .....                                                                                                                        | 14 |
| Obrázok 2.4: Konštrukcie piatich testovacích liftrov L1 až L5 .....                                                                                                    | 15 |
| Obrázok 2.5: Liftre radu C .....                                                                                                                                       | 16 |
| Obrázok 2.6: Spôsob uchytenia taštičky pre umiestnenie závažia.....                                                                                                    | 17 |
| Obrázok 2.7: Lifter B1 .....                                                                                                                                           | 18 |
| Obrázok 2.8: Konštrukcia prispôsobená k vertikálnemu i horizontálnemu pohybu..                                                                                         | 18 |
| Obrázok 2.9: Konštrukcia liftra pre vše smerový pohyb .....                                                                                                            | 19 |
| Obrázok 3.1: Pracovisko pre meranie hmotnosti liftrov .....                                                                                                            | 22 |
| Obrázok 3.2: Rozvrhnutie stupnice rovnoramenných váh.....                                                                                                              | 23 |
| Obrázok 3.3: Závislosť rovnovážnych polôh a nulovej polohy na veľkosti závažia.                                                                                        | 24 |
| Obrázok 3.4: Liftre L1 až L4 s prívažkom a lifter L5.....                                                                                                              | 27 |
| Obrázok 3.5: Použité prístroje pri meraní s liftrami L1 až L5 .....                                                                                                    | 28 |
| Obrázok 3.6: Usporiadanie meracieho pracoviska (box, lifter a váhy).....                                                                                               | 31 |
| Obrázok 3.7: Vytvorenie zmesi vzduchu a dusíka v boxe .....                                                                                                            | 46 |
| Obrázok 3.8: Prepálený ochranný odpor s viditeľným korónovým výbojom.....                                                                                              | 47 |
| Obrázok 3.9: Časť A: zobrazenie princípu pôsobenia sily zdvihu, ak je lifter stabilný<br>a stúpa smerom nahor. Časť B: lifter je nestabilný, nakláňa sa do strán ..... | 50 |
| Obrázok 4.1: Použitie rekombinačnej siete.....                                                                                                                         | 58 |
| Obrázok 4.2: Ochrana polohou .....                                                                                                                                     | 59 |
| Obrázok 4.3: Principiálny návrh boxu .....                                                                                                                             | 60 |

## **ZOZNAM TABULIEK**

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabuľka 3.1: Tabuľka hodnôt pre meranie hmotnosti liftrov L1 až L5.....                       | 25 |
| Tabuľka 3.2: Tabuľka nameraných hodnôt liftrov radu C .....                                   | 32 |
| Tabuľka 3.3: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C1 v prostredí vzduch .....           | 33 |
| Tabuľka 3.4: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C1 v prostredí vzduch a ióny<br>..... | 34 |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabuľka 3.5: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C1 v prostredí vzduch a slabý prievan.....  | 35 |
| Tabuľka 3.6: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C2 v prostredí vzduch .....                 | 37 |
| Tabuľka 3.7: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C2 v prostredí vzduch a ióny .....          | 39 |
| Tabuľka 3.8: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C3 v prostredí vzduch .....                 | 41 |
| Tabuľka 3.9: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C3 v prostredí vzduch a ióny .....          | 43 |
| Tabuľka 3.10: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter B1 v prostredí vzduch a dusík .....        | 48 |
| Tabuľka 3.11: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter B1 v prostredí vzduch a dusík .....        | 50 |
| Tabuľka 3.12: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter B1 v prostredí vzduch .....                | 51 |
| Tabuľka 4.1: Najvyššie prípustné koncentrácie CO, NO <sub>x</sub> a O <sub>3</sub> v prostredí..... | 55 |

## ZOZNAM SKRATIEK

| Skratka/Značka | Jednotka  | Popis                                                              |
|----------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|
| $F_{zd}$       | N         | veľkosť sily zdvihu                                                |
| $g$            | $ms^{-2}$ | veľkosť tiažového zrýchlenia                                       |
| $L1n_{02}$     | -         | prvá výchylka ručičky rovnoramenných váh vľavo, určenie $n_{02}$   |
| $L1r_{01}$     | -         | prvá výchylka ručičky rovnoramenných váh vľavo, určenie $r_{01}$   |
| $L1r_{02}$     | -         | prvá výchylka ručičky rovnoramenných váh vľavo, určenie $r_{02}$   |
| $L3n_{02}$     | -         | tretia výchylka ručičky rovnoramenných váh vľavo, určenie $n_{02}$ |
| $L3r_{01}$     | -         | tretia výchylka ručičky rovnoramenných váh vľavo, určenie $r_{01}$ |
| $L3r_{02}$     | -         | tretia výchylka ručičky rovnoramenných váh vľavo, určenie $r_{02}$ |
| $m$            | g         | veľkosť zaťaženia analytický váh                                   |
| $m_{op}$       | g         | priemerná hodnota zaťaženia analytických váh                       |
| $m_p$          | g         | hmotnosť liftra umiestneného na pravej miske rovnoramenných váh    |
| $m_l$          | g         | hmotnosť liftra umiestneného na ľavej miske rovnoramenných váh     |

|              |                   |                                                                            |
|--------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| $m_c$        | g                 | celková hmotnosť líftra zistená ako priemer $m_p$ a $m_l$                  |
| $n_{01}$     | -                 | počiatočná nulová hodnota ručičky rovnoramenných váh                       |
| $n_{02}$     | -                 | koncová nulová hodnota ručičky rovnoramenných váh                          |
| $n_0$        | -                 | priemerná nulová hodnota ručičky rovnoramenných váh                        |
| NPK-O        | $\text{mgm}^{-3}$ | najvyššia prípustná hodnota koncentrácie danej látky v obytnom prostredí   |
| NPK-P        | $\text{mgm}^{-3}$ | najvyššia prípustná hodnota koncentrácie danej látky v pracovnom prostredí |
| $P2n_{02}$   | -                 | druhá výchylka ručičky rovnoramenných váh vpravo, určenie $n_{02}$         |
| $P2r_{01}$   | -                 | druhá výchylka ručičky rovnoramenných váh vpravo, určenie $r_{01}$         |
| $P2r_{02}$   | -                 | druhá výchylka ručičky rovnoramenných váh vpravo, určenie $r_{02}$         |
| $r_{01}$     | -                 | výchylka ručičky rovnoramenných váh po pridaní závažia 1                   |
| $r_{02}$     | -                 | výchylka ručičky rovnoramenných váh po pridaní závažia 2                   |
| U            | kV                | veľkosť napájacieho napätia líftra                                         |
| $z_1$        | g                 | veľkosť závažia 1                                                          |
| $z_2$        | g                 | veľkosť závažia 2                                                          |
| $\Delta z_1$ | g                 | veľkosť prívažku k závažiu 1                                               |
| $\Delta z_2$ | g                 | veľkosť výsledného prívažku k závažiu 1                                    |

## 1. ÚVOD

Cieľom tejto práce je pokročiť vo výskume vlastnej levitácie liftra v elektrostatickom poli a nadviazať tak na semestrálny projekt a na našu publikáciu z konferencie New Trends in Physics 2007, ktoré boli úvodom do tejto problematiky.

Navrhujeme konštrukčné modely liftrov, ktoré boli priamo použité pri meraní. Budeme uvažovať i o zložených konštrukciách, kde sa domnievame, že by mohla narásť zaťažiteľnosť takto zhotoveného liftra. Dotkneme sa i problému ako skonštruovať lifter schopný vše smerového pohybu.

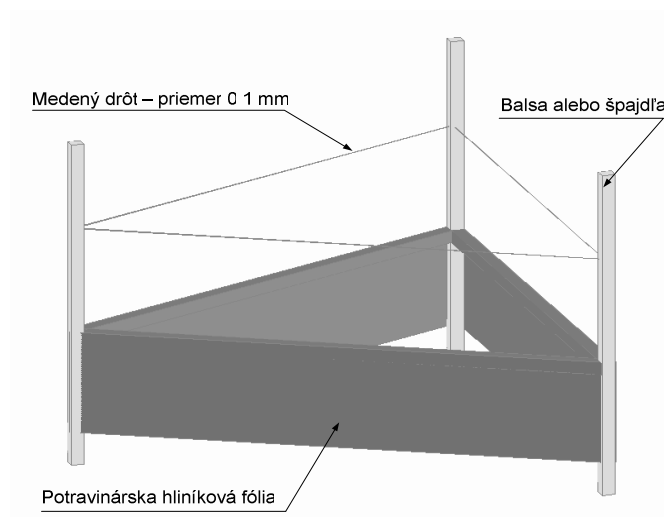
Priblížime si prekážky a neúspechy, ktoré sprevádzali naše pokusy, kým sa nám podarilo dosiahnuť zmysluplného merania, ktorého výsledkom bola závislosť veľkosti sily zdvihu na veľkosti napájacieho napätia, pri použití rôznych rozmerov konštrukcie toho istého typu liftra, pričom hmotnosti jednotlivých liftrov budú približne rovnaké. Liftre budeme testovať v plynach rôzneho zloženia a všetky dosiahnuté výsledky navzájom porovnáme a zobrazíme graficky. Rozoberieme si tiež spôsoby, akými dodržať zásady bezpečnosti pri práci s liftrom a povieme si o prípadných nebezpečných vplyvoch ionizovaného vzduchu na ľudský organizmus.

## 2. NÁVRHY TESTOVACÍCH MODELOV LIFTROV

V tomto bode rozoberieme otázku, ako správne navrhnuť modely liftrov pre rôzne typy meraní. Okrem štandardných konštrukcií budeme uvažovať aj o neštandardných konštrukciách, ktoré neboli doposiaľ nami otestované a pokúsime sa navrhnuť i účel použitia jednotlivých typov liftrov pri meraní.

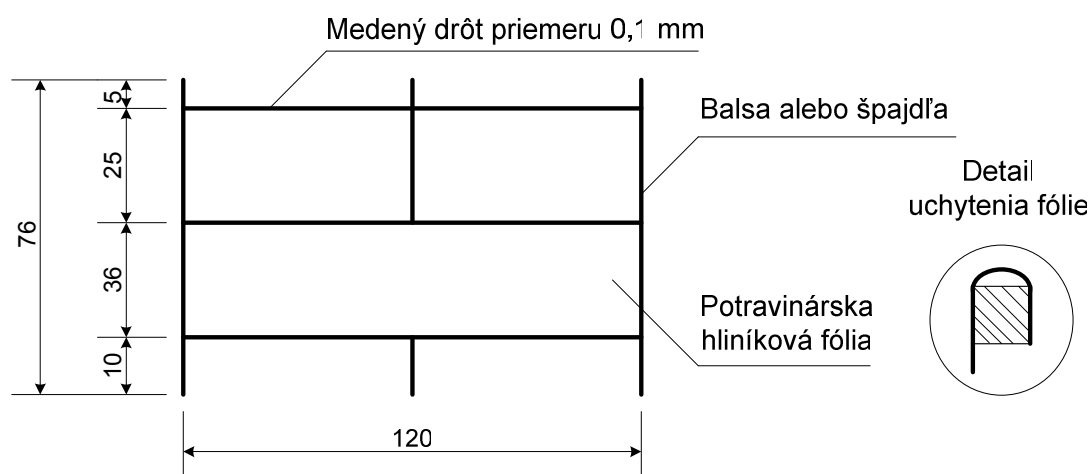
### 2.1 ZÁKLADNÉ TYPY LIFTROV

Za konštrukčne najpoužívanější typ liftra považujeme lifter v tvare trojuholníka. Jeho principiálne priestorové zobrazenie vidieť na obrázku 2.1.



**Obrázok 2.1:** Základný tvar liftra

Rozmery trojuholníkového liftra môžu byť rôzne. Náš základný rozmer, ktorý máme odskúšaný a takto zhotovený lifter je schopný levitácie, je zobrazený na obrázku 2.2.

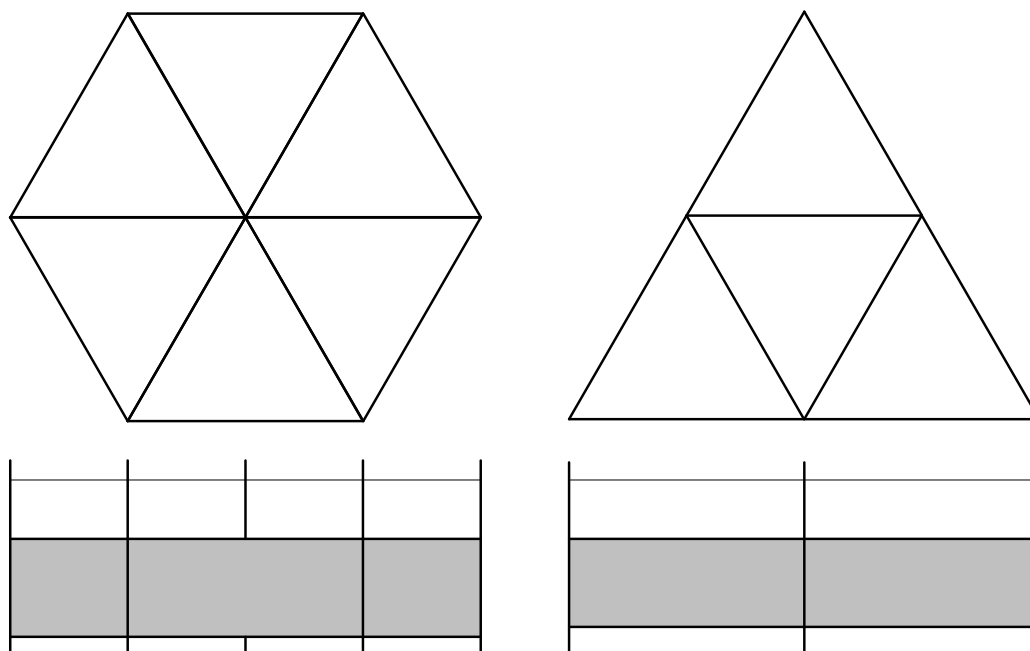


**Obrázok 2.2:** Rozmery konštrukcie liftra v tvare trojuholníka

Okrem trojuholníka ďalším základným tvarom liftra je štvoruholník, ktorého konštrukcia a rozmery sú podobné trojuholníkovému liftru. Ojedinele sa používa i lifter tvaru kruhu, ale zatiaľ sme ho pre zložitosť konštrukcie nepoužívali. [1]

## 2.2 KONŠTRUKCIE LIFTROV ZLOŽENÉ ZO ZÁKLADNÝCH TVAROV LIFTROV

Domnievame sa, že ak by sme vytvorili konštrukciu liftra, ktorý je zložený z čiastkových liftrov, mohli by sme tým doceliť zvýšenie jeho zaťažiteľnosti. Do úvahy pripadá zloženie troch a šiestich trojuholníkových poprípadе štyroch štvoruholníkových liftrov. [5]



**Obrázok 2.3:** Princíp zloženej konštrukcie

### 2.2.1 Radenie liftrov do poschodí

Ak by sme okrem štandardnej jednoposchodovej koncepcie začali liftre skladať i do jednotlivých poschodí, mohli by sme dospieť k ešte výraznejšej zaťažiteľnosti liftra. Je zrejmé, že takýto spôsob si vyžaduje vysoké nároky na precíznosť a presnosť pri konštruovaní. Bolo by potrebné zhotoviť konštrukciu tak, aby nemohlo dôjsť k prierazu medzi jednotlivými poschodiami. Jednotlivé poschodia by mali byť rozmerovo identické ako i rozmery elektród. Všetky elektródy rovnakého typu musia byť navzájom správne prepojené.



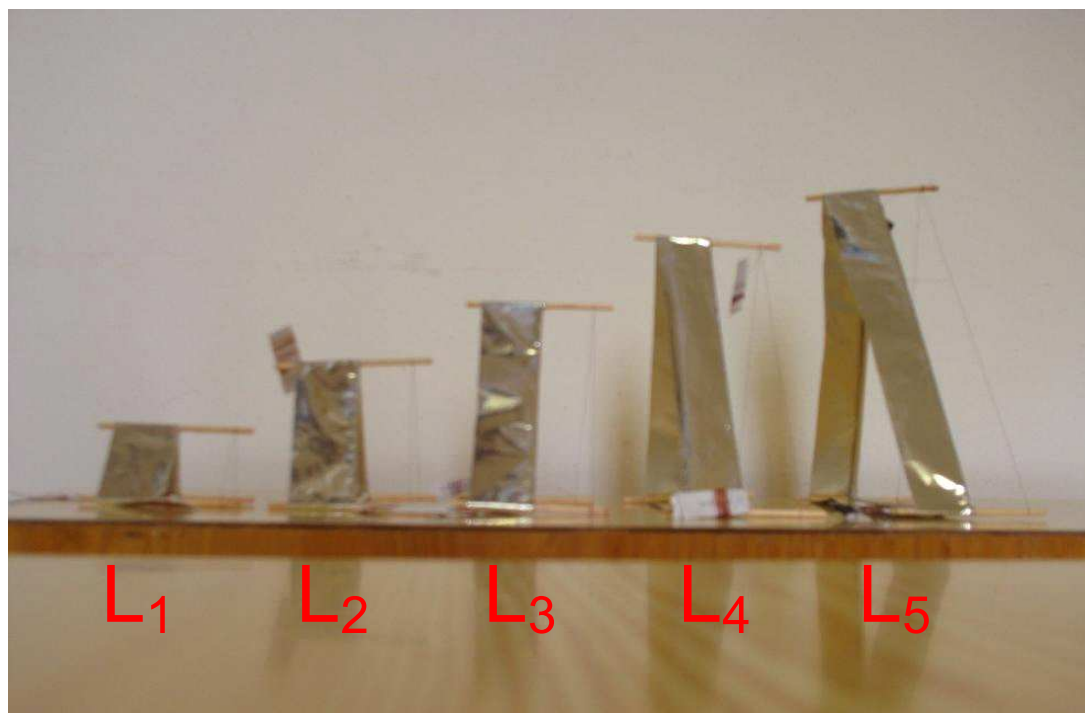
## 2.3 NÁVRHY KONŠTRUKCIÍ LIFTROV PODĽA POTREBY MERANIA

Pri návrhu konštrukcií liftrov je potrebné hľadiť hlavne na použiteľnosť daného typu konštrukcie.

### 2.3.1 Meranie závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia pri použití rôznych konštrukcií a rôzneho zaťaženia liftra

#### 2.3.1.1 *Liftre radu L*

Pôvodnou myšlienkou bolo skonštruovať 5 testovacích modelov liftrov v tvare trojuholníka. Rozmery strán sme zvolili 4, 8, 12, 16 a 20 cm. Vzdialenosť medzi elektródami je 2,5 cm. Šírka potravinárskej hliníkovej fólie, ktorá tvorí spodnú elektródu, je 3 cm a priemer medeného odizolovaného drôtu, tvoriaceho hornú elektródu, je 0,1 mm.

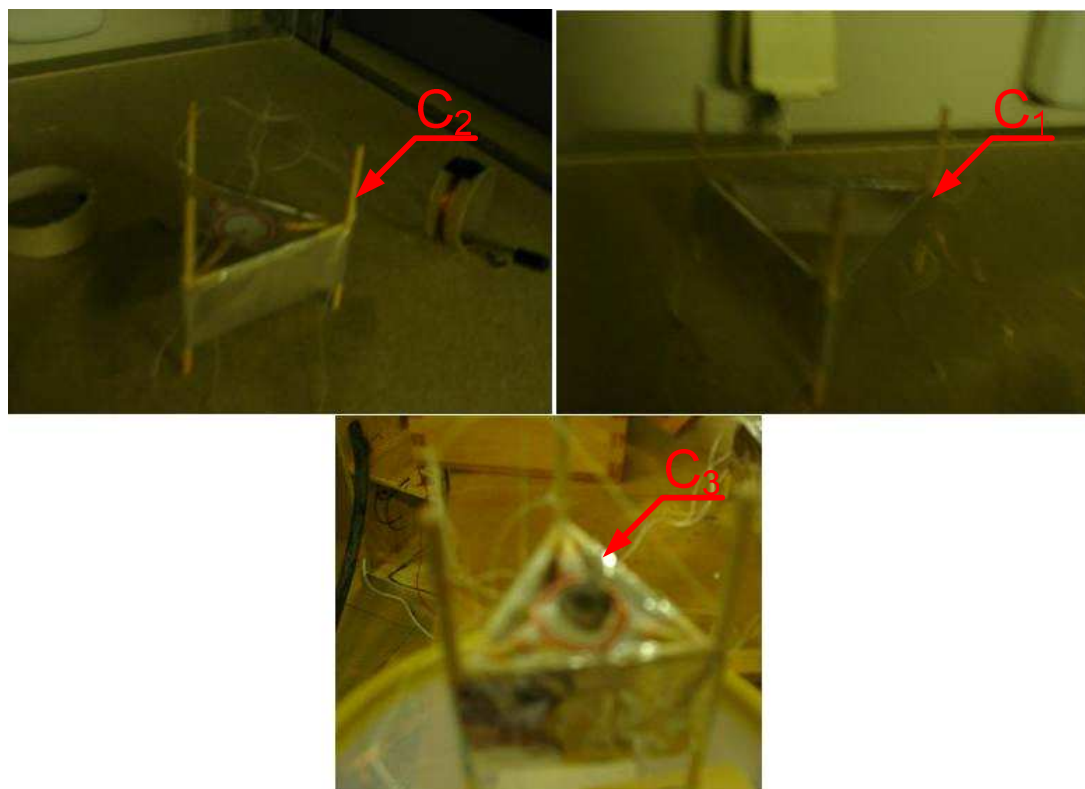


**Obrázok 2.4:** Konštrukcie piatich testovacích liftrov L1 až L5

O bližšom použití tejto päťice liftrov bude zmienka v časti venovanej vlastnému meraniu s týmito liftrami.

### 2.3.1.2 *Liftré radu C*

Liftré tohto radu sme vytvorili ako náhradu radu L s ktorou sme pri našom meraní neuspeli. Jedná sa o trojicu liftrov: C3 s rozmerom strany rovnostranného trojuholníka 5 cm, C2 s rozmerom 7,5 cm a C1 s rozmerom 10 cm. Šírka potravinárskej hliníkovej fólie, ako aj priemer medeného drôtu a vzdialenosť medzi elektródami sme zachovali rovnaké ako v prípade radu L.



**Obrázok 2.5:** Liftré radu C

Pre túto radu sme zvolili nový prístup k tvorbe konštrukcie. Potravinárska hliníková fólia, ktorá tvorí spodnú elektródu je z jedného súvislého pásu. Konštrukcie radu L mali tri samostatné pásy potravinárskej fólie (jeden pás predstavoval pokrytie jednej strany), ktoré boli vodivo prepojené a uchytené

pomocou lepidla. Tiež sme zmenili spôsob, akým umiestniť taštičku so závažím, do geometrického ťažiska liftra. Princíp je znázornený na obrázku 2.6.



**Obrázok 2.6:** Spôsob uchytenia taštičky pre umiestnenie závažia

Nemôžeme tvrdiť, že závažie umiestnené v takto prispôsobenej konštrukcii bude ležať presne v geometrickom strede liftra, ale určite môžeme tvrdiť, že toto riešenie je presnejšie, ako v prípade radu L.

### **2.3.1.3 Lifter B1**

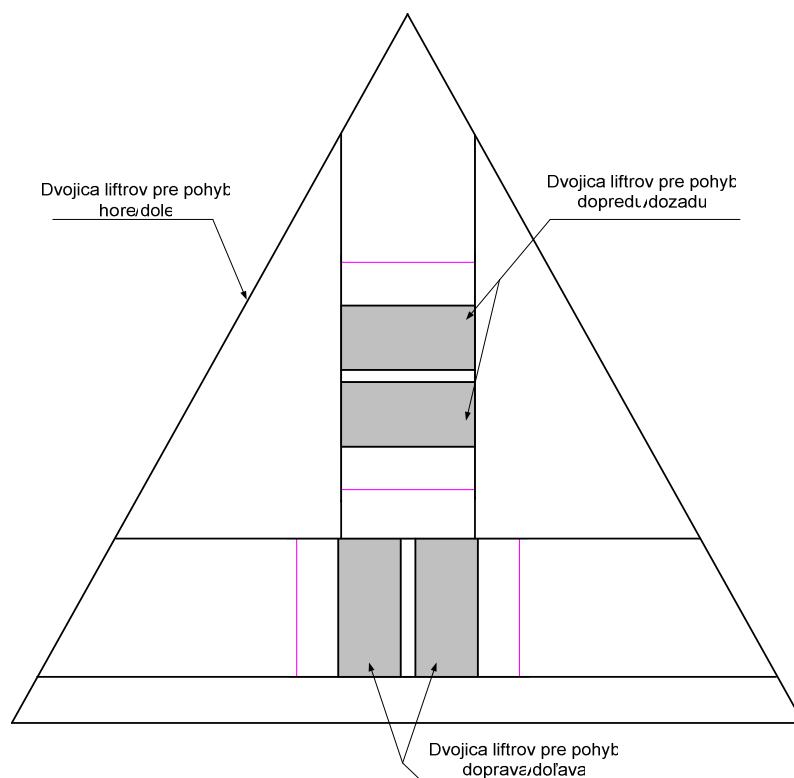
Tento lifter bol zhotovený hlavne pre potreby merania v plynach rôzneho zloženia. Konštrukciou sa výrazne nelíši od vyššie spomínaných liftrov. Jeho podstavu tvorí rovnostranný trojuholník so stranou dlhou 13 cm. Materiál hornej ,ako aj materiál spodnej elektródy, ostáva nezmenený. Vzdialenosť medzi elektródami sme tiež nemenili (2,5 cm).



Obrázok 2.7: Lifter B1

### 2.3.2 Zabezpečenie vše smerového pohybu liftra

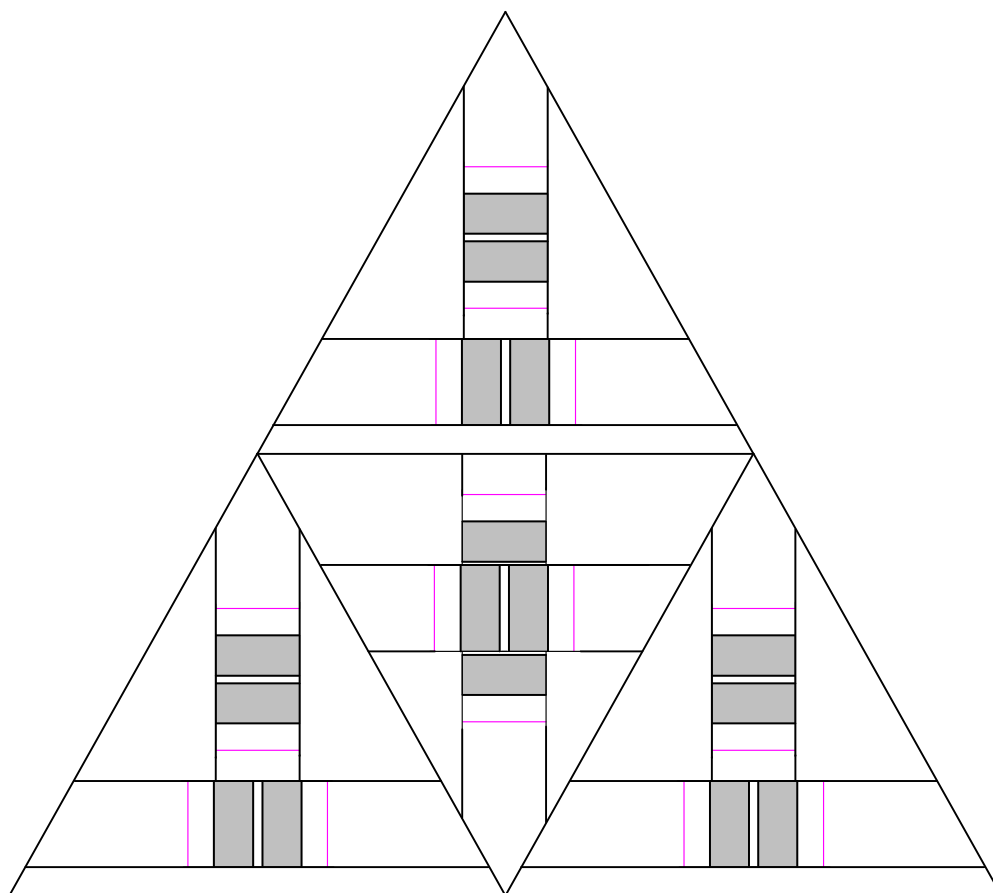
Ak by sme chceli urobiť meranie, ktorého cieľom by bolo zaistiť pohyb vertikálny i horizontálny, museli by sme navrhnuť konštrukciu, ktorá by takýto pohyb umožňovala. Domnievame sa, že pri použití konštrukcie podobnej tej, ktorá je zobrazená na obrázku 2.8 a pri vyriešení otázky napájania by takto navrhnutá konštrukcia mohla byť schopná pohybu vertikálneho i horizontálneho.



Obrázok 2.8: Konštrukcia prispôsobená k vertikálnemu i horizontálnemu pohybu

Aby mohol takýto systém fungovať, je potrebné zabezpečiť samostatné napájanie jednotlivých liftrov a dodržať minimálnu vzdialenosť medzi elektródou tvorenou medeným drôtom a elektródou tvorenou potravinárskou hliníkovou fóliou.

Ak by sme chceli skonštruovať taký lifter, ktorý by bol schopný i rotačného pohybu, poprípade rôznych náklonov do všetkých možných strán, tak budeme stáť pred zložitou konštrukčnou úlohou. Navrhli sme preto ďalší typ konštrukcie, ktorá je vlastne doplnením konštrukcie z obrázka 2.8.



**Obrázok 2.9:** Konštrukcia liftra pre vše smerový pohyb

Takto navrhnutá konštrukcia nebola nami doposiaľ zhotovená. Je to len zobrazenie našej predstavy pri riešení problému vše smerového pohybu liftra. Uvažujeme použitie pomocných liftrov, ktoré sú navzájom pootočené o  $90^\circ$  alebo  $180^\circ$ . Bolo by zaujímavé natočiť ich i do iných uhlov, ako sú  $45^\circ$  alebo  $60^\circ$ . Pri realizácii takéhoto

merania by významnú úlohu hrali napájanie liftra (ak by chcel lifter rotovať mohlo by dôjsť a pravdepodobne by i došlo k zamotaniu prírodných vodičov) a okrem správnej konštrukcie i regulácia napájacieho napätia jednotlivých liftrov, ktorou by bolo možné docieľiť umiestnenie liftra do ľubovoľnej polohy. Otázka regulácie zdvihu a plynulého posunutia liftra je natoľko zložitým problémom, že v súčasnosti nie sme schopní na ňu uspokojivo odpovedať. Vychádza to i z toho, že doposiaľ jav, ktorý ovplyvňuje vlastnú levitáciu liftra nebol vysvetlený a podložený dôkazom. Existuje ale rada teórií, ktoré popisujú levitáciu liftra v elektrostatickom poli.

### **3. PROBLEMATIKA VLASTNÉHO MERANIA S LIFTROM**

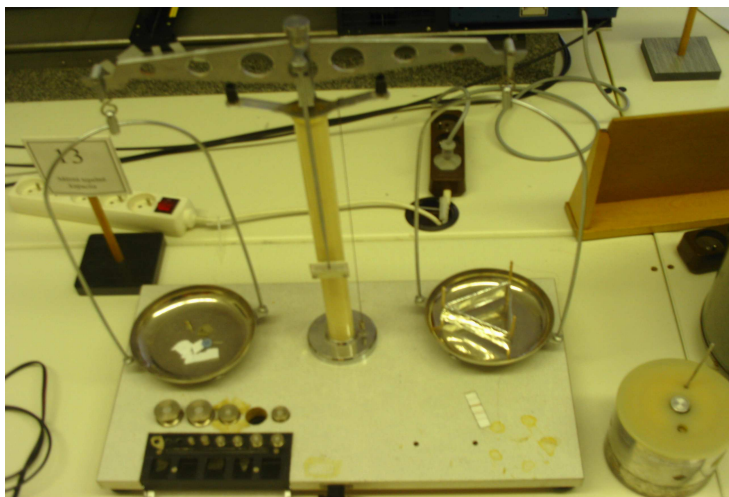
Počas našich pokusov s rôznymi tvarmi liftrov, či už to bolo pri semestrálnej práci alebo teraz pri realizácii práce bakalárskej, sme museli čeliť rade neúspechov, ktoré boli spôsobené často javmi, ktoré sme si nevedeli vysvetliť. Až postupne sme začali zisťovať, čo všetko má vplyv na vlastnú levitáciu liftra a to ani zďaleka nemôžeme tvrdiť, že už sme schopní vytvoriť také podmienky a takú konštrukciu, že bude lifter zaručene levitovať. Keďže pri neúspešných meraniach sme sa veľa nového naučili, budú ďalej spomenuté.

#### **3.1 MERANIE ZÁVISLOSTI VEĽKOSTI SILY ZDVIHU NA VEĽKOSTI NAPÄTIA PRI RÔZNEJ KONŠTRUKCII A RÔZNOM ZAŤAŽENÍ LIFTRA**

Pre toto meranie sme skonštruovali liftre L1 až L5. Zhotovili sme liftre, ktoré mali rôzne rozmery a teda i rôznu hmotnosť. Potrebovali sme ich hmotnosť zistiť a podľa najťažšieho vyvážiť ostatné. S takto upravenými liftrami sme chceli zistiť hodnotu napätia, pri ktorom bude daný lifter levitovať. Týmto meraním by sme zistili ako súvisia rozmery liftra s veľkosťou napätia, pri ktorej je lifter schopný levitácie.

### 3.1.1 Určenie hmotnosti liftrov L1 až L5

Hmotnosti liftrov sme určili pomocou rovníoramenných váh v jednom z laboratórií UFYZ. Zobrazenie pracoviska je vidieť na obrázku 3.1.



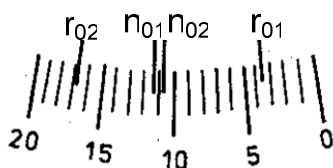
**Obrázok 3.1:** Pracovisko pre meranie hmotnosti liftrov

Toto meranie sme rozdelili na dve časti. Časť, ktorú som spracoval ja predstavuje meranie hmotnosti liftra, pričom lifter bol položený na pravej miske rovníoramenných váh. Môj kolega Michal Bartoš urobil meranie s liftrom na ľavej miske. Ako výslednú hmotnosť sme brali priemer z našich hodnôt.

#### 3.1.1.1 Meranie na rovníoramenných váhach

Pred začiatkom vlastného merania je potrebné vyprázdniť misky váh. Po odaretovaní treba nastaviť nulovú hodnotu. Neznamená to, že váhy majú ukazovať hodnotu 0. Nulovú hodnotu môžeme nastaviť ľubovoľne, ale spravidla je výhodné nastaviť ju zhruba do stredu stupnice (obrázok 3.2). Túto hodnotu si označíme ako  $n_{01}$ . Určili sme ju z troch po sebe nasledujúcich výchýliek ručičky ukazovateľa váh po opatrnóm uvoľnení aretácie, postupom rovnakým ako pri určovaní rovnovážnych polôh  $r_{01}$  a  $r_{02}$  (vzorec 3.1).



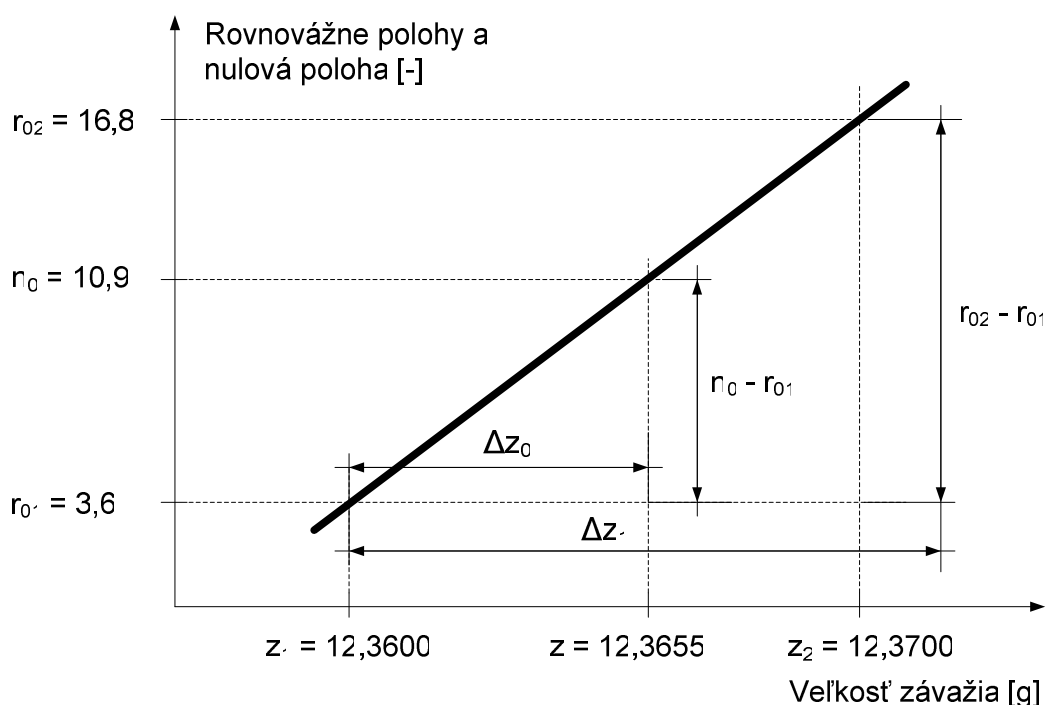


**Obrázok 3.2:** Rozvrhnutie stupnice rovnoramenných váh

Položíme vážený predmet na miskú (v našom prípade to bude miska na pravej strane). Na druhú miskú položíme pinzetou závažie  $z_1$  o ktorom predpokladáme, že bude mať vyššiu hmotnosť ako je hmotnosť predmetu, ktorého hmotnosť chceme zmerať. Váhy pomaly odaretujeme a sledujeme tri po sebe nasledujúce výchylky tak, že sledujeme prvú výchylku vľavo, druhú vpravo a tretiu znovu vľavo. Výchylky si postupne zaznamenávame napríklad ako  $L1r_{01}$ ,  $P2r_{01}$  a  $L3r_{01}$ . Z týchto hodnôt určíme celkovú výchylku vpravo  $r_{01}$  podľa vzorca 3.1.

$$r_{01} = \frac{\frac{L1r_{01} + L3r_{01}}{2} + P2r_{01}}{2} \quad [-] \quad (3.1)$$

Potom vymeníme závažie  $z_1$  za závažie  $z_2$  o hmotnosti menšej ako je predpokladaná hmotnosť liftra. Postupujeme podobne ako je spomínané vyššie. Takto získame hodnotu  $r_{02}$ . Nakoniec odoberieme i toto závažie a po odaretovaní sledujeme znovu tri po sebe nasledujúce výchylky a podľa rovnakého vzorca akým sme určili  $r_{01}$ ,  $r_{02}$  teraz určíme novú nulovú hodnotu  $n_{02}$ .



**Obrázok 3.3:** Závislosť rovnovážnych polôh a nulovej polohy na veľkosti závažia

Keď poznáme hodnoty  $n_{01}$ ,  $n_{02}$ ,  $r_{01}$ ,  $r_{02}$ ,  $z_1$  a  $z_2$  môžeme vypočítať skutočnú nulovú hodnotu  $n_0$  (vzorec 3.2), veľkosť prívážku  $\Delta z_1$  (vzorec 3.3), z podobnosti trojuholníkov z obrázku 3.3 môžeme určiť veľkosť prívážku  $\Delta z_0$  (vzorec 3.4), veľkosť hmotnosti liftra váženého na pravých miskách  $m_p$  (vzorec 3.5) a nakoniec celkovú hmotnosť liftra  $m_c$  (vzorec 3.6). [2]

$$n_0 = \frac{n_{01} + n_{02}}{2} \quad [-] \quad (3.2)$$

$$z_2 = z_1 + \Delta z_1 \quad [g] \quad (3.3)$$

$$\Delta z_0 = \Delta z_1 \frac{n_0 - r_{01}}{r_{02} - r_{01}} \quad [g] \quad (3.4)$$

$$m_p = z_1 + \Delta z_0 \quad [g] \quad (3.5)$$

$$m_c = \frac{m_p + m_l}{2} \quad [g] \quad (3.6)$$

### 3.1.1.2 Určenie veľkosti hmotnosti liftrov L1 až L5 pomocou rovnoramenných váh

Podľa vyššie spomínaného postupu sme určili veľkosť hmotnosti jednotlivých liftrov L1 až L5. Namerané údaje sú zaznamenané v tabuľke 3.1. Rozmery liftrov L1 až L5 boli spomínané v podkapitole 2.3. V tejto tabuľke je spomínaný i lifter označený ako L6. Týmto liftrom sa ďalej nebudeme zaoberať.

| Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt pre meranie hmotnosti liftrov L1 až L6 |                |                |                |                |                |                  |                  |                |                |                |              |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Teplota okolia :                                                                |                | 22,1 [°C]      |                |                |                |                  |                  |                |                |                |              |
| Vlhkosť :                                                                       |                | 32,0 [%]       |                |                |                |                  |                  |                |                |                |              |
| Lifter                                                                          | $n_{01}$ [-]   | $z_1$ [g]      | $z_2$ [g]      | $L1r_{01}$ [-] | $P2r_{01}$ [-] | $L3r_{01}$ [-]   | $r_{01}$ [-]     | $L1r_{02}$ [-] | $P2r_{02}$ [-] | $L3r_{02}$ [-] | $r_{02}$ [-] |
| L1                                                                              | 9,0            | 2,0            | 1,8            | 11,0           | 3,5            | 8,5              | 6,6              | 15,0           | 7,0            | 14,0           | 10,8         |
| L2                                                                              | 10,0           | 2,5            | 2,8            | 20,0           | 5,0            | 19,0             | 12,3             | 7,8            | 4,0            | 6,0            | 5,5          |
| L3                                                                              | 9,5            | 3,5            | 3,3            | 9,0            | 1,0            | 8,5              | 4,9              | 18,5           | 10,5           | 9,0            | 12,1         |
| L4                                                                              | 9,7            | 4,0            | 4,4            | 17,0           | 11,0           | 11,5             | 12,6             | 7,5            | 3,5            | 6,5            | 5,3          |
| L5                                                                              | 10,0           | 5,2            | 5,4            | 11,0           | 13,5           | 11,0             | 12,3             | 10,5           | 7,0            | 10,0           | 8,6          |
| L6                                                                              | 9,3            | 5,3            | 5,0            | 10,0           | 5,0            | 9,5              | 7,4              | 11,0           | 17,5           | 12,5           | 14,6         |
|                                                                                 | $L1n_{02}$ [-] | $P2n_{02}$ [-] | $L3n_{02}$ [-] | $n_{02}$ [-]   | $n_0$ [-]      | $\Delta z_1$ [g] | $\Delta z_0$ [g] | $m_p$ [g]      | $m_l$ [g]      | $m_c$ [g]      |              |
| L1                                                                              | 17,0           | 3,5            | 16,0           | 10,0           | 9,5            | -0,2             | -0,1             | 1,9            | 1,8            | 1,9            |              |
| L2                                                                              | 17,0           | 2,5            | 16,0           | 9,5            | 9,8            | 0,3              | 0,1              | 2,6            | 2,9            | 2,8            |              |
| L3                                                                              | 8,7            | 10,5           | 9,0            | 9,7            | 9,6            | -0,2             | -0,1             | 3,4            | 3,3            | 3,4            |              |
| L4                                                                              | 9,0            | 11,0           | 9,0            | 10,0           | 9,9            | 0,4              | 0,1              | 4,1            | 4,3            | 4,2            |              |
| L5                                                                              | 11,0           | 8,0            | 10,0           | 9,3            | 9,7            | 0,2              | 0,1              | 5,3            | 5,2            | 5,3            |              |
| L6                                                                              | 8,7            | 9,5            | 8,7            | 9,1            | 9,2            | -0,3             | -0,1             | 5,2            | 5,2            | 5,2            |              |

**Tabuľka 3.1:** Tabuľka hodnôt pre meranie hmotnosti liftrov L1 až L5

Príklad výpočtu hodnôt  $r_{01}$ ,  $r_{02}$ ,  $n_{02}$ ,  $n_0$ ,  $\Delta z_0$ ,  $m_p$  a  $m_c$  pre lifter L1, pričom vychádzame z vyššie uvedených vzťahov a z hodnôt z tabuľky 3.1.:

$$n_{01} = 9,0$$

$$r_{01} = \frac{\frac{L1r_{01} + L3r_{01}}{2} + P2r_{01}}{2} = \frac{\frac{11 + 8,5}{2} + 3,5}{2} = 6,625 = \underline{\underline{6,6}}$$

$$r_{02} = \frac{\frac{L1r_{02} + L3r_{02}}{2} + P2r_{02}}{2} = \frac{\frac{15 + 14}{2} + 7}{2} = 10,75 = \underline{\underline{10,8}}$$

$$n_{02} = \frac{\frac{L1n_{02} + L3n_{02}}{2} + P2n_{02}}{2} = \frac{\frac{17 + 16}{2} + 3,5}{2} = 10,0$$

$$n_0 = \frac{n_{01} + n_{02}}{2} = \frac{9 + 10}{2} = \underline{\underline{9,5}}$$

$$\Delta z_0 = \Delta z_1 \frac{n_0 - r_{01}}{r_{02} - r_{01}} = (z_2 - z_1) \frac{n_0 - r_{01}}{r_{02} - r_{01}} = (1,8g - 2g) \frac{9,5 - 6,6}{10,8 - 6,6} = -0,138g = \underline{\underline{-0,1g}}$$

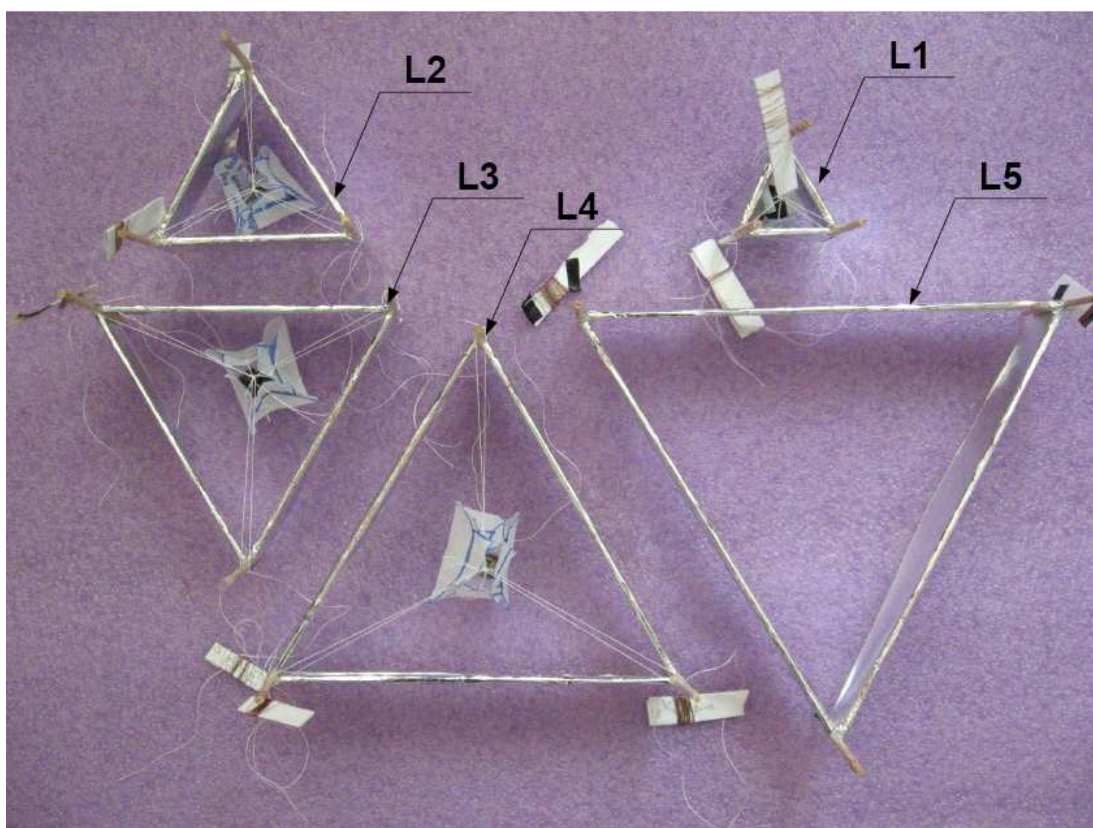
$$m_p = z_1 + \Delta z_0 = 2g - 0,1g = \underline{\underline{1,9g}}$$

$$m_c = \frac{m_p + m_l}{2} = \frac{1,9g + 1,8g}{2} = 1,85g = \underline{\underline{1,9g}}$$

### 3.1.2 Meranie z liftrami L1 až L5

Úlohou, ktorú sme si stanovili, bolo zmerať veľkosť napätia, pri ktorom by bol daný lifter schopný levitácie. Chceli sme totiž zistiť, ako súvisia rozmery liftra s veľkosťou napätia, ktoré je potrebné pre vlastnú levitáciu liftra, ak sa hmotnosť liftra nezmení. Preto sme museli liftre L1 až L4 vyvážiť tak, aby ich hmotnosť bola rovnako veľká, ako hmotnosť liftra L5, ktorý bol z nich najťažší.

Na obrázku 3.4. sú znázornené liftre L1 až L5, pričom ku každému z liftrov L1 až L4 je pripevnený prívažok.



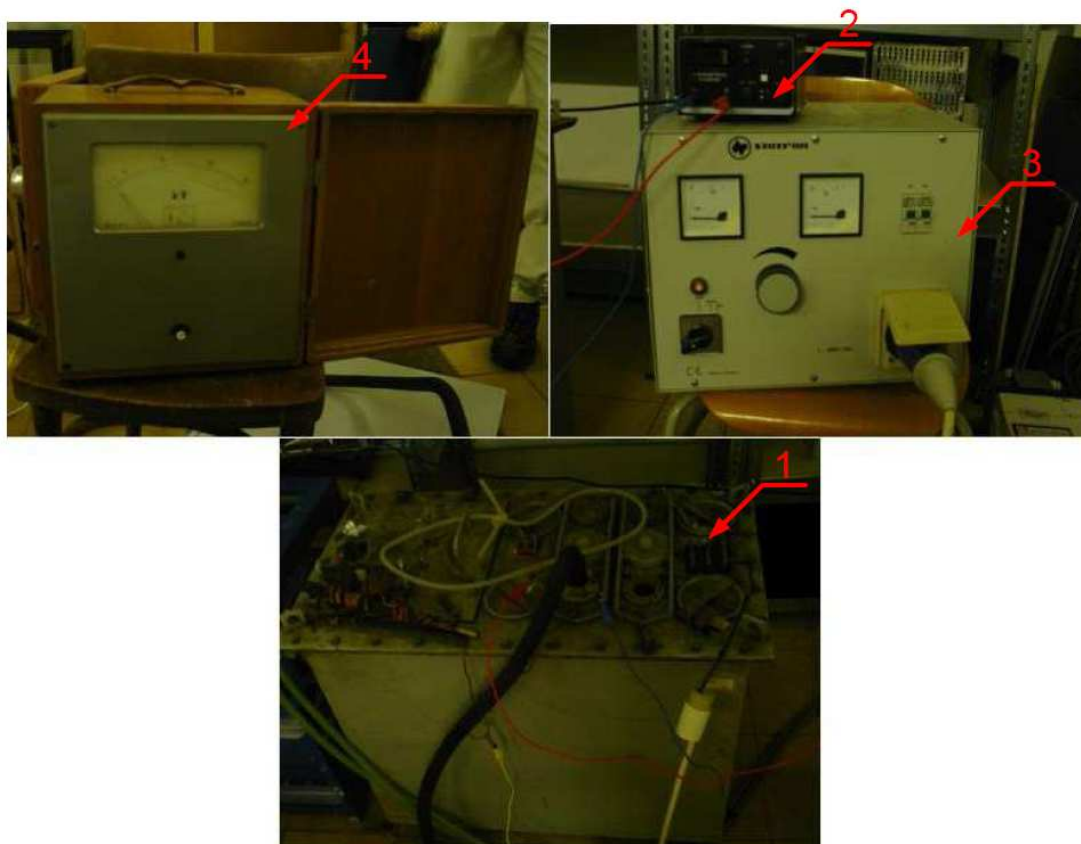
**Obrázok 3.4:** Liftre L1 až L4 s prívažkom a lifter L5

Ako je vidieť z obrázku 3.4., na upevnenie závažia (prívažku) sme použili taštičky vyrobené z materiálu PE-HD (High Density Polyetylene) a ku konštrukcii liftrov sme ich pripevnili pomocou klasickej nite (polyesterový hodváb). Neboli sme však schopní takýmto spôsobom upevniť závažie presne do geometrického stredu liftrov a iný spôsob sme v tejto fáze našich meraní neaplikovali.

### 3.1.2.1 Popis meracieho pracoviska

Použité přístroje:

1. Vysokonapětový zdroj DRESDEN: primár :  $U = 185/370 \text{ V}$ ,  $J_1 = 22/13 \text{ A}$   
 sekundár:  $U_{ar} = 60 \text{ kV}$ ,  $J_{ar} = 70 \text{ mA}$   
 frekv. :  $50 \text{ Hz}$   
 typ : TuRM 62
2. Napájecí zdroj DIAMETRAL pre primár: typ : S124R50E
3. Riadiaca jednotka STATRON: typ : 5358.6
4. Kilovoltmeter elektrostatický : rozsah :  $U_{max} = 35 \text{ kV}$   
 stupnica : do  $25 \text{ kV}$   
 charakter: jednosmerné i striedavé  
 napätie  
 typ : LSO 25  
 výrobca : Metra



**Obrázok 3.5:** Použité přístroje pri meraní s liftrami L1 až L5

Spôsob zapojenia liftrov a merania s nimi:

1. Ako materiál na ktorom bol umiestnený lifter sme zvolili drevotrieskovú paletu.
2. Lifter sme zapojili tak, že jeho horná elektróda, tvorená medeným drôtom o priemere 0,1 mm vo vzdialenosti 2,5 cm nad spodnou elektródou, tvorenou potravinárskou fóliou, bola vodivo pripojená na kladný pól vysokonapäťového zdroja DRESDEN. Spodnú elektródu sme vodivo pripojili na kostru tohto zdroja a tým sme ju spojili so zemou.
3. Prostredím okolo liftra bol vzduch, pričom podmienky merania sme mali sťažené slabým prievanom, keďže toto meranie nemohlo byť z technických dôvodov realizované v laboratóriu.
4. Toto meranie ako i ostatné prebiehali pod dozorom zodpovedných osôb (doc. RNDr. František Krčma, Ph.D. a RNDr. Vladimír Zdražil, Ph.D.).

### **3.1.2.2 Dosiahnuté výsledky z tohto merania**

Pri tomto meraní sme čelili neúspechu. Ani jeden lifter sme nedokázali dostať do stavu, kedy by bol schopný levitácie. Vždy, keď sme sa dostali na úroveň napätia, pri ktorom by malo dôjsť k vlastnej levitácii (niekedy už i pri podstatne nižšom napätí) vznikol prieraz a zhorela nám horná elektróda tvorená medeným drôtom. V horšom prípade nám ohorela i značná časť konštrukcie a takto poškodený lifter sme už nemohli ďalej použiť (keď bol nosník tvorený balzou alebo špajdlou ohorený, nepriamo sa tým zmenšila vzduchová medzera, keďže vzniknutá vrstva uhlíka vplyvom horenia je vodivá).

Skúšali sme zmeniť drôt. Namiesto odizolovaného sme používali smaltovaný medený drôt, ale výsledok bol podobný.

Skúšali sme meniť konštrukcie i vzdialenosť elektród. Výsledkom však bolo, že sme prišli o všetky liftre z radu L.

Nakoniec sme prišli na to, že hlavným problémom bola podložka (drevotriesková paleta) . Problematike výberu správnej podložky sa dotknem len okrajovo (bližšie informácie budú spomenuté v práci Michala Bartoša).

Výsledkom našich pokusov s rôznymi podložkami bolo zistenie, že materiál, z ktorého je podložka vyrobená, musí byť schopný polarizácie. Takýmto materiálom bola napríklad klasická podlahová dlaždica, na ktorej sme robili ďalšie merania. Aby sme zabránili horeniu konštrukcie pripájali sme kladnú svorku zdroja k hornej elektróde cez ochranný odpor 470k/2W.

### **3.1.3 Meranie z liftrami C1 až C3**

V čase, keď sme mali vyrobené konštrukcie C1 až C3 sme výrazne zmenili podmienky merania i požiadavky na očakávané výsledky merania.

#### ***3.1.3.1 Očakávaný výsledok merania***

Pôvodne sme chceli zistiť závislosť konštrukcie liftra na veľkosti napätia, pri ktorom bude lifter levitovať.

Pri tomto meraní sme si určili hornú hranicu napätia, ktorú sme boli ochotný ešte nastaviť. Táto hranica bola zvolená tak, aby nemohlo dôjsť k prierazu vzduchovej medzery medzi elektródami a tým k poškodeniu konštrukcie liftra. Dôsledkom toho bolo, že lifter nebol schopný pri tejto hodnote napätia vlastnej levitácie. Zistili sme, že tento fakt nie je až taký dôležitý. Ak berieme do úvahy, že na lifter pôsobí sila zdvihu, ktorá pôsobí proti smeru vektoru tiažovej sily, môžeme jej zmenu sledovať už pri relatívne malých zmenách napájacieho napätia a približne odhadnúť jej rast. A preto nepotrebujeme docieľiť priamo stavu vlastnej levitácie liftra na to, aby sme mohli popísať závislosť konštrukcie liftra na veľkosti napätia, pri ktorom bude lifter schopný levitácie. Stačí nám zistiť závislosť veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia.

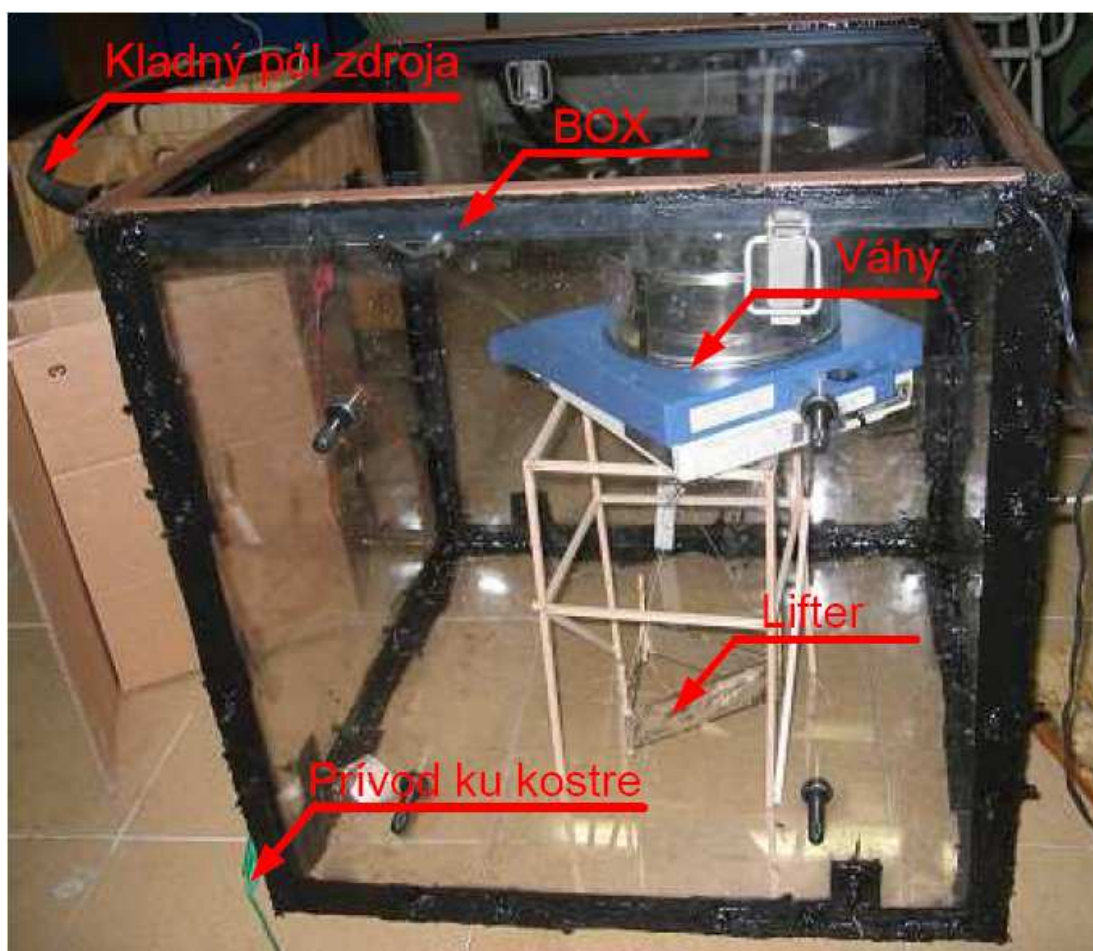
Testovali sme postupne liftre C1 až C3, pričom boli vzájomne vyvážené na rovnakú hmotnosť s presnosťou na jednu desatinu gramu na začiatku merania (pri opakovaní toho istého merania sa vždy zmenila hmotnosť liftra, čo bolo spôsobené



hlavne prívodnými vodičmi, ktoré vplyvom pohybu buď lifter zaťažili, alebo naopak odľahčili). Problematiku napájania samotného liftra sme nestihli uspokojivo vyriešiť.

### 3.1.3.2 Usporiadanie meracieho pracoviska

Prístroje, ktoré sme použili pri tomto meraní odpovedajú prístrojom z bodu 3.1.2.1 Popis meracieho pracoviska. Navyše sme použili analytické váhy SCALTEC model SBA 41 s rozsahom maximálne 410 g a rozlíšením 0,001 g. Samotný lifter sme zavesili na tieto váhy a spoločne sme ich umiestnili do uzavretého boxu (konštrukcia boxu bude bližšie popísaná v práci Michala Bartoša).



**Obrázok 3.6:** Usporiadanie meracieho pracoviska (box, lifter a váhy)

### 3.1.3.3 Vlastné meranie z liftrami C1 až C3

Aby sme mohli začať merať s týmito liftrami, najprv sme museli určiť ich hmotnosť. Na to sme využili vyššie spomínané analytické váhy.

| Tabuľka nameraných hodnôt hmotností liftrov rady C |       |
|----------------------------------------------------|-------|
| Lifter                                             | m [g] |
| C1                                                 | 2,140 |
| C2                                                 | 2,236 |
| C3                                                 | 1,256 |

**Tabuľka 3.2:** Tabuľka nameraných hodnôt liftrov radu C

Jednotlivé liftre sme vyvážili s presnosťou na jedno desatinné miesto. Ako referenčnú hodnotu sme brali 2,2 g. Hoci hmotnosť liftra C1 bola podľa tabuľky 2,140g, po umiestnení do boxu a pripojení prírodných vodičov už bola táto hodnota 2,215 g, čiže sme túto hodnotu ďalej nekorigovali. Naopak pre lifter C2 platilo, že keď sme ho umiestnili do boxu a pripojili prírodné vodiče, jeho hmotnosť poklesla a nakoniec sme ho museli pomocným závažím vyvážiť na konečných 2,263g. Lifter C3 sme tiež museli vyvážiť pomocným závažím. Jeho výsledná hmotnosť činila 2,254g. Lifre boli teda vyvažované až priamo v boxe po pripojení prírodných vodičov.

| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí pre liftré rôznej konštrukcie a zaťaženia |                                       |                                                                               |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                                             |                                       | 3.3                                                                           |                                      |
| Typ liftra :                                                                                   |                                       | C1                                                                            |                                      |
| Podstava liftra :                                                                              | rovnostranný trojuholník so stranou : | 100 [mm]                                                                      |                                      |
| Vzdialenosť eletród :                                                                          |                                       | 25 [mm]                                                                       |                                      |
| Hmotnosť liftra :                                                                              |                                       | bez zaťaženia : 2,140 [g]                                                     |                                      |
| Spôsob napájania :                                                                             | horná elektróda :                     | drôtik :                                                                      | kladný pól vysokonapäťového zdroja   |
|                                                                                                | dolná elektróda :                     | fólia :                                                                       | zem                                  |
| Ochranný odpor :                                                                               |                                       | bez                                                                           |                                      |
| Prítomnosť boxu:                                                                               |                                       | áno                                                                           |                                      |
| Prostедie :                                                                                    |                                       | vzduch                                                                        |                                      |
| Konštanty :                                                                                    |                                       | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |                                      |
| Poradové číslo                                                                                 | U [kV]                                | m [g]                                                                         | F <sub>zd</sub> [10 <sup>-3</sup> N] |
| 0                                                                                              | 0,00                                  | 2,215                                                                         | 0,000                                |
| 1                                                                                              | 5,00                                  | 2,208                                                                         | 0,069                                |
| 2                                                                                              | 6,00                                  | 2,204                                                                         | 0,108                                |
| 3                                                                                              | 8,00                                  | 2,196                                                                         | 0,186                                |
| 4                                                                                              | 8,75                                  | 2,185                                                                         | 0,294                                |
| 5                                                                                              | 9,50                                  | 2,174                                                                         | 0,402                                |
| 6                                                                                              | 10,30                                 | 2,154                                                                         | 0,598                                |
| 7                                                                                              | 11,10                                 | 2,110                                                                         | 1,030                                |
| 8                                                                                              | 11,90                                 | 2,068                                                                         | 1,442                                |
| 9                                                                                              | 12,70                                 | 1,998                                                                         | 2,129                                |
| 10                                                                                             | 13,15                                 | 1,951                                                                         | 2,590                                |
| 11                                                                                             | 13,62                                 | 1,898                                                                         | 3,110                                |
| 12                                                                                             | 14,20                                 | 1,827                                                                         | 3,806                                |

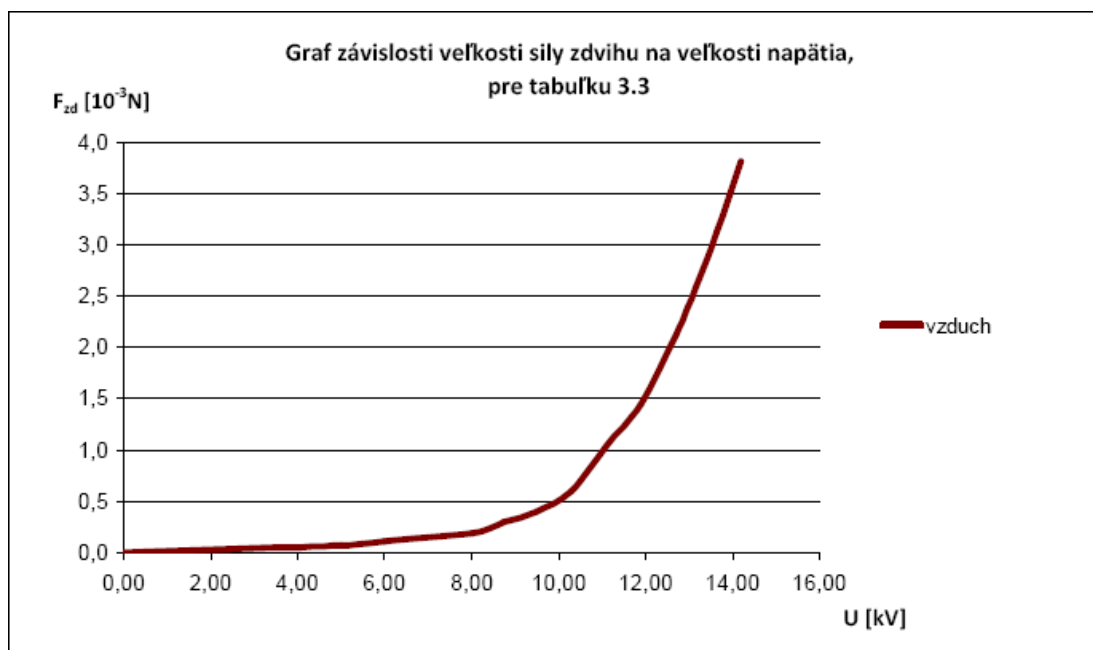
**Tabuľka 3.3:** Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C1 v prostredí vzduch

Hodnoty, ktoré sú zaznamenané v tejto tabuľke sme dostali tak, že sme postupne nastavovali veľkosť napájacieho napätia a odčítavali sme hodnotu zdanlivej hmotnosti liftra, ktorá pôsobila na analytické váhy. Veľkosť sily zdvihu  $F_{zd}$  sme pomocou zmeny zdanlivej hmotnosti mohli jednoducho vypočítať podľa vzorca 3.7.

$$F_{zd} = (m_0 - m_1)g \quad [\text{N}] \quad (3.7)$$

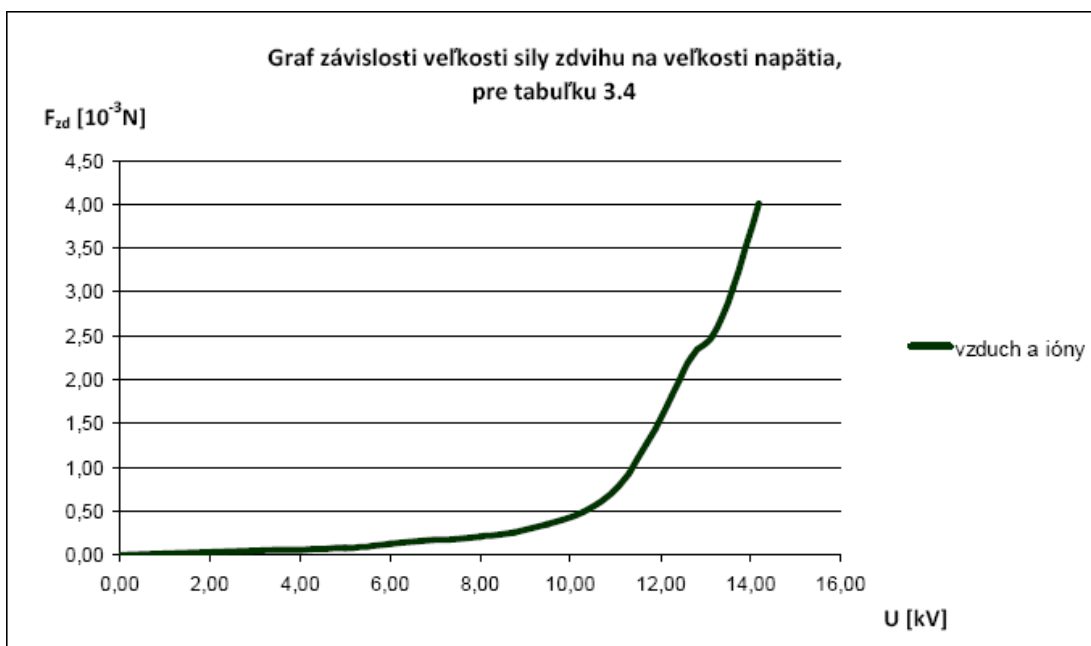
Konkrétny výpočet pre riadok 3 tabuľky 3.3:

$$F_{zd} = (m_0 - m_1)g = (2,215\text{g} - 2,196\text{g}) * 9,809980\text{ms}^{-2} = \underline{\underline{0,186 * 10^{-3} \text{ N}}}$$



|                                                                                               |                                       |                                                                               |                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí pre lifte rôznej konštrukcie a zaťaženia |                                       |                                                                               |                                      |
| Značenie tabuľky :                                                                            |                                       | 3.4                                                                           |                                      |
| Typ liftra :                                                                                  |                                       | C1                                                                            |                                      |
| Podstava liftra :                                                                             | rovnostranný trojuholník so stranou : | 100 [mm]                                                                      |                                      |
| Vzdialenosť eletród :                                                                         |                                       | 25 [mm]                                                                       |                                      |
| Hmotnosť liftra :                                                                             |                                       | bez zaťaženia : 2,140 [g]                                                     |                                      |
| Spôsob napájania :                                                                            | horná elektróda :                     | drôtik :                                                                      | kladný pól vysokonapäťového zdroja   |
|                                                                                               | dolná elektróda :                     | fólia :                                                                       | zem                                  |
| Ochranný odpor :                                                                              |                                       | bez                                                                           |                                      |
| Prítomnosť boxu:                                                                              |                                       | áno                                                                           |                                      |
| Prostедie :                                                                                   |                                       | zmes vzduchu a iónov                                                          |                                      |
| Konštanty :                                                                                   |                                       | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |                                      |
|                                                                                               |                                       |                                                                               |                                      |
| Poradové číslo                                                                                | U [kV]                                | m [g]                                                                         | F <sub>zd</sub> [10 <sup>-3</sup> N] |
| 0                                                                                             | 0,00                                  | 2,235                                                                         | 0,000                                |
| 1                                                                                             | 5,00                                  | 2,227                                                                         | 0,078                                |
| 2                                                                                             | 6,00                                  | 2,222                                                                         | 0,128                                |
| 3                                                                                             | 8,00                                  | 2,214                                                                         | 0,206                                |
| 4                                                                                             | 8,75                                  | 2,209                                                                         | 0,255                                |
| 5                                                                                             | 9,50                                  | 2,199                                                                         | 0,353                                |
| 6                                                                                             | 10,30                                 | 2,185                                                                         | 0,490                                |
| 7                                                                                             | 11,10                                 | 2,154                                                                         | 0,795                                |
| 8                                                                                             | 11,90                                 | 2,088                                                                         | 1,442                                |
| 9                                                                                             | 12,70                                 | 2,005                                                                         | 2,256                                |
| 10                                                                                            | 13,15                                 | 1,981                                                                         | 2,492                                |
| 11                                                                                            | 13,62                                 | 1,925                                                                         | 3,041                                |
| 12                                                                                            | 14.20                                 | 1.827                                                                         | 4.002                                |

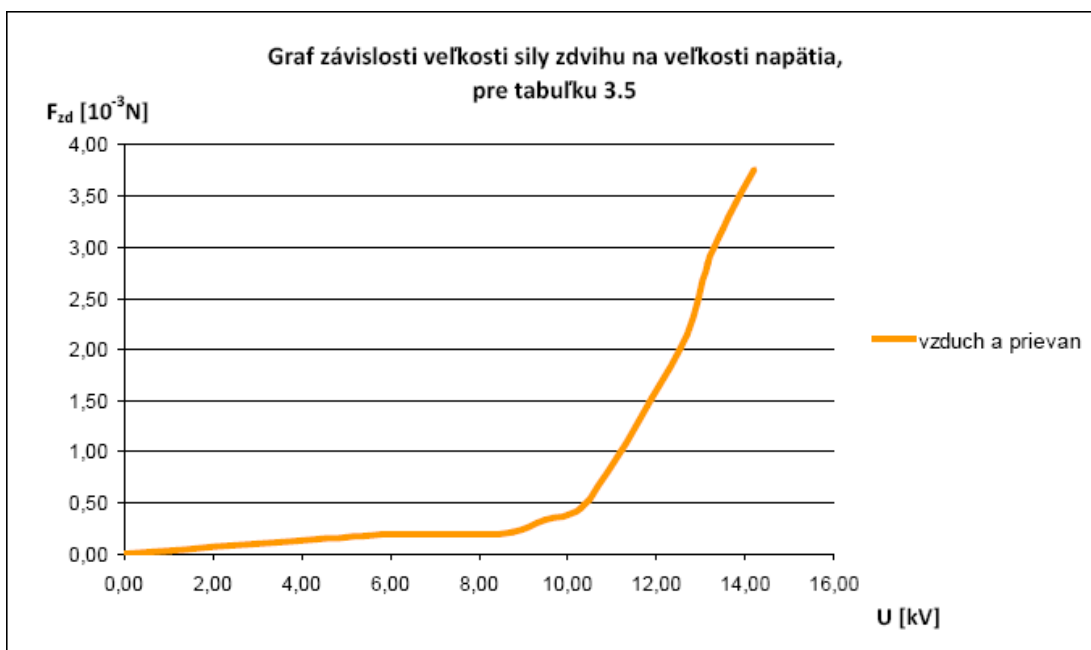
**Tabuľka 3.4:** Závislosť síly zdvihu na napätí pre lifter C1 v prostredí vzduchu a ióny



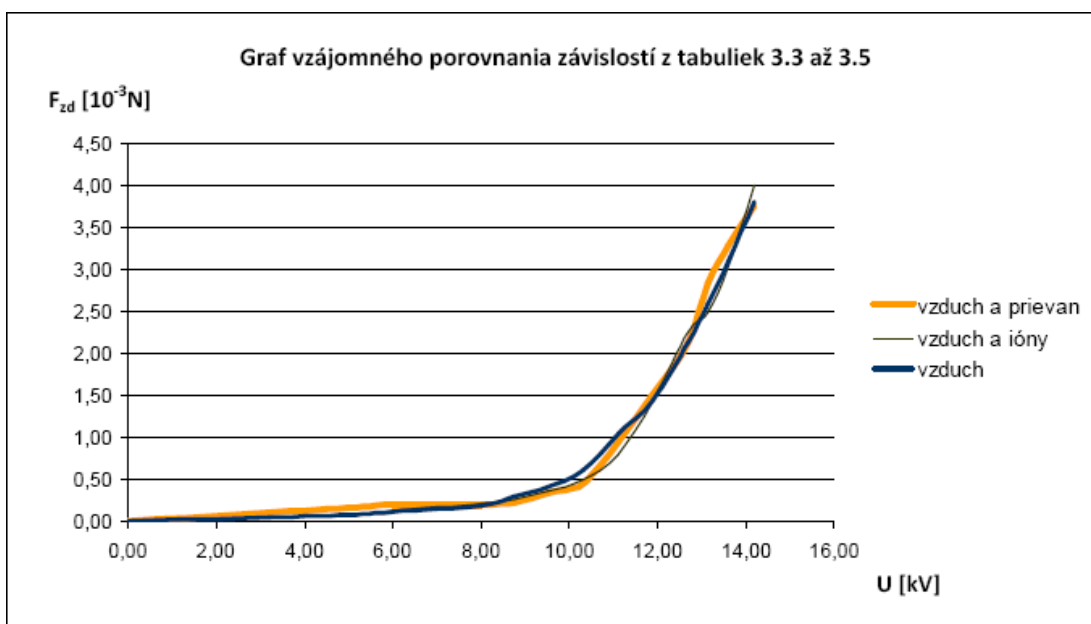
**Graf 3.2:** Graf závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.4

| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí pre liftre rôznej konštrukcie a zaťaženia |                                       |                                       |                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                                             |                                       | 3.5                                   |                                         |
| Typ liftra :                                                                                   |                                       | C1                                    |                                         |
| Podstava liftra :                                                                              | rovnostranný trojuholník so stranou : | 100 [mm]                              |                                         |
| Vzdialenosť elektród :                                                                         |                                       | 25 [mm]                               |                                         |
| Hmotnosť liftra :                                                                              |                                       | bez zaťaženia :<br>2,140 [g]          |                                         |
| Spôsob napájania :                                                                             | horná elektróda :                     | drôtik :                              | kladný pól vysokonapäťového zdroja      |
|                                                                                                | dolná elektróda :                     | fólia :                               | zem                                     |
| Ochranný odpor :                                                                               |                                       | bez                                   |                                         |
| Prítomnosť boxu:                                                                               |                                       | nie                                   |                                         |
| Prostredie :                                                                                   |                                       | vzduch a slabý prívian                |                                         |
| Konštanty :                                                                                    |                                       | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : | $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |
| Poradové číslo                                                                                 | U [kV]                                | m [g]                                 | $F_{zd} [10^{-3} \text{ N}]$            |
| 0                                                                                              | 0,00                                  | 2,068                                 | 0,000                                   |
| 1                                                                                              | 5,00                                  | 2,052                                 | 0,157                                   |
| 2                                                                                              | 6,00                                  | 2,048                                 | 0,196                                   |
| 3                                                                                              | 8,00                                  | 2,048                                 | 0,196                                   |
| 4                                                                                              | 8,75                                  | 2,046                                 | 0,216                                   |
| 5                                                                                              | 9,50                                  | 2,034                                 | 0,334                                   |
| 6                                                                                              | 10,30                                 | 2,023                                 | 0,441                                   |
| 7                                                                                              | 11,10                                 | 1,972                                 | 0,942                                   |
| 8                                                                                              | 11,90                                 | 1,913                                 | 1,521                                   |
| 9                                                                                              | 12,70                                 | 1,850                                 | 2,139                                   |
| 10                                                                                             | 13,15                                 | 1,779                                 | 2,835                                   |
| 11                                                                                             | 13,62                                 | 1,732                                 | 3,296                                   |
| 12                                                                                             | 14,20                                 | 1,685                                 | 3,757                                   |

**Tabuľka 3.5:** Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C1 v prostredí  
vzduch a slabý prívian



**Graf 3.3:** Graf závislosti veľkosti síly zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.5



**Graf 3.4:** Graf vzájomného porovnania závislostí z tabuliek 3.3 až 3.5

Pre lifter C1 sme urobili celkom tri merania, v ktorých sme sledovali okrem zisťovanej závislosti veľkosti síly zdvihu na veľkosti napätia i vplyv okolitého prostredia. V každej tabuľke sú v hlavičke zaznamenané podmienky, pri ktorých

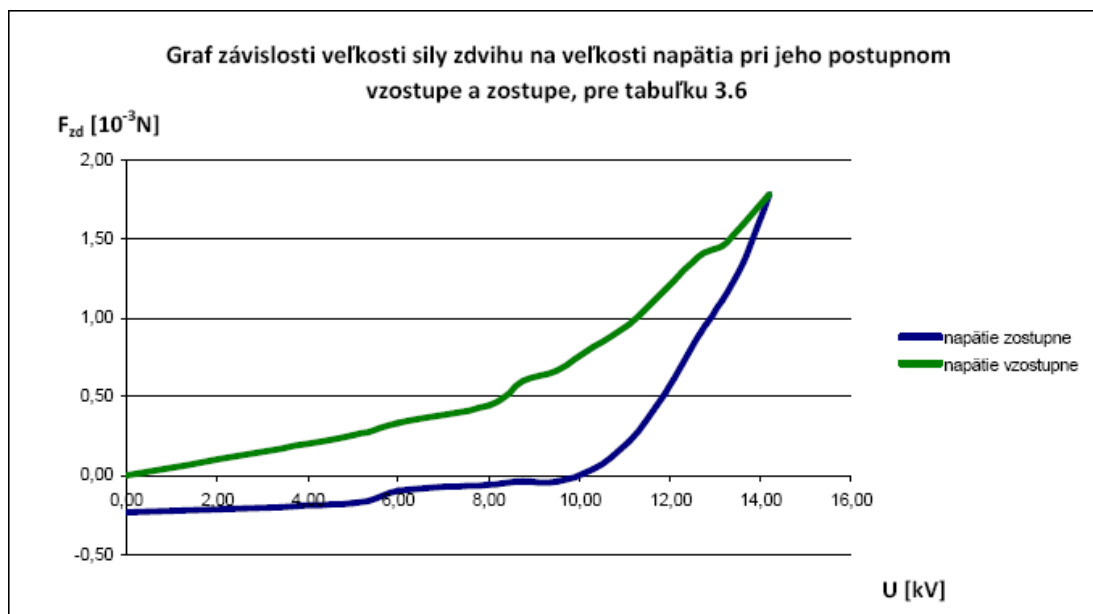
bolo meranie uskutočnené. Zist'ovali sme chovanie liftra C1 vo vzduchu a v zmesi vzduchu a iónov (vtedy bol lifter umiestnený v boxe - tabuľky 3.3 a 3.4). Tabuľka 3.5 predstavuje záznam z merania, kedy bol lifter mimo box a teda okolité prostredie tvoril vzduch, pričom podmienky pozmeňoval slabý prievan. Keď sa pozrieme na graf 3.4, ktorý nám porovnáva čiastkové priebehy, môžeme spozorovať, že sa výrazne od seba nelíšia. Dalo by sa tiež povedať, že sila zdvihu narastá so zvyšujúcim sa napájacím napätím približne exponenciálne. **Levitácia v silnom elektrostatickom poli je teda jav nelineárny.**

| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí pre liftre rôznej konštrukcie a zaťaženia |        |                                         |              |                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|--------------|------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                                             |        | 3.6                                     |              |                                    |
| Typ liftra :                                                                                   |        | C2                                      |              |                                    |
| Podstava liftra :                                                                              |        | rovnostranný trojuholník so stranou :   |              |                                    |
| Vzdialenosť elektród :                                                                         |        | 75 [mm]                                 |              |                                    |
| Hmotnosť liftra :                                                                              |        | 25 [mm]                                 |              |                                    |
| Spôsob napájania :                                                                             |        | 2,236 [g]                               |              |                                    |
|                                                                                                |        | bez zaťaženia :                         |              |                                    |
|                                                                                                |        | horná elektróda :                       | drôtik :     | kladný pól vysokonapäťového zdroja |
|                                                                                                |        | dolná elektróda :                       | fólia :      | zem                                |
| Ochranný odpor :                                                                               |        | bez                                     |              |                                    |
| Prítomnosť boxu :                                                                              |        | áno                                     |              |                                    |
| Prostredie :                                                                                   |        | vzduch                                  |              |                                    |
| Konštanty :                                                                                    |        | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne :   |              |                                    |
|                                                                                                |        | $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |              |                                    |
| Poradové číslo                                                                                 | U [kV] | m [g]                                   | $m_{op}$ [g] | $F_{zd} [10^{-3}\text{N}]$         |
| 0                                                                                              | 0,00   | 2,263                                   | 2,287        | 0,000                              |
| 1                                                                                              | 5,00   | 2,261                                   |              | 0,255                              |
| 2                                                                                              | 6,00   | 2,253                                   |              | 0,334                              |
| 3                                                                                              | 8,00   | 2,242                                   |              | 0,441                              |
| 4                                                                                              | 8,75   | 2,226                                   |              | 0,598                              |
| 5                                                                                              | 9,50   | 2,219                                   |              | 0,667                              |
| 6                                                                                              | 10,30  | 2,204                                   |              | 0,814                              |
| 7                                                                                              | 11,10  | 2,189                                   |              | 0,961                              |
| 8                                                                                              | 11,90  | 2,167                                   |              | 1,177                              |
| 9                                                                                              | 12,70  | 2,144                                   |              | 1,403                              |
| 10                                                                                             | 13,15  | 2,139                                   |              | 1,452                              |
| 11                                                                                             | 13,62  | 2,124                                   |              | 1,599                              |
| 12                                                                                             | 14,20  | 2,105                                   |              | 1,785                              |
| 13                                                                                             | 13,62  | 2,149                                   |              | 1,354                              |
| 14                                                                                             | 13,15  | 2,174                                   |              | 1,109                              |
| 15                                                                                             | 12,70  | 2,194                                   |              | 0,912                              |
| 16                                                                                             | 11,90  | 2,234                                   |              | 0,520                              |
| 17                                                                                             | 11,10  | 2,265                                   |              | 0,216                              |
| 18                                                                                             | 10,30  | 2,283                                   |              | 0,039                              |
| 19                                                                                             | 9,50   | 2,291                                   |              | -0,039                             |
| 20                                                                                             | 8,75   | 2,291                                   |              | -0,039                             |
| 21                                                                                             | 8,00   | 2,293                                   |              | -0,059                             |
| 22                                                                                             | 6,00   | 2,297                                   |              | -0,098                             |
| 23                                                                                             | 5,00   | 2,305                                   |              | -0,177                             |
| 24                                                                                             | 0,00   | 2,311                                   |              | -0,235                             |

**Tabuľka 3.6:** Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C2 v prostredí vzduch



Charakter tejto tabuľky sa líši od tých predošlých. V tejto tabuľke sme chceli zistiť, ako bude vypadáť závislosť veľkosti sily zdvihu na napätí, keď po dovŕšení hodnoty 14,2 začneme pomaly s napätím klesať a vrátime sa až na nulovú hodnotu. Zistili sme, že zdanlivá hmotnosť, ktorou sú zaťažované analytické váhy, nie je rovnaká na začiatku a na konci merania. Na túto zmenu hmotnosti môže vplývať viacero faktorov. My sme si vedomí toho, že výraznú úlohu v zmene zaťaženia analytických váh zohrávali prírodné vodiče, ktoré sa vplyvom pohybu liftra i vplyvom silného elektrostatického poľa chveli a v našich podmienkach sme ich nedokázali prichytiť tak, aby sme ich vplyv úplne vylúčili. Domnievame sa, že do istej miery sa mohla meniť i vztlaková sila pôsobiaca na lifter vplyvom zmeny prostredia v boxe. Keďže sme chceli zobrať do úvahy koncovú tiaž, ktorou pôsobil lifter na analytické váhy, vypočítali sme priemer z počiatočnej a koncovej hmotnosti liftru  $m_{0p}$  a s touto hodnotou sme ďalej počítali veľkosť sily zdvihu  $F_{zd}$ .



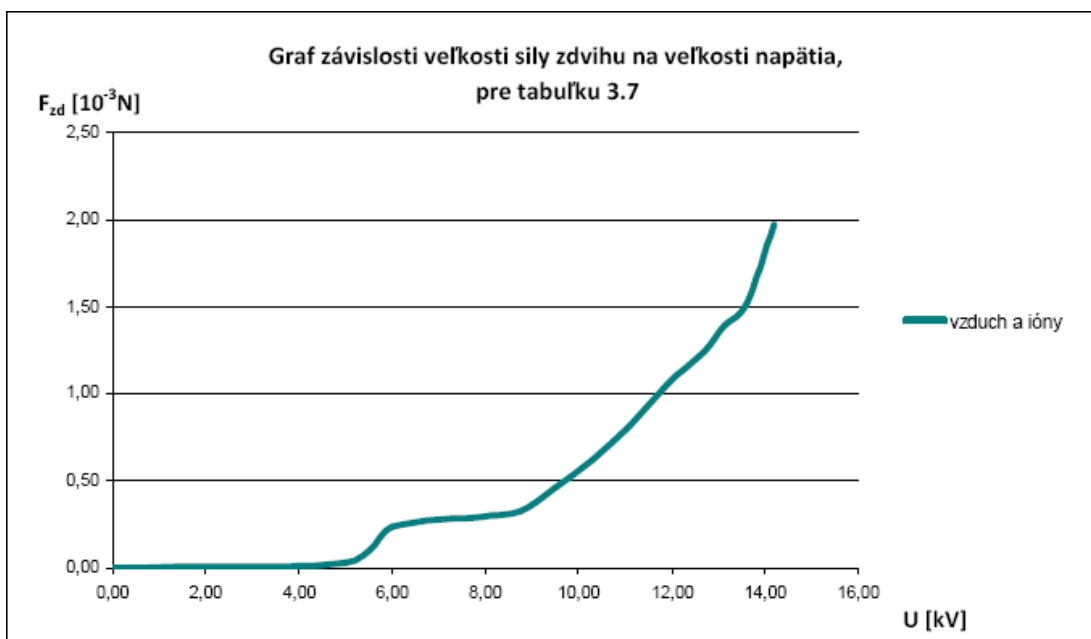
**Graf 3.5:** Graf závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.6

V tomto grafe je znázornený priebeh zmeny veľkosti sily zdvihu pri postupnom zvyšovaní napájacieho napätia po hodnotu 14,2 kV a následnom znižovaní od tejto hodnoty až po hodnotu 0 kV. Je vidieť, že tieto krivky nie sú vzájomnou kópiou, je to spôsobené práve kvôli spomínanej zmene zaťaženia analytických váh počas merania.

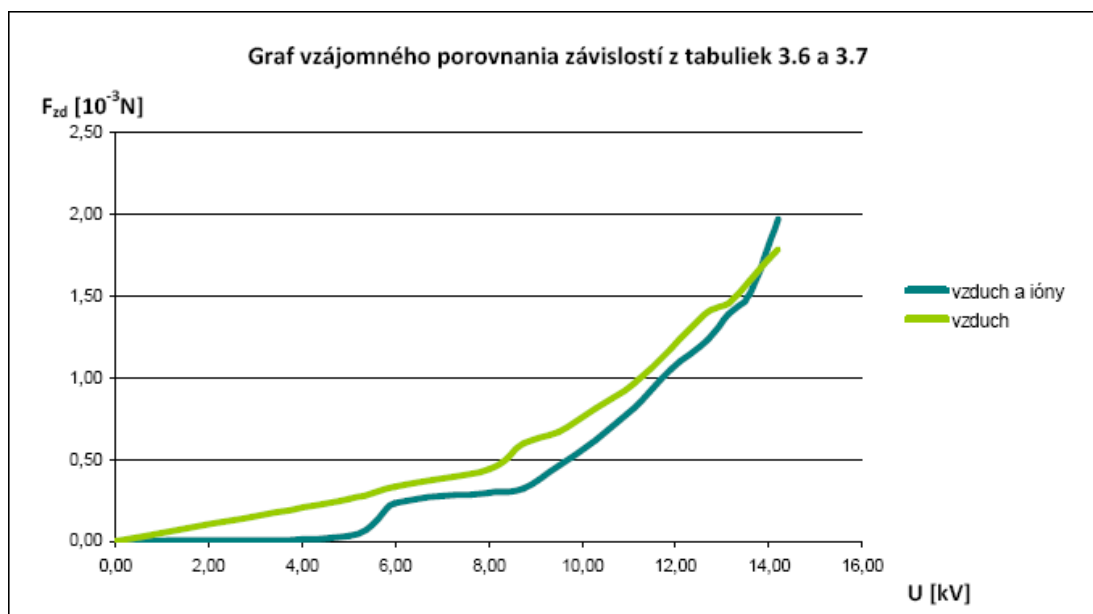


| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí pre lifte rôznej konštrukcie a zaťaženia |                                                                               |           |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                                            | 3.7                                                                           |           |                                    |
| Typ liftra :                                                                                  | C2                                                                            |           |                                    |
| Podstava liftra :                                                                             | rovnostranný trojuholník so stranou :                                         | 75 [mm]   |                                    |
| Vzdialenosť elektród :                                                                        |                                                                               | 25 [mm]   |                                    |
| Hmotnosť liftra :                                                                             | bez zaťaženia :                                                               | 2,236 [g] |                                    |
| Spôsob napájania :                                                                            | horná elektróda :                                                             | drôtik :  | kladný pól vysokonapäťového zdroja |
|                                                                                               | dolná elektróda :                                                             | fólia :   | zem                                |
| Ochranný odpor :                                                                              | bez                                                                           |           |                                    |
| Prítomnosť boxu :                                                                             | áno                                                                           |           |                                    |
| Prostredie :                                                                                  | zmes vzduchu a iónov                                                          |           |                                    |
| Konštanty :                                                                                   | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |           |                                    |
| Poradové číslo                                                                                | U [kV]                                                                        | m [g]     | $F_{zd} [10^{-3}\text{N}]$         |
| 0                                                                                             | 0,00                                                                          | 2,311     | 0,000                              |
| 1                                                                                             | 5,00                                                                          | 2,308     | 0,029                              |
| 2                                                                                             | 6,00                                                                          | 2,287     | 0,235                              |
| 3                                                                                             | 8,00                                                                          | 2,281     | 0,294                              |
| 4                                                                                             | 8,75                                                                          | 2,278     | 0,324                              |
| 5                                                                                             | 9,50                                                                          | 2,264     | 0,461                              |
| 6                                                                                             | 10,30                                                                         | 2,248     | 0,618                              |
| 7                                                                                             | 11,10                                                                         | 2,228     | 0,814                              |
| 8                                                                                             | 11,90                                                                         | 2,204     | 1,050                              |
| 9                                                                                             | 12,70                                                                         | 2,185     | 1,236                              |
| 10                                                                                            | 13,15                                                                         | 2,169     | 1,393                              |
| 11                                                                                            | 13,62                                                                         | 2,156     | 1,521                              |
| 12                                                                                            | 14,20                                                                         | 2,110     | 1,972                              |

Tabuľka 3.7: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C2 v prostredí vzduch a ióny



Graf 3.6: Graf závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.7

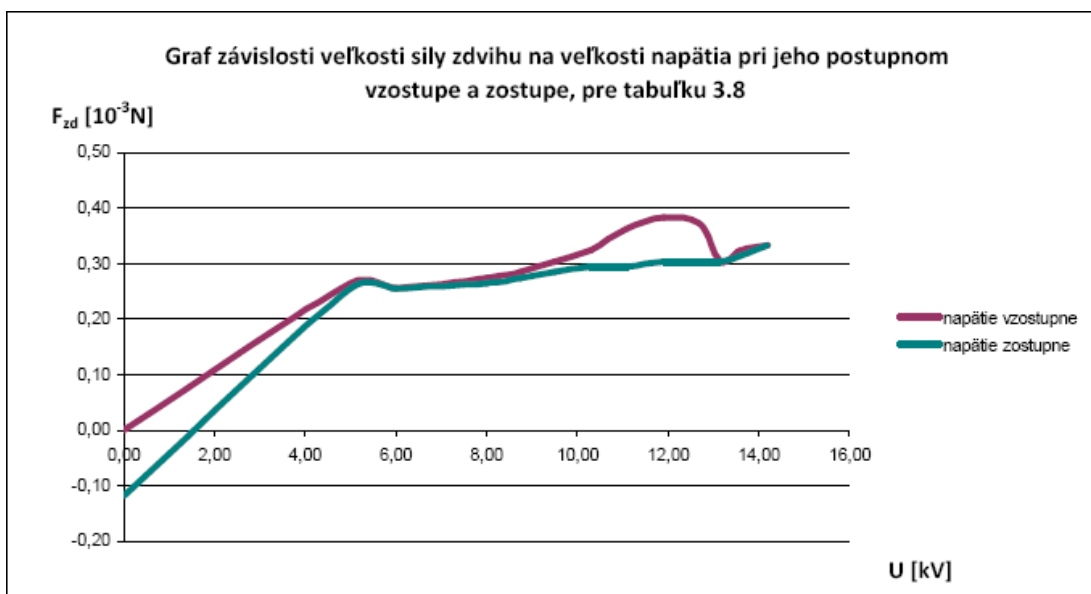


**Graf 3.7:** Graf vzájomného porovnania závislostí z tabuliek 3.6 až 3.7

Z grafu 3.7 je vidieť zmeny v priebehoch. Zobrazené závislosti už pomaly strácajú približný charakter exponenciály. Sú vidieť i dosť veľké vzájomné odchýlky oboch priebehov. Hlavným faktorom môže byť porušenie symetrie, vplyvom prídavného závažia, ktoré bolo liftru C2 aplikované pre zaistenie hmotnosti rádovo 2,2 g. Vplyvom porušenia konštrukčnej symetrie liftra, dochádza k jeho nestabilnému chovaniu (bližšie o nestabilite liftra budeme hovoriť v nasledujúcej kapitole).

| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí pre lifte rôznej konštrukcie a zaťaženia |        |                                       |                     |                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                                            |        | 3.8                                   |                     |                                      |
| Typ liftra :                                                                                  |        | C3                                    |                     |                                      |
| Podstava liftra :                                                                             |        | rovnostranný trojuholník so stranou : |                     |                                      |
| Vzdialenosť elektród :                                                                        |        | 50 [mm]                               |                     |                                      |
| Hmotnosť liftra :                                                                             |        | 25 [mm]                               |                     |                                      |
| Hmotnosť liftra :                                                                             |        | 1,256 [g]                             |                     |                                      |
| Spôsob napájania :                                                                            |        | kladný pól vysokonapäťového zdroja    |                     |                                      |
| Ochranný odpor :                                                                              |        | zem                                   |                     |                                      |
| Prítomnosť boxu :                                                                             |        | bez                                   |                     |                                      |
| Prostredie :                                                                                  |        | áno                                   |                     |                                      |
| Konštanty :                                                                                   |        | vzduch                                |                     |                                      |
| Konštanty :                                                                                   |        | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : |                     |                                      |
|                                                                                               |        | g = 9,809980 [ms <sup>-2</sup> ]      |                     |                                      |
| Poradové číslo                                                                                | U [kV] | m [g]                                 | m <sub>op</sub> [g] | F <sub>zd</sub> [10 <sup>-3</sup> N] |
| 0                                                                                             | 0,00   | 2,254                                 | 2,266               | 0,000                                |
| 1                                                                                             | 5,00   | 2,239                                 |                     | 0,265                                |
| 2                                                                                             | 6,00   | 2,240                                 |                     | 0,255                                |
| 3                                                                                             | 8,00   | 2,238                                 |                     | 0,275                                |
| 4                                                                                             | 8,75   | 2,237                                 |                     | 0,284                                |
| 5                                                                                             | 9,50   | 2,235                                 |                     | 0,304                                |
| 6                                                                                             | 10,30  | 2,233                                 |                     | 0,324                                |
| 7                                                                                             | 11,10  | 2,229                                 |                     | 0,363                                |
| 8                                                                                             | 11,90  | 2,227                                 |                     | 0,383                                |
| 9                                                                                             | 12,70  | 2,228                                 |                     | 0,373                                |
| 10                                                                                            | 13,15  | 2,235                                 |                     | 0,304                                |
| 11                                                                                            | 13,62  | 2,233                                 |                     | 0,324                                |
| 12                                                                                            | 14,20  | 2,232                                 |                     | 0,334                                |
| 13                                                                                            | 13,62  | 2,234                                 |                     | 0,314                                |
| 14                                                                                            | 13,15  | 2,235                                 |                     | 0,304                                |
| 15                                                                                            | 12,70  | 2,235                                 |                     | 0,304                                |
| 16                                                                                            | 11,90  | 2,235                                 |                     | 0,304                                |
| 17                                                                                            | 11,10  | 2,236                                 |                     | 0,294                                |
| 18                                                                                            | 10,30  | 2,236                                 |                     | 0,294                                |
| 19                                                                                            | 9,50   | 2,237                                 |                     | 0,284                                |
| 20                                                                                            | 8,75   | 2,238                                 |                     | 0,275                                |
| 21                                                                                            | 8,00   | 2,239                                 |                     | 0,265                                |
| 22                                                                                            | 6,00   | 2,240                                 |                     | 0,255                                |
| 23                                                                                            | 5,00   | 2,240                                 |                     | 0,255                                |
| 24                                                                                            | 0,00   | 2,278                                 |                     | -0,118                               |

**Tabuľka 3.8:** Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C3 v prostredí vzduch

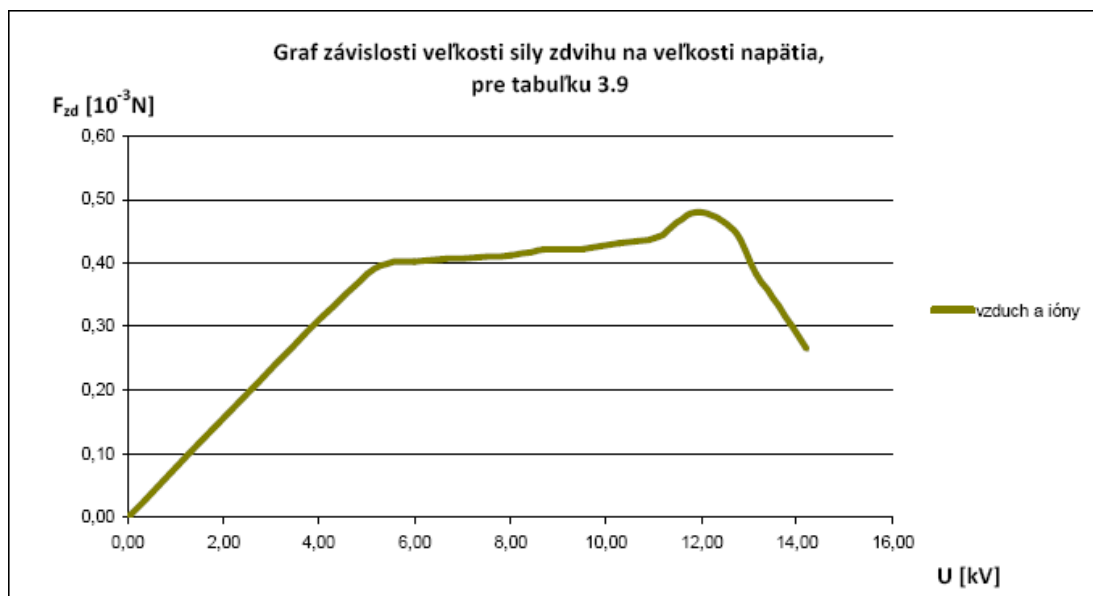


**Graf 3.8:** Graf závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.8

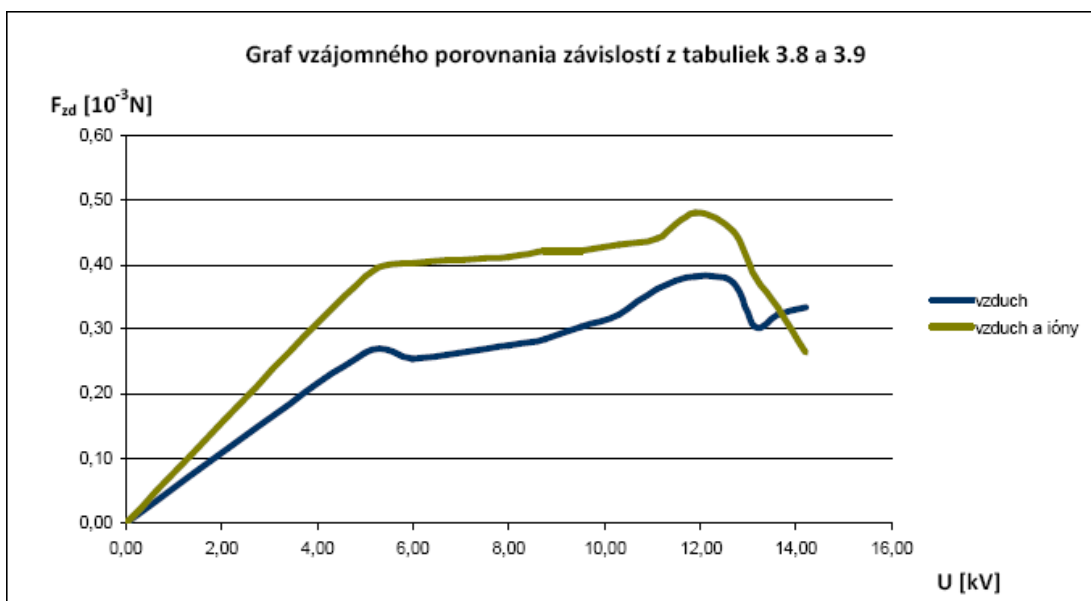
V tejto tabuľke je znázornený priebeh analogický k priebehu z grafu 3.5. Je vidieť, že priebeh veľkosti sily zdvihu má tendenciu vracat' sa po tej istej krivke po akej jej hodnota narastala. Avšak i v tomto prípade sa uplatnil fakt, že záťaž analytických váh pred začiatkom a na konci merania neboli rovnaké. Z grafu je tiež vidieť, že charakter rastu veľkosti sily zdvihu sa výrazne zmenil oproti predošlým dvom liftrom.

|                                                                                                |                                       |                                         |                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí pre liftré rôznej konštrukcie a zaťaženia |                                       |                                         |                                    |
| Značenie tabuľky :                                                                             |                                       | 3.9                                     |                                    |
| Typ liftra :                                                                                   |                                       | C3                                      |                                    |
| Podstava liftra :                                                                              | rovnostranný trojuholník so stranou : | 50 [mm]                                 |                                    |
| Vzdialenosť elektród :                                                                         |                                       | 25 [mm]                                 |                                    |
| Hmotnosť liftra :                                                                              | bez zaťaženia :                       | 1,256 [g]                               |                                    |
| Spôsob napájania :                                                                             | horná elektróda :                     | drôtik :                                | kladný pól vysokonapäťového zdroja |
|                                                                                                | dolná elektróda :                     | fólia :                                 | zem                                |
| Ochranný odpor :                                                                               |                                       | bez                                     |                                    |
| Prítomnosť boxu :                                                                              |                                       | áno                                     |                                    |
| Prostredie :                                                                                   |                                       | zmes vzduchu a iónov                    |                                    |
| Konštanty :                                                                                    | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : | $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |                                    |
| Poradové číslo                                                                                 | U [kV]                                | m [g]                                   | $F_{zd} [10^{-3}\text{N}]$         |
| 0                                                                                              | 0,00                                  | 2,277                                   | 0,000                              |
| 1                                                                                              | 5,00                                  | 2,238                                   | 0,383                              |
| 2                                                                                              | 6,00                                  | 2,236                                   | 0,402                              |
| 3                                                                                              | 8,00                                  | 2,235                                   | 0,412                              |
| 4                                                                                              | 8,75                                  | 2,234                                   | 0,422                              |
| 5                                                                                              | 9,50                                  | 2,234                                   | 0,422                              |
| 6                                                                                              | 10,30                                 | 2,233                                   | 0,432                              |
| 7                                                                                              | 11,10                                 | 2,232                                   | 0,441                              |
| 8                                                                                              | 11,90                                 | 2,228                                   | 0,481                              |
| 9                                                                                              | 12,70                                 | 2,231                                   | 0,451                              |
| 10                                                                                             | 13,15                                 | 2,238                                   | 0,383                              |
| 11                                                                                             | 13,62                                 | 2,243                                   | 0,334                              |
| 12                                                                                             | 14,20                                 | 2,250                                   | 0,265                              |

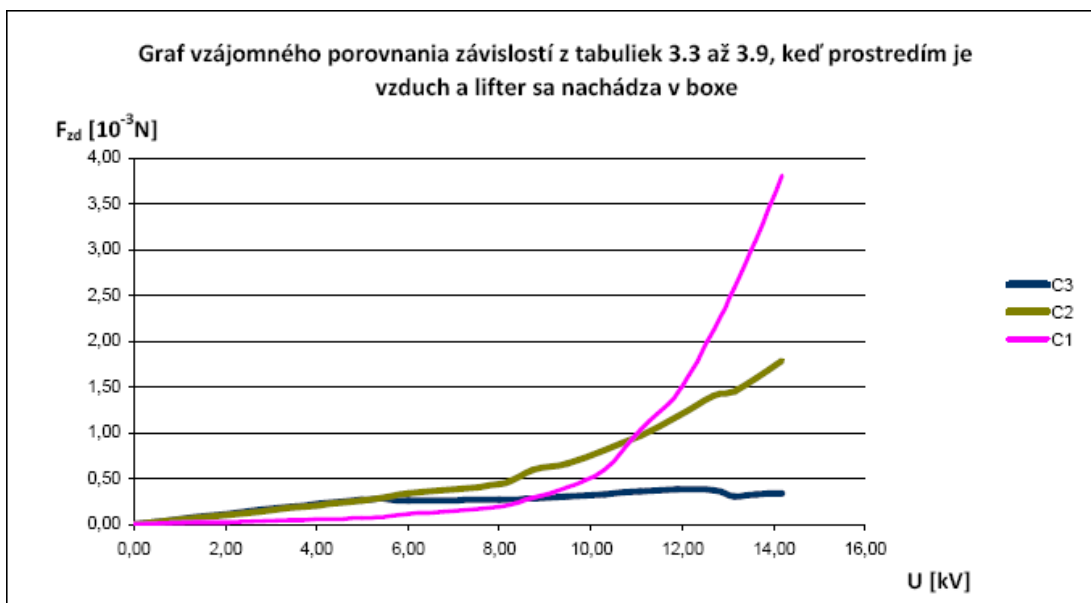
Tabuľka 3.9: Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter C3 v prostredí vzduchu a ióny



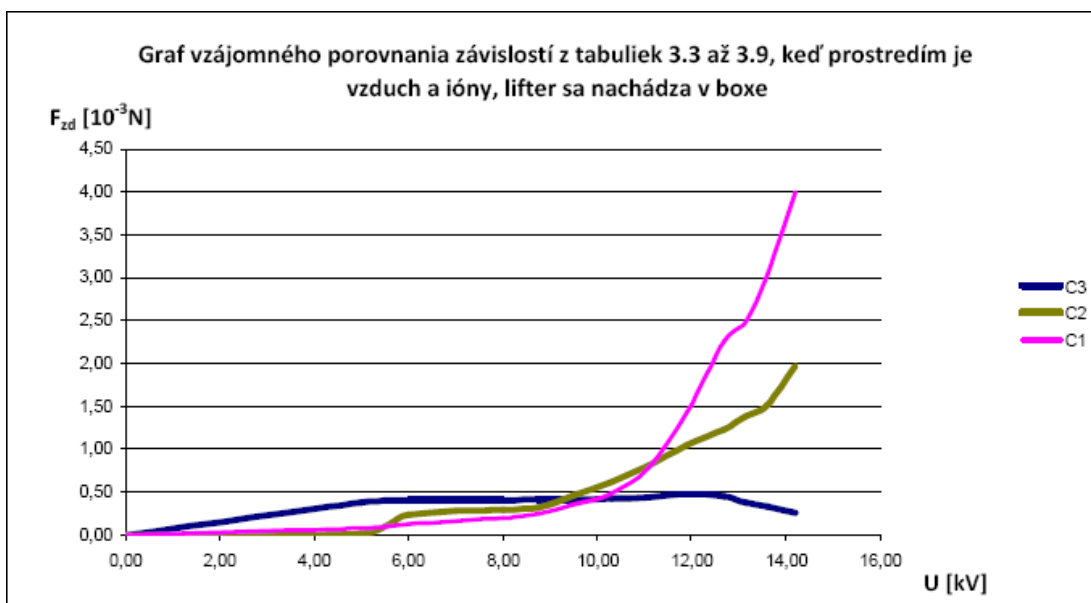
Graf 3.9: Graf závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.9



**Graf 3.10:** Graf vzájomného porovnania závislostí z tabuliek 3.8 až 3.9



**Graf 3.11:** Graf vzájomného porovnania závislostí celého radu liftrov C



**Graf 3.12:** Graf vzájomného porovnania závislostí celého radu liftrov C

### 3.1.3.4 Dosiahnuté výsledky

Pri tomto meraní sa nám podarilo zachytiť závislosť sily zdvihu na veľkosti napätia. Sledovali sme zmenu zdanlivej hmotnosti liftra indikovanej analytickými váhami, na ktoré bol lifter zavesený, pri postupnom zvyšovaní alebo znižovaní napájacieho napätia. Urobili sme merania pre rôzne prostredia, v ktorých sa lifter nachádzal. Išlo teda hlavne o vzduch a o zmes vzduchu a iónov. Odpovedajúce závislosti, ktoré sa vzťahovali k jednotlivým liftrom sme navzájom graficky porovnali. Nakoniec sme porovnali závislosti získané od všetkých troch liftrov C1 až C3 pre prostredie vzduch a zmes vzduchu a iónov a zobrazili sme tieto závislosti v grafoch 3.11 a 3.12. Z týchto dvoch grafov môžeme urobiť celkový záver:

Významnú úlohu pri raste veľkosti sily zdvihu v závislosti na zvyšujúcom sa napájacím napätí zohráva konštrukcia liftra. Konkrétne, ak ide o lifter, ktorého podstavu tvorí rovnostranný trojuholník, zaujíma nás rozmer strany tohto trojuholníka. Ak by sme chceli napríklad zaťažiť lifter prívažkom 100 mg a mali by sme k dispozícii liftre so stranami 5, 7,5 a 10 cm, najlepšie bude, ak zvolíme lifter s väčšou dĺžkou strany. Konkrétne v spomínanom príklade by bolo optimálne zvoliť lifter so stranou 10 cm. Je ale potrebné si uvedomiť, že ak zaťažujeme nejakú konštrukciu liftra, je potrebné hľadiť na dodržanie symetrie liftra a snažiť sa

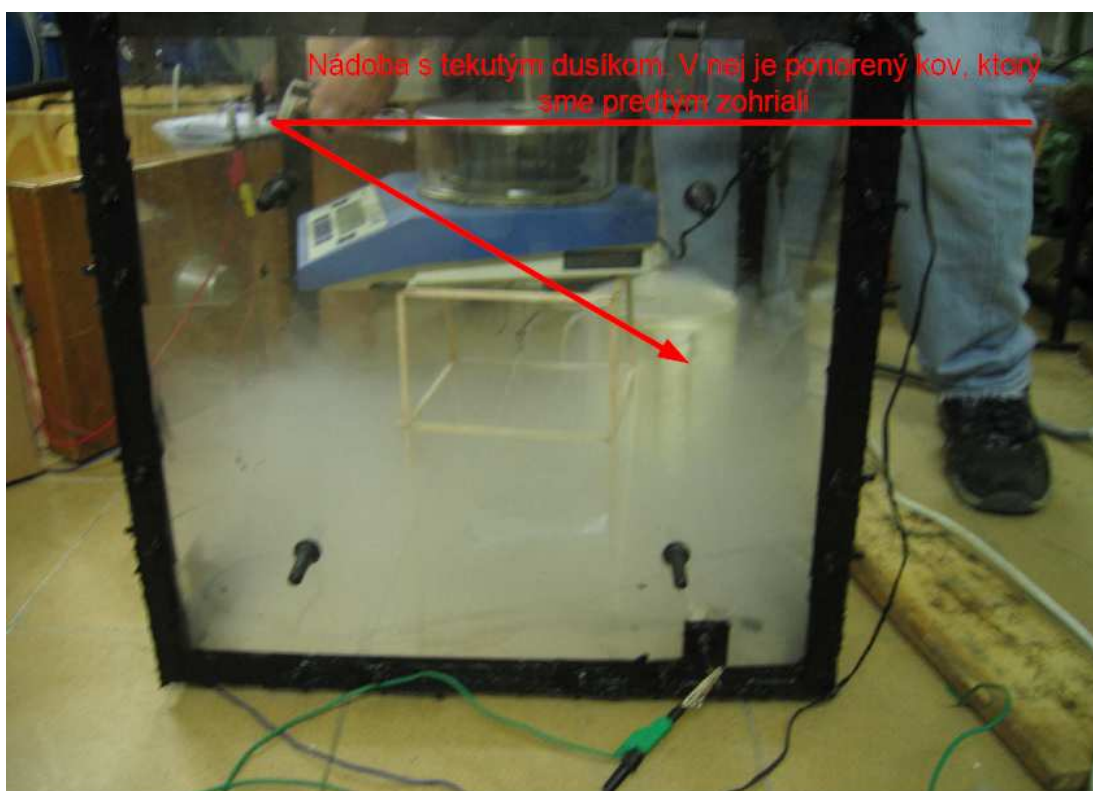
umiestniť závažie čo najpresnejšie do geometrického stredu liftra. Tiež je potrebné eliminovať vplyv prírodných vodičov, ktoré môžu výrazným spôsobom narušiť túto symetriu.

### 3.2 MERANIE ZÁVISLOSTI SILY ZDVIHU NA VEĽKOSTI NAPĀTIA PRE LIFTER V PLYNOCH RÔZNEHO ZLOŽENIA

Cieľom tejto kapitoly je porovnať chovanie sa liftra, keď prostredím, v ktorom sa nachádza, je vzduch alebo zmes vzduchu a dusíka. Pre tieto merania sme použili lifter B1, ktorý je zobrazený na obrázku 2.7.

#### 3.2.1 Usporiadanie meracieho pracoviska

Odpovedá usporiadaniu meracieho pracoviska z bodu 3.1.3.2. Na nasledujúcom obrázku bude znázornený princíp, akým sme docielili naplnenie boxu dusíkom, čím sme v boxe vytvorili zmes vzduchu a dusíka, v ktorej sa lifter B1 nachádzal.

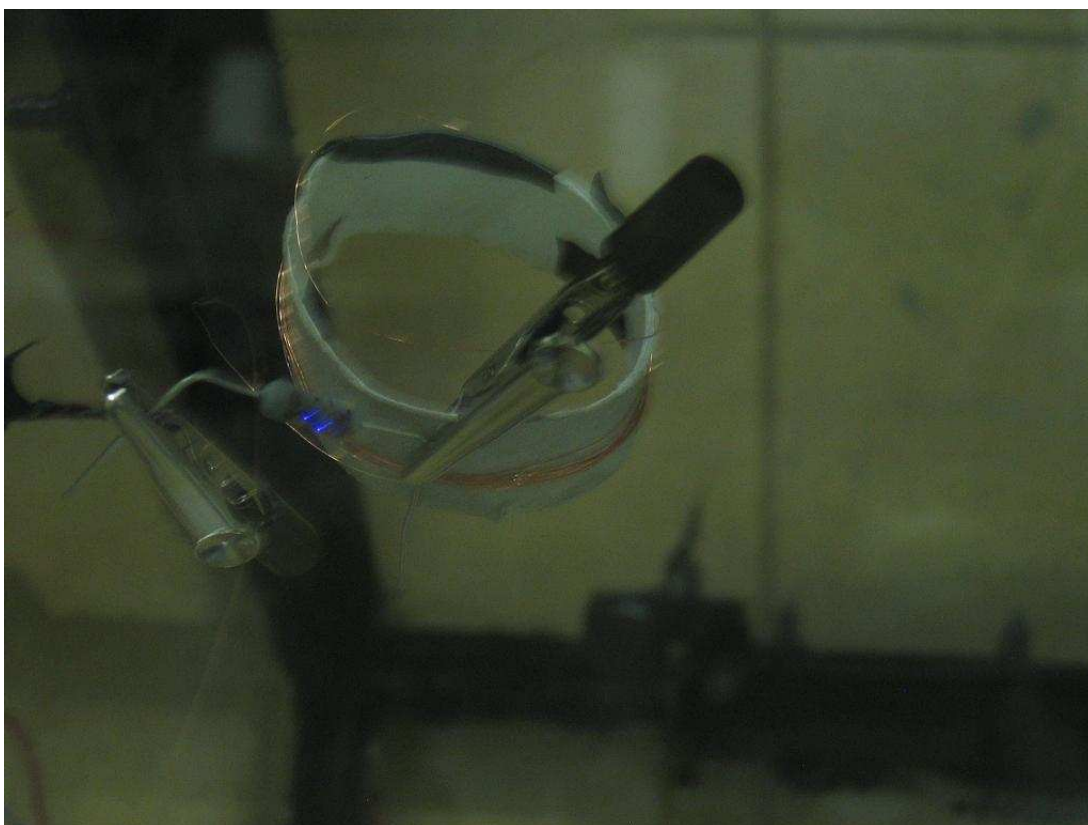


**Obrázok 3.7:** Vytvorenie zmesi vzduchu a dusíka v boxe



### 3.2.2 Problémy pri práci s dusíkom

Pri naplňovaní boxu dusíkom, sme museli nechať veko boxu neprichytené, kvôli tomu, že dusík vyvíjal na steny boxu dosť značný tlak a mohlo by sa stať, že by to naša konštrukcia boxu nevydržala. Ďalším problémom bol fakt, že dusík je o niečo ľahším plynom ako je vzduch. Pri našom meraní to znamenalo, že vplyvom poklesu vztlakovej sily, ktorá pôsobila na lifter, sa zvyšovala hodnota zaťaženia, ktorá bola meraná analytickými váhami počas celého merania. Táto hodnota nemala tendenciu ustáliť sa, takže sme museli začať s vlastným meraním bez toho, aby sme vedeli počiatočnú hodnotu zaťaženia váh. Ako počiatočnú hodnotu sme brali poslednú odčítanú hodnotu pred prvým zvýšením napájacieho napätia. Problém sme tiež mali s ochranným odporom, ktorý sa nám po viacerých pokusoch nakoniec prepálil.



**Obrázok 3.8:** Prepálený ochranný odpor s viditeľným korónovým výbojom

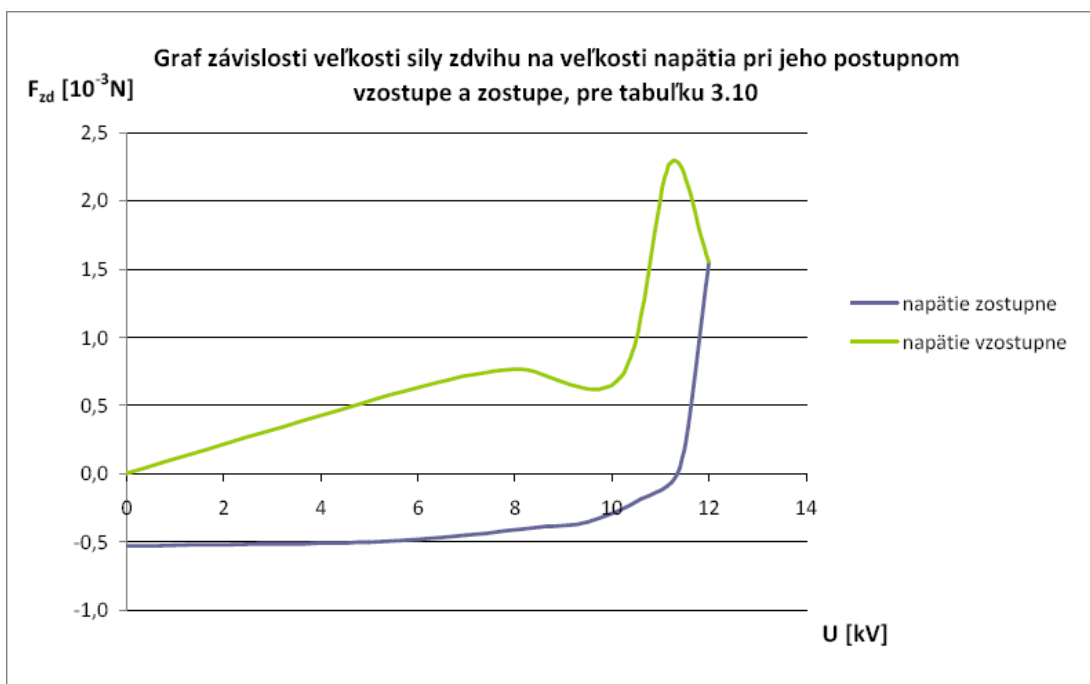
### 3.2.3 Vlastné meranie s liftrom B1

Pri meraní s liftrom B1 sme si dali za úlohu zmerať tú istú závislosť ako tomu bolo v prípade merania z liftrami radu C. Rozlišovali sme dve prostredia, v ktorých bol umiestnený lifter. Prvé prostredie tvorené vzduchom a druhé tvorené spomínanou zmesou vzduchu a dusíka.

| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí v plynch rôzneho zloženia |                                       |                                         |                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                             | 3.10                                  |                                         |                                    |
| Typ liftra :                                                                   | B1                                    |                                         |                                    |
| Podstava liftra :                                                              | rovnostranný trojuholník so stranou : | 130 [mm]                                |                                    |
| Vzdialenosť elektród :                                                         |                                       | 25 [mm]                                 |                                    |
| Spôsob napájania :                                                             | horná elektróda :                     | drôtik :                                | kladný pól vysokonapäťového zdroja |
|                                                                                | dolná elektróda :                     | fólia :                                 | zem                                |
| Ochranný odpor :                                                               | 470k / 2W                             |                                         |                                    |
| Okolité prostredie :                                                           | zmes vzduchu a dusíka                 |                                         |                                    |
| Konštanty :                                                                    | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : | $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |                                    |
| U [kV]                                                                         | m [g]                                 | $m_{op}$ [g]                            | $F_{zd}$ [ $10^{-3}$ N]            |
| 0                                                                              | 2,252                                 | 2,306                                   | 0,000                              |
| 6                                                                              | 2,242                                 |                                         | 0,628                              |
| 8                                                                              | 2,228                                 |                                         | 0,765                              |
| 10,2                                                                           | 2,233                                 |                                         | 0,716                              |
| 11,2                                                                           | 2,074                                 |                                         | 2,276                              |
| 12                                                                             | 2,148                                 |                                         | 1,550                              |
| 11,4                                                                           | 2,302                                 |                                         | 0,039                              |
| 10,6                                                                           | 2,325                                 |                                         | -0,186                             |
| 9,5                                                                            | 2,342                                 |                                         | -0,353                             |
| 8,5                                                                            | 2,346                                 |                                         | -0,392                             |
| 7                                                                              | 2,352                                 |                                         | -0,451                             |
| 5                                                                              | 2,357                                 |                                         | -0,500                             |
| 0                                                                              | 2,36                                  |                                         | -0,530                             |

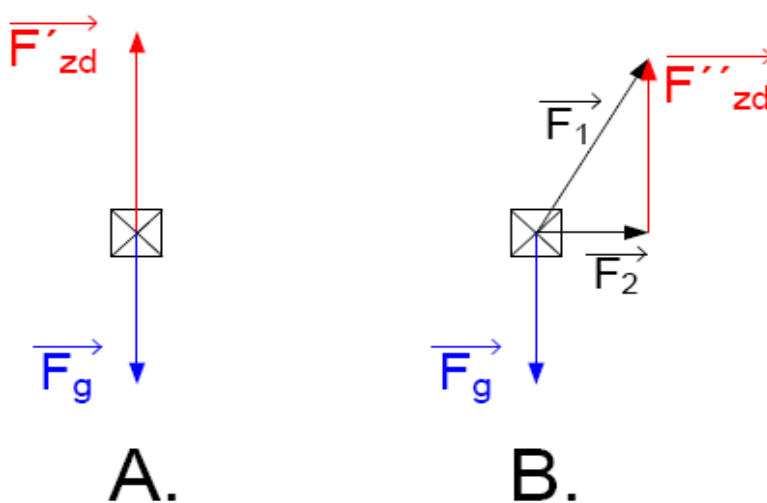
**Tabuľka 3.10:** Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter B1 v prostredí vzduch a dusík

Podobne ako tomu bolo v tabuľke 3.6 alebo 3.8 i táto tabuľka zaznamenáva rast i pokles veľkosti sily zdvihu, pri postupnom zvyšovaní a následnom znižovaní napájacieho napätia. Ako hodnotu, pri ktorej sme začali znižovať napätie, sme brali už 12 kV. Bolo to spôsobené tým, že pri prechode z hodnoty 11,2 kV na hodnotu 12 kV došlo k zvýšeniu zaťaženia analytických váh. Lepšie to bude vidieť z grafu 3.13.



**Graf 3.13:** Graf závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.10

Pre hodnotu 12 kV vidieť z grafu pomerne výrazný pokles veľkosti sily zdvihu. Pri tomto meraní sme zachytili nestabilné chovanie sa liftra B1. Pravdepodobne bola táto nestabilita spôsobená narušením symetrie konštrukcie liftra. Táto symetria mohla byť narušená vplyvom nesprávneho uchytienia prírodných vodičov, alebo priamo pri výrobe tohto liftra. Nestabilným chovaním liftra máme na mysli stav, kedy lifter nemá tendenciu stúpať zvisle nahor, ale je nakláňaný na niektorú jeho stranu. Pri našich meraniach sa takáto nestabilita prejavila viackrát. Takýto stav, kedy lifter nestúpa priamo nahor, ale má tendenciu nakláňať sa, vyúsťuje do náklonu vektora sily zdvihu, na miesto toho, aby smeroval nahor. Ak dôjde k náklonu vektora, tento sa rozdelí do dvoch zložiek. Zložka smerujúca zvisle nahor bude potom odpovedať novej hodnote sily zdvihu. Problém je vidieť z obrázka 3.9.



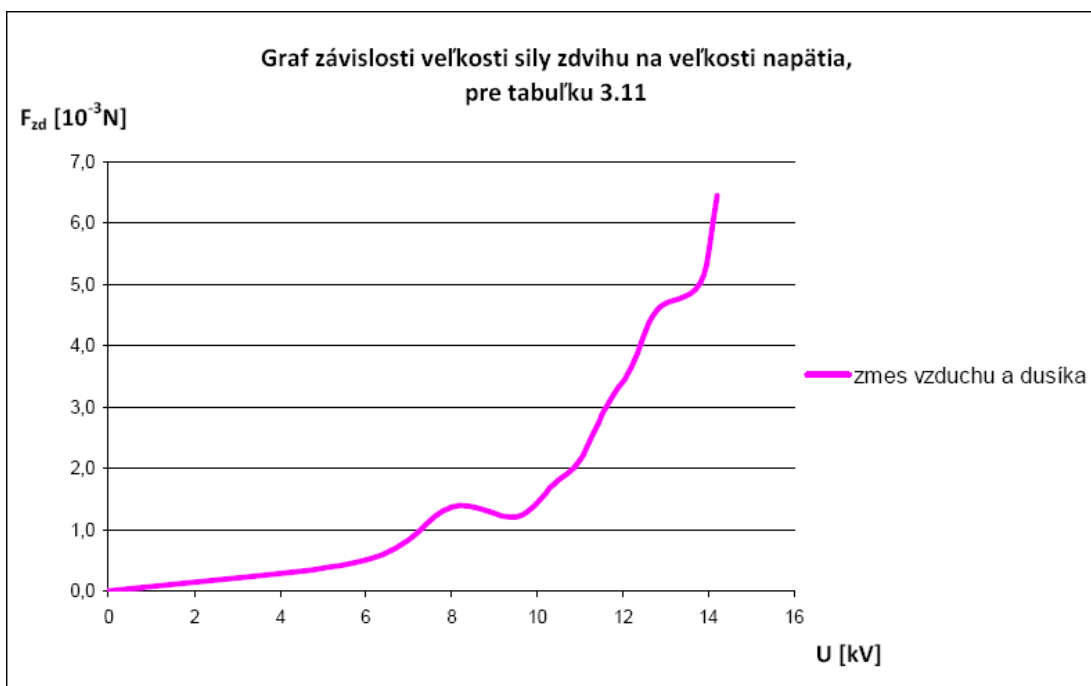
$$F'_{zd} = F_1$$

$$F'_{zd} > F''_{zd}$$

**Obrázok 3.9:** Časť A: zobrazenie princípu pôsobenia sily zdvihu, ak je lifter stabilný a stúpa smerom nahor. Časť B: lifter je nestabilný, nakláňa sa do strán

| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí v plynoch rôzneho zloženia |                                       |                                         |                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                              | 3.11                                  |                                         |                                    |
| Typ liftra :                                                                    | B1                                    |                                         |                                    |
| Podstava liftra :                                                               | rovnostranný trojuholník so stranou : | 130 [mm]                                |                                    |
| Vzdialenosť elektród :                                                          |                                       | 25 [mm]                                 |                                    |
| Spôsob napájania :                                                              | horná elektróda :                     | drôtik :                                | kladný pól vysokonapäťového zdroja |
|                                                                                 | dolná elektróda :                     | fólia :                                 | zem                                |
| Ochranný odpor :                                                                | bez                                   |                                         |                                    |
| Okolité prostredie :                                                            | zmes vzduchu a dusíka                 |                                         |                                    |
| Konštanty :                                                                     | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : | $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |                                    |
| Poradové číslo                                                                  | U [kV]                                | m [g]                                   | $F_{zd} [10^{-3} \text{ N}]$       |
| 0                                                                               | 0                                     | 2,393                                   | 0,000                              |
| 1                                                                               | 6                                     | 2,342                                   | 0,500                              |
| 2                                                                               | 8                                     | 2,254                                   | 1,364                              |
| 3                                                                               | 9,5                                   | 2,270                                   | 1,207                              |
| 4                                                                               | 10,4                                  | 2,216                                   | 1,736                              |
| 5                                                                               | 11                                    | 2,176                                   | 2,129                              |
| 6                                                                               | 11,6                                  | 2,089                                   | 2,982                              |
| 7                                                                               | 12,2                                  | 2,021                                   | 3,649                              |
| 8                                                                               | 12,8                                  | 1,926                                   | 4,581                              |
| 9                                                                               | 13,8                                  | 1,880                                   | 5,033                              |
| 10                                                                              | 14,2                                  | 1,735                                   | 6,455                              |

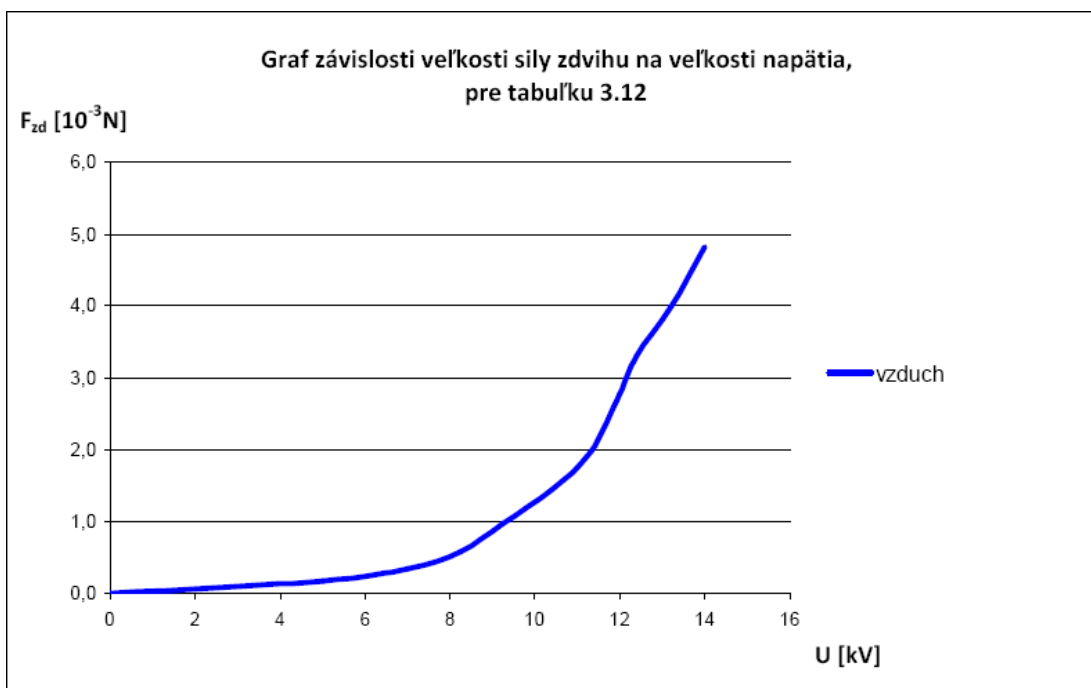
**Tabuľka 3.11:** Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter B1 v prostredí vzduchu a dusík



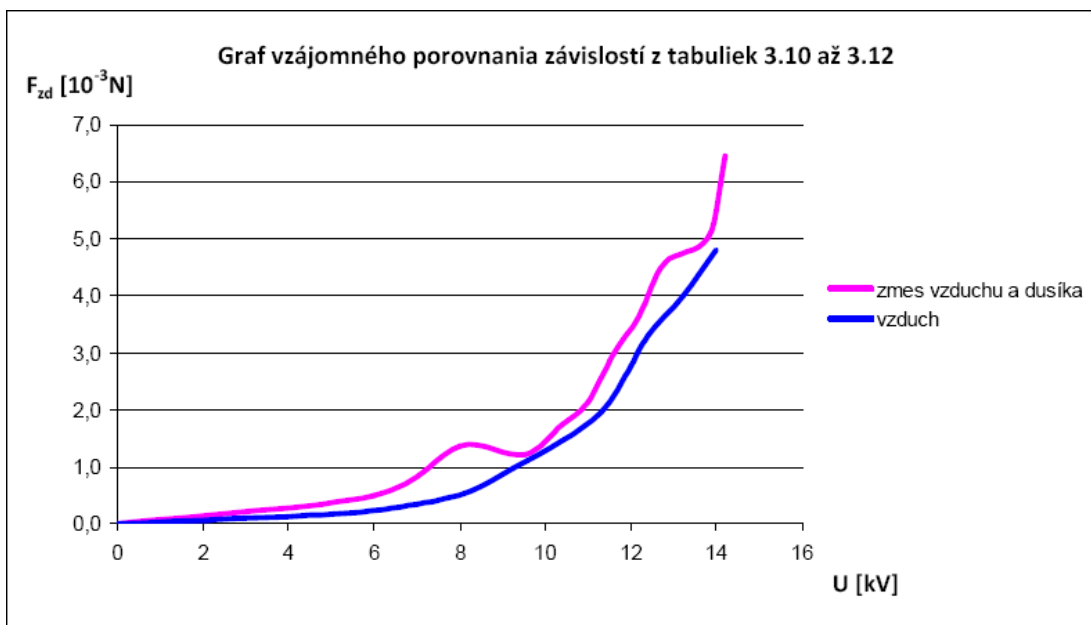
**Graf 3.14:** Graf závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.11

| Tabuľka pre meranie závislosti sily zdvihu na napätí v plynch rôzneho zloženia |                                       |          |                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------|-----------------------------------------|
| Značenie tabuľky :                                                             | 3.12                                  |          |                                         |
| Typ liftra :                                                                   | B1                                    |          |                                         |
| Podstava liftra :                                                              | rovnostranný trojuholník so stranou : | 130 [mm] |                                         |
| Vzdialenosť elektród :                                                         |                                       | 25 [mm]  |                                         |
| Spôsob napájania :                                                             | horná elektróda :                     | drôtik : | kladný pól vysokonapäťového zdroja      |
|                                                                                | dolná elektróda :                     | fólia :  | zem                                     |
| Ochranný odpor :                                                               | bez                                   |          |                                         |
| Okolité prostredie :                                                           | vzduch                                |          |                                         |
| Konštanty :                                                                    | Hodnota tiažového zrýchlenia v Brne : |          | $g = 9,809980 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$ |
| Poradové číslo                                                                 | U [kV]                                | m [g]    | $F_{zd} [10^{-3} \text{ N}]$            |
| 0                                                                              | 0                                     | 2,226    | 0,000                                   |
| 1                                                                              | 5                                     | 2,234    | 0,177                                   |
| 2                                                                              | 7                                     | 2,217    | 0,343                                   |
| 3                                                                              | 8,25                                  | 2,193    | 0,579                                   |
| 4                                                                              | 9,25                                  | 2,153    | 0,971                                   |
| 5                                                                              | 10,4                                  | 2,104    | 1,452                                   |
| 6                                                                              | 11,3                                  | 2,052    | 1,962                                   |
| 7                                                                              | 12                                    | 1,969    | 2,776                                   |
| 8                                                                              | 12,4                                  | 1,915    | 3,306                                   |
| 9                                                                              | 13,2                                  | 1,845    | 3,993                                   |
| 10                                                                             | 14                                    | 1,761    | 4,817                                   |

**Tabuľka 3.12:** Závislosť sily zdvihu na napätí pre lifter B1 v prostredí  
vzduch

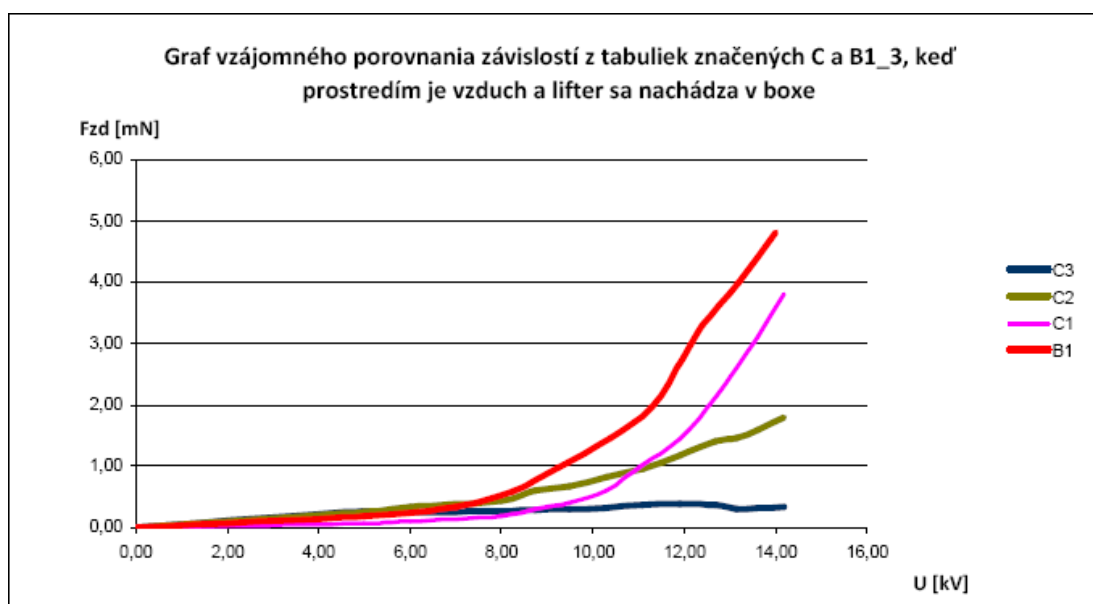


**Graf 3.15:** Graf závislosti veľkosti síly zdvihu na veľkosti napätia tabuľky 3.12



**Graf 3.16:** Graf vzájomného porovnania závislostí z tabuliek 3.10 až 3.12

Na závislosti z grafu 3.14 je vidieť, že rast veľkosti sily zdvihu nebol taký plynulý pre prostredie, tvorené zmesou vzduchu a dusíka, ako pre vzduch. Domnievame sa, že to bolo práve kvôli postupnej zmene vztlakovej sily, ktorá pôsobila na lifter B1. Z grafu 3.16 je vidieť, že pre zmes vzduchu a dusíku dosahovala veľkosť sily zdvihu výrazne vyšších hodnôt až v oblasti od zhruba 13,8 kV. Hodnote 13,8 kV podľa tabuľky 3.11 odpovedala veľkosť sily zdvihu  $5,033 \cdot 10^{-3}$  N. Pre blízku hodnotu napätia 13,2 kV z tabuľky 3.12, kde prostredím bol vzduch, vychádzala veľkosť sily zdvihu  $3,993 \cdot 10^{-3}$  N.



**Graf 3.17:** Graf vzájomného porovnania závislostí z grafov pre liftre radu C a lifter B1 konkrétne pre tabuľku 3.12

### **3.2.4 Dosiahnuté výsledky**

Týmto meraním sme zistili, ako sa zmení rast sily zdvihu v závislosti od veľkosti napájacieho napätia, ak prostredím, v ktorom sa lifter nachádza, je namiesto vzduchu zmes vzduchu a dusíka. Graf 3.17 predstavuje doplnenie grafu 3.12 o závislosť z grafu 3.15 Keďže lifter B1 je skonštruovaný s dĺžkou strany 13 cm, znovu sme potvrdili, že rozmery liftra zohrávajú pri náraste veľkosti sily zdvihu významnú rolu. Lifter B1 sme mohli porovnať priamo z liftrami z radu C preto, lebo svojou hmotnosťou spadla do nami zvolenej hmotnostnej kategórie 2,2 g s presnosťou na jedno desatinné miesto. Tiež sme zistili, že vplyvom zvýšenej koncentrácie dusíka vo vzduchu, dochádza k poklesu vztlakovej sily, ktorá pôsobí na lifter a zvýrazní sa postupný rast veľkosti sily zdvihu pri postupnom zvyšovaní veľkosti napájacieho napätia.



## 4. BEZPEČNOST ZDRAVIA PRI PRÁCI S LIFTROM

### 4.1 NEŽIADUCE VPLYVY IONIZÁCIE

Nasledujúca časť sa venuje nežiaducim vplyvom ionizácie vo vzduchu (ovzdušie). Ovzdušie: kyslík = 20,95%, dusík = 78,08%, oxid uhličitý = 0,035%, argón = 0,934%, ostatné plyny [4].

Po pripojení vysokého napätia rádovo 20 až 30kV na elektródy liftra, pričom testovacie okolie tvorí vzduch, začne dochádzať k ionizácii. Vplyvom ionizácie začnú vznikať vo vzduchu chemické reakcie, ktorých výsledkom je okrem iného škodlivý ozón, ktorý má špecifický zápach, a tiež vznikajú bez zápachové zlúčeniny  $\text{NO}_x$  (vznikajú veľmi rýchlo pôsobením atmosférických oxidantov – napr.  $\text{O}_3$ ). Vplyvom oxidácie oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ) vzniká nitrátový radikál  $\text{NO}_3^*$ . Látky ako  $\text{O}_3$  a  $\text{NO}_x$  sú vo vnútornom prostredí nežiaduce. Najvyššie prípustné koncentrácie týchto zlúčenín sú zaznamenané v tabuľke.

| Látky nežiaduce vo vnútornom prostredí | NPK-P [ $\text{mgm}^{-3}$ ] | NPK-O [ $\text{mgm}^{-3}$ ] |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| CO                                     | 150                         | 6                           |
| NO <sub>x</sub>                        | -----                       | 0,1                         |
| O <sub>3</sub>                         | 0,2                         | -----                       |

**Tabuľka 4.1:** Najvyššie prípustné koncentrácie CO, NO<sub>x</sub> a O<sub>3</sub> v prostredí

NPK-P ... predstavuje najvyššiu prípustnú hodnotu koncentrácie v pracovnom prostredí.

NPK-O ... predstavuje najvyššiu prípustnú hodnotu koncentrácie v obytnom prostredí .

Z tabuľky vyplýva, že v obytnom prostredí by sa nemal  $\text{O}_3$  vôbec vyskytovať. V skutočnosti je jeho priemerná koncentrácia stanovená na  $39 \mu\text{gm}^{-3}$ . [3]

#### 4.1.1 Možný dopad na ľudský organizmus

Domnievame sa, že pri použití jednosmerného zdroja vysokého napätia rádovo 30kV a pri dlhodobom zotrvaní v ionizovanom prostredí by mohli byť následky na ľudský organizmus dosť značné. Aby sme mohli presne určiť koncentráciu ozónu, ktorý vzniká pri našich meraniach, nestačí to, že ho je cítiť. Ľudský čuch je totiž dosť citlivý na prítomnosť ozónu, dokáže zachytiť i človeku bezpečnú koncentráciu, rádovo 100ppm (parts-per-million). Museli by sme použiť niektorú z nasledujúcich metód pre meranie koncentrácie ozónu v atmosfére: jodometrická titrácia (chemická metóda), spektrofotometrické meranie (najpresnejšie je meranie na UV spektrofotometroch). Keďže sme doposiaľ neboli schopní urobiť toto meranie budeme uvažovať nasledovné prípady dopadu na ľudský organizmus:

##### 4.1.1.1 Oxidačný stres

Pri porušení rovnováhy medzi vznikom a odstraňovaním reaktívnych foriem kyslíka (ROS) a dusíka (RNS) dochádza k oxidačnému stresu, ktorý môže byť vyvolaný nadprodukciou RONS (reactive oxygen and nitrogen species) alebo nedostatočnou funkciou antioxidačného ochranného systému alebo kombináciou oboch [3].

##### 4.1.1.2 Oxidačné poškodenie proteínov

*„Významnými terčovými molekulami reaktívnych radikálov sú proteíny. Niektoré ROS a RNS môžu priamo oxidovať rôzne proteíny a aminokyselinové jednotky v nich prítomné. RONS modifikujú aminokyselinové jednotky v proteínoch a tým menia ich pôvodnú konformáciu. Zmena konformácie bielkoviny má za následok zmenu alebo stratu biologickej funkčnosti“ [3].*

##### 4.1.1.3 Oxidačné poškodenie DNA

*„Podobne ako lipidy a proteíny, tiež DNA sú poškodzované ROS a RNS. Nukleové kyseliny sú na oxidačné poškodenie osobitne citlivé. Najčastejšie je príčinou poškodenia DNA: ionizujúce žiarenie, fotooxidácia, ROS najmä hydroxylový radikál, RNS ako aj iné oxidačné činidlá“ [3].*

## **4.2 ŽIADUCE VPLYVY IONIZÁCIE**

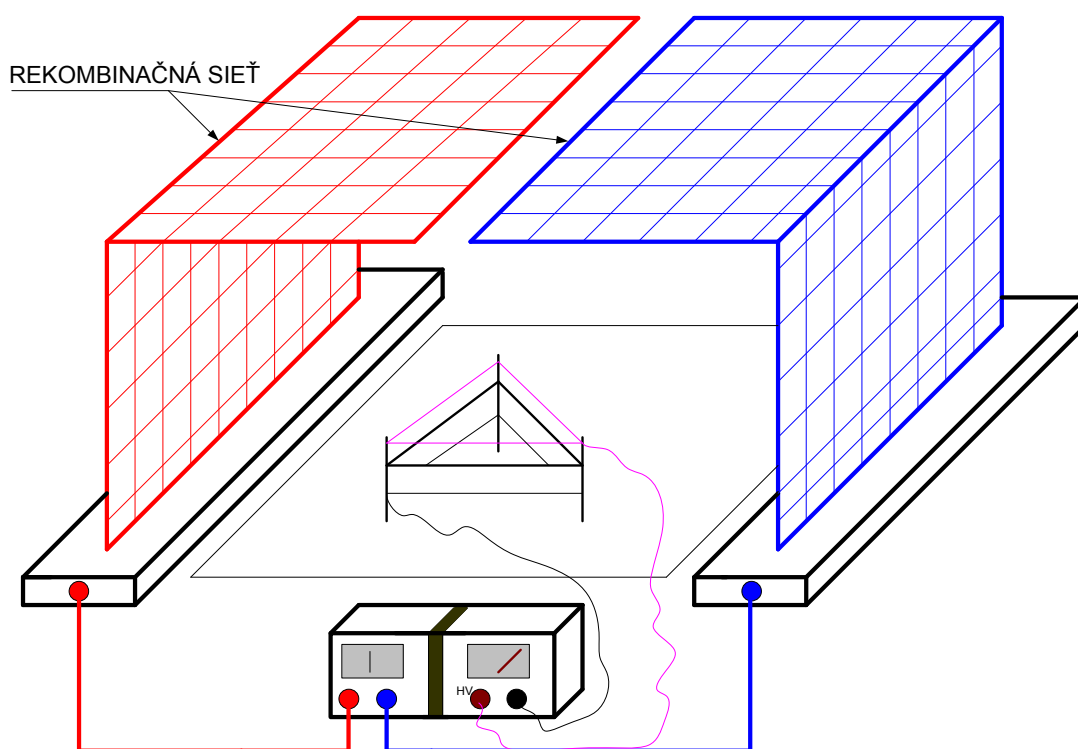
Okrem toho čo bolo spomenuté vyššie, vieme že vplyvom ionizácie budú vznikať voľné elektróny a pozitívne ióny. Elektróny sa spoja s neutrálnymi molekulami a vytvoria tak negatívne ióny. Viacerými pokusmi bol dokázaný priaznivý vplyv rýchlych negatívnych iónov, ktoré vznikajú ionizáciou vzduchu (napríklad bol dokázaný pozitívny vplyv týchto iónov v jaskyniach Moravského krasu). Pôsobia na dýchacie cesty. Okrem toho sa uvádza, že hrajú významnú úlohu pri čistení krvi. Bolo by zaujímavé vedieť, v akej koncentrácii sú tieto rýchle negatívne ióny zastúpené pri ionizácii, ktorá vzniká pri našich pokusoch. Na meranie tejto koncentrácie sa najčastejšie používa aspiračný kondenzátor. Pretože z technických dôvodov sme doteraz nemohli vykonať presné merania, urobili sme aspoň približné odhady na základe výsledkov iných meraní.

## **4.3 NÁVRH METÓD PRE ZABRÁNENIE STYKU ČLOVEKA S IONIZOVANÝM VZDUCHOM**

Keďže sme doposiaľ neboli schopní presne určiť koncentrácie škodlivých zlúčenín, ktoré vznikajú vplyvom ionizácie pri našich meraniach, musíme navrhnúť spôsob ako zabrániť inhalácii týchto zlúčenín. Nižšie uvádzané návrhy neboli doposiaľ otestované, sú len výsledkom našich úvah o riešení problému zamedzenia inhalácie škodlivých zlúčenín  $\text{NO}_x$  a  $\text{O}_3$ .

### **4.3.1 Rekombinačná sieť napájaná zdrojom jednosmerného nízkeho napätia**

Prvý pomerne jednoduchý spôsob ako zabrániť inhalácii škodlivých iónov je vytvorenie rekombinačnej siete, ktorá by bola napájaná zo zdroja jednosmerného nízkeho napätia a kladné a záporné ióny by pri dopade na ňu boli zneutralizované. Problém je ale v tom, že nevieme v akom stave vznikajú molekuly  $\text{NO}_x$  a  $\text{O}_3$ . Ak by tieto molekuly boli neutrálne, tak ich pravdepodobne takáto rekombinačná sieť nezachytí. Principiálny návrh testovacieho pracoviska s takouto rekombinačnou sieťou je zobrazený na obrázku 4.1.



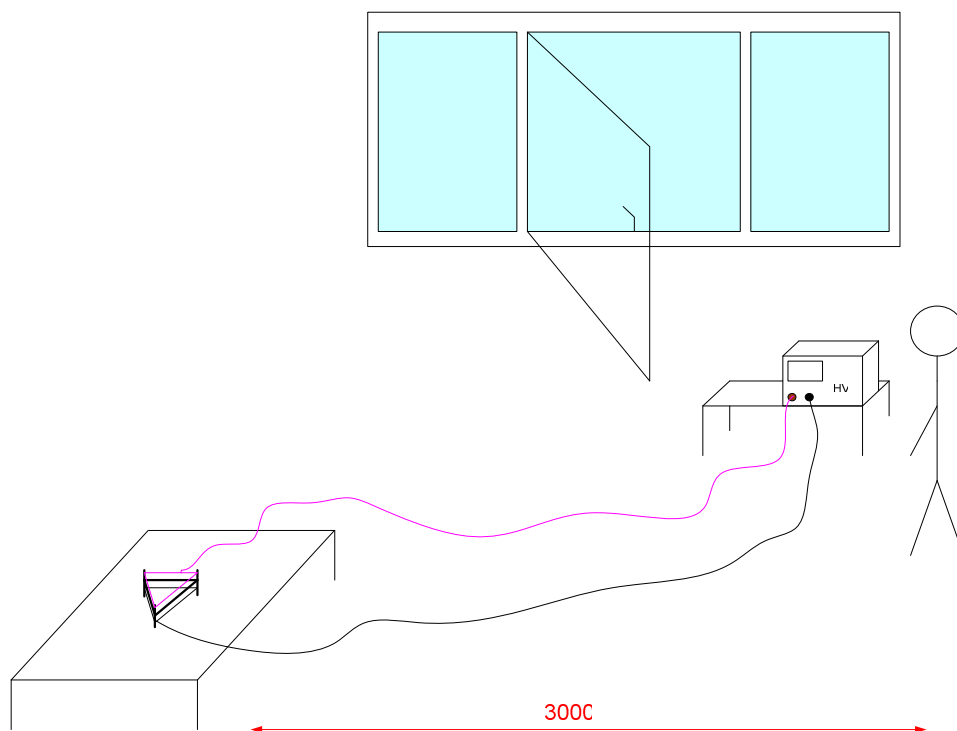
Obrázok 4.1: Použitie rekombinačnej siete

#### 4.3.2 Rekombinačná sieť vodivo spojená priamo so zemským povrchom

Ak by sme skonštruovali rekombinačnú sieť a nepripojili ju na zdroj jednosmerného nízkeho napätia, ale priamo by sme ju vodivo spojili so zemským povrchom, tak by sme docielili, že kladné ióny by boli na tejto sieti neutralizované, keďže zemský povrch má najčastejšie záporný potenciál (za istých podmienok by mohol mať zemský povrch i kladný potenciál) a prejsť cez túto sieť by dokázali iba rýchle negatívne ióny, ktorých blahodarný vplyv na ľudský organizmus bol dokázaný. Stále však nevieme teoreticky vyriešiť problém so škodlivými zlúčeninami  $\text{NO}_x$  a  $\text{O}_3$ . Aby sme dokázali, že ich vplyv sa zamedzí, museli by sme urobiť radu meraní zameraných na zisťovanie koncentrácie týchto zlúčenín.

### 4.3.3 Zamedzenie inhalácie škodlivých zlúčenín $\text{NO}_x$ a $\text{O}_3$ človekom pomocou ochranného pásma

Ďalšou možnosťou ako zamedziť priamemu styku človeka so škodlivými vplyvmi ionizácie je ochrana polohou. Táto metóda spočíva v tom, že človek bude chránený svojou polohou vzhľadom k levitujúcemu zariadeniu (lifter) a miestnosť, v ktorej sa meranie vykonáva, bude riadne odvetrávaná. Principiálne riešenie tohto návrhu je na obrázku 4.2.

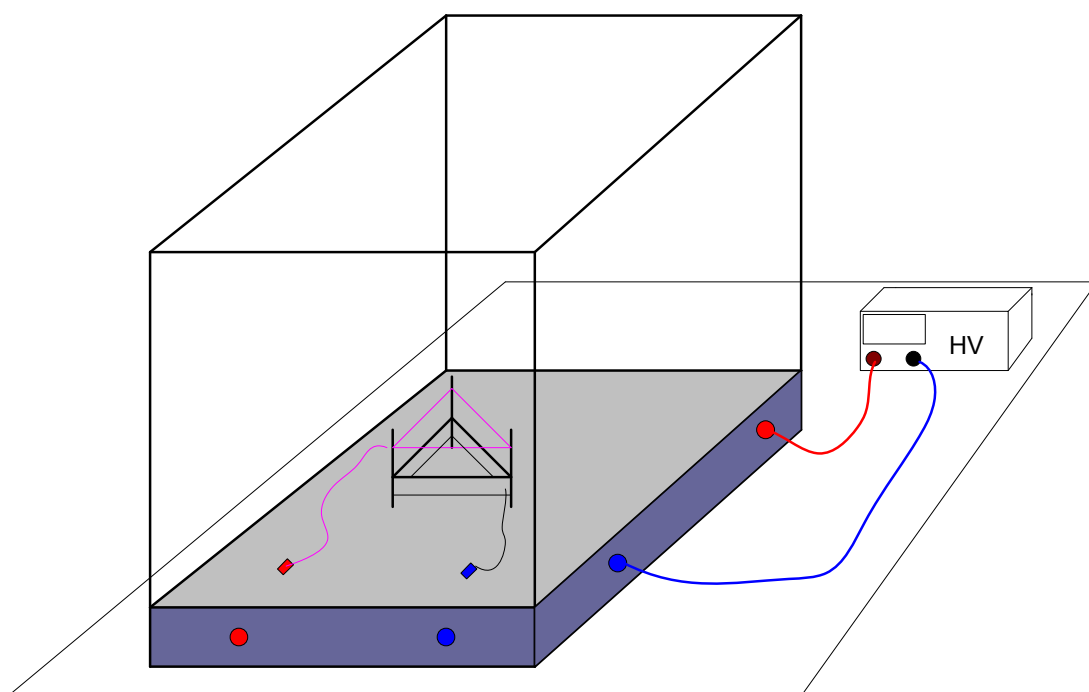


**Obrázok 4.2:** Ochrana polohou

Takúto ochranu pred škodlivými vlastnosťami ionizácie máme odskúšanú. Pri dodržaní vzdialenosti okolo 3 metrov od testovaného zariadenia a pri nepretržitom odvetrávaní miestnosti nie je nebezpečenstvo inhalácie  $\text{O}_3$ , keďže ho nie je vôbec cítiť. Otázka toho ako sa uplatnia zlúčeniny  $\text{NO}_x$  nie je zatiaľ vyriešená, keďže ľudský čuch nedokáže zachytiť jeho prítomnosť.

#### 4.3.4 Izolovanie liftra od okolitého prostredia pomocou boxu

Hlavnou myšlienkou tejto metódy bolo úplne odizolovať lifter od prostredia, v ktorom sa nachádza človek, ktorý riadi celý proces testovania. Výhodou boxu je to, že je možné ho použiť na testovanie liftra v plynach rôzneho zloženia. Box musí umožňovať bezpečne plyn napustiť ako aj bezpečne plyn vypustiť. Musí byť dobre vyriešená otázka napájania, aby nedochádzalo k vnútorným skratom medzi napájacími svorkami. Bližšie informácie o problematike návrhu boxu budú uvedené v bakalárskej práci Michala Bartoša. Na obrázku 4.3 je vidieť principiálnu ukážku testovacieho pracoviska pri použití boxu.



**Obrázok 4.3:** Principiálny návrh boxu

#### 4.4 BEZPEČNOST PŘI PRÁCI SO ZDROJOM JEDNOSMERNÉHO NAPĚTIA O VEĽKOSTI DO 50KV

Aby bol náš lifter schopný levitácie, musí byť napájaný zdrojom jednosmerného vysokého napätia v rozmedzí od 15-30kV. Lifter je napájaný tak, že na jeho hornú elektródu (medený drôtik z priemerom 0.1 mm) sa pripája napätie v rozmedzí 15 kV až 30kV a na jeho spodnú elektródu (potravinárska hliníková fólia) sa privádza zem.

Je potrebné zabezpečiť, aby spodná elektróda bola poriadne uzemnená, to jest priamo spojená so povrchom Zeme, alebo riadne spojená s kostrou zdroja, ktorá je priamo spojená s povrchom Zeme. Pracovisko sa pripraví tak, aby bolo riadne odizolované od podlahy a od prírodných vodičov. V blízkom okolí zdroja jednosmerného vysokého napätia i v blízkom okolí samotného liftra sa nemôžu nachádzať žiadne vodivé predmety alebo ľudia. Takisto regulačné zariadenie, ktorým osoba, ktorá meranie vykonáva a plynule reguluje výstupné napätie, musí byť v dostatočnej vzdialenosti od meracieho pracoviska.

Prierazné napätie vzduchu závisí od jeho zloženia a hlavne od koncentrácie vodných pár. Približná hodnota napätia, pri ktorom dôjde k prierazu vzduchovej medzery o veľkosti 1 mm sa udáva 1 kV (tento údaj sme si mali možnosť sami overiť na nami zhotovených iskriacich svorkách). Naša odporúčaná minimálna vzdialenosť od meracieho pracoviska je 1 m. Keďže hrozí i nebezpečenstvo inhalácie škodlivých zlúčenín, ktoré vznikajú pri ionizácii vzduchu medzi elektródami liftra, odporúčame vyššie spomínanú vzdialenosť 3 m.

Po dokončení každého čiastkového merania je potrebné zdroj odpojiť od napájania a svorky vysokonapäťového jednosmerného zdroja poriadne skratovať. Následne je možné manipulovať s liftrom. Pri všetkých meraniach je nutná prítomnosť osoby spôsobilej pracovať so zdrojom vysokého napätia.

## 5. ZÁVER

Touto prácou sme nadviazali na semestrálny projekt ako i na našu publikáciu z konferencie New Trends in Physics 2007, ktoré boli úvodom do problematiky levitácie v elektrostatickom poli.

Navrhli sme konštrukcie liftrov, ktoré sme i skonštruovali a použili pri meraní závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napájacieho napätia. Zamysleli sme sa aj nad neštandardnými konštrukciami, ktoré sme doposiaľ ani nevyrobili, ani netestovali. Okrem tých konštrukcií, ktoré boli spomínané v druhej kapitole tejto práce, sme skonštruovali radu iných liftrov, ktoré boli zničené, alebo inak poškodené.

Kým sa nám podarilo urobiť zmysluplné meranie, stálo nás to veľa úsilia a trpezlivosti. Naše merania boli sprevádzané radou neúspechov, ktoré spočívali v tom, že sa nám skoro pri každom meraní odpaľovala horná elektróda, tvorená medeným drôtom.

Najcitlivejším miestom bol prívod k hornej elektróde. Snažili sme sa preto neustále vylepšovať technológiu uchytenia hornej elektródy. Napríklad sme použili koráliky, cez ktoré sme prevliekali medený drôt, aby sa zlepšilo jeho odizolovanie v rohoch konštrukcie. Ani tento spôsob ale nevyriešil problém s odpaľovaním drôtika. Nakoniec sme začali vytvárať konštrukcie, kde sme začali používať pre materiál nosníkov slamky. Tieto slamky boli v podstate prešívané drôtom. Takáto konštrukcia uspokojivo nevyriešila problém s odpaľovaním drôtu, ale výrazne ho potlačila. Nakoniec sme tento problém vyriešili tak, že sme obmedzili maximálnu veľkosť napätia, čím sme zbavili lifter možnosti, aby sa dostal do stavu, kedy by bol schopný levitovať.

Za takýchto podmienok sa nám podarilo urobiť merania závislosti veľkosti sily zdvihu na veľkosti napájacieho napätia pre rôzne konštrukcie liftrov a za prítomnosti plynov rôzneho zloženia, čím sme splnili požiadavky na túto bakalársku prácu z oblasti merania. V poslednom bode sme rozobrali problematiku bezpečnosti práce s liftrom. Tu treba pripomenúť, že pri meraní s liftrom skutočne vznikajú škodlivé zlúčeniny, ako je ozón alebo NO<sub>x</sub> (napr. NO<sub>2</sub>). Doposiaľ sme však nezmerali ich koncentráciu, takže nemôžeme tvrdiť, že ich vzniknutá koncentrácia je



človeku nebezpečná, ani že je bezpečná. Takže sme aspoň vytvorili také podmienky pri meraní, že nedošlo k inhalácii plynu, ktorý obklopoval lifter.

Na záver je dôležité pripomenúť, že levitácia a javy s ňou spojené, sa čoraz viac a viac stávajú záujmom vedeckých tímov, univerzít a vysokých škôl a dokonca sa tento trend začína dostávať už aj na stredné školy. Je len otázkou času, kedy sa začnú tieto teórie vo veľkom prakticky realizovať a kedy sa začnú ukazovať i nové, možno efektívnejšie a zdraviu menej škodlivé možnosti levitácie.

## 6. POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] BUDAY, M. – BARTOŠ, M., Plasmagnetic levitation theory . In *New Trends in Physics November 15-16, 2007 Brno, Czech republic*, Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav fyziky, 2007. ISBN 978-80-7355-078-3, s. 209 – 212
- [2] VEVERKA, O., Fyzikální praktikum, červenec 1985, VUT v Brně, s. 22 - 25
- [3] PROUSEK, Jozef. Rizikové vlastnosti látok, STU v Bratislave, 2005, ISBN 80-227-2199-9, s. 25, 26, 180, 185, 186.
- [4] ŠKÁRKA, B. – POLÍVKA, L. – FENDRICH, E. – HOSTÍN, S. – LACUŠKA, M., Enviromentálna chémia, STU v Bratislave, 2003, ISBN 80-227-1973, s. 18
- [5] NAUDIN, J., dátum posledného prístupu: 25.5.2008, dostupné z: <<http://jnaudin.free.fr/lifters/main.htm>>

