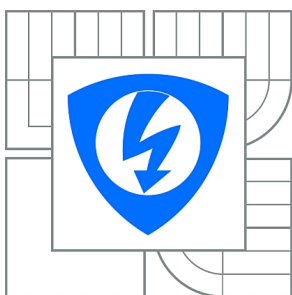


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
TECHNOLOGY

IONTOVÁ POLE RŮZNÉHO DRUHU A ZPŮSOBY JEJICH MĚŘENÍ

IONIC FIELDS OF VARIOUS KINDS AND METHOD OF MEASUREMENT.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

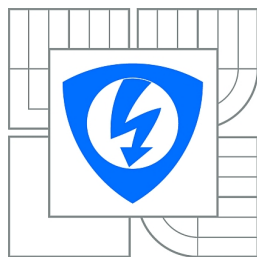
ONDŘEJ GUBANI

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ VOGNAR

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Ondřej Gubani

ID: 73036

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Iontová pole různého druhu a způsoby jejich měření

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodami měření koncentrace a pohyblivosti různých druhů iontů. Popište původ a existenci různých druhů iontů, měření jejich koncentrace a spektrální charakteristiky včetně vlivu různých druhů iontů na živé organismy.

Ověřte funkci proudového zrcadla pomocí trojrozměrných spektrálních charakteristik. Výsledky měření vyhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 3.6.2010

Vedoucí práce: Ing. Jiří Vognar

prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Ve vzduchu jsou kladně a záporně nabitě ionty s rozdílnou pohyblivostí a velikostí. Je znám léčebný účinek negativních iontů s vysokou pohyblivostí. Vysoká koncentrace záporných iontů se vyskytuje ve speleoterapeutických jeskyních. Tato práce seznamuje s metodami měření koncentrace a pohyblivostí různých druhů iontů a jejich vyhodnocením pomocí spektrálních charakteristik. Ověřuje vliv proudového zrcadla na koncentraci iontů v prostoru. Také se zabývá účinkem různých druhů iontů na živé organismy a vhodnou úpravou prostorů pro výskyt záporných iontů.

Abstract

In the air there are positively and negatively charged ions with different mobility and size. The therapeutic effect of negative ions with high mobility is known. High concentration of negative ions occurs in speleotherapeutic caves. This bachelor thesis introduces the methods of measuring the concentration and mobility of various kinds of ions and their evaluation by spectral characteristics. It verifies the current mirror effect on the ions' concentration in space. It also examines the effect of different types of ions in living organisms and an appropriate area treatment for the occurrence of negative ions.

Klíčová slova

Iont, ionty, ovzduší, koncentrace, radiační charakteristika, saturační charakteristika, proudové zrcadlo.

Key words

Iont, ions, atmosphere, radiation characteristic, saturation characteristic, current mirror effect.

Bibliografická citace

GUBANI, O. *Iontová pole různého druhu a způsoby jejich měření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Vognar.

Prohlášení autora o původnosti díla

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 27. 5. 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Vognarovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc.

Zvláštní poděkování patří Ing. Zdeňku Buřivalovi, CSc., za jeho ochotu a cenné informace při měření a zpracovávání semestrálního projektu.

OBSAH

ÚVOD	7
1 TEORETICKÝ ÚVOD	8
1.1 DEFINICE IONTŮ	8
1.2 VZNIK IONTŮ	8
1.3 ZÁNİK IONTŮ.....	9
1.4 ROZDĚLENÍ IONTŮ	10
2 VLIVY OVLIVŇUJÍCÍ KONCENTRACI IONTŮ	11
2.1 METEOROLOGICKÉ FAKTORY.....	11
2.2 STAVEBNÍ KONSTRUKCE	11
2.3 KLIMATIZACE	11
2.4 LIDSKÁ ČINNOST	11
2.5 SPOTŘEBNÍ ELEKTRONIKA.....	11
2.6 ROČNÍ A DENNÍ OBDOBÍ.....	12
3 VLIV IONTŮ NA ŽIVÉ ORGANIZMY.....	13
3.1 VLIV IONTŮ NA ČLOVĚKA	13
3.1.1 <i>Záporné ionty</i>	13
3.1.2 <i>Kladné ionty</i>	13
3.2 VLIV ZÁPORNÝCH IONTŮ NA MIKROBIÁLNÍ ČISTOTU VZDUCHU	14
4 MIKROKLIMA V BUDOVÁCH	15
4.1 SYNDROM NEMOCNÝCH BUDOV (SBS)	15
4.2 MÍSTNOSTI UVNITŘ DOMU, ÚPRAVY STĚN A PODLAH.....	15
5 MĚŘENÍ KONCENTRACE IONTŮ.....	18
5.1 MĚŘENÍ POMOCÍ VÁLCOVÉHO ASPIRAČNÍHO KONDENZÁTORU	18
5.2 SPEKTRÁLNÍ CHARAKTERISTIKA	20
6 POSTUP MĚŘENÍ.....	21
6.1 MĚŘENÍ KONCENTRACE IONTŮ V PROSTORU	21
6.1.1 <i>Koncentrace iontů v prostoru před drátkovým ionizátorem</i>	21
6.2 ZÁSADY MĚŘENÍ.....	23
7 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ.....	24
7.1 KONCENTRACE IONTŮ VYZAŘOVANÉ IONIZÁTOREM BIV06.....	24
7.2 SPEKTRÁLNÍ CHARAKTERISTIKA ZDROJE IONTŮ BIV06	27
7.3 ROZLOŽENÍ KONCENTRACE V PROSTORU.....	30
7.3.1 <i>Bez odrazné plochy</i>	30
7.3.2 <i>S odraznou plochou</i>	32
8 ZÁVĚR.....	35
POUŽITÉ ZDROJE.....	36
POUŽITÉ ZKRATKY	37
SEZNAM PŘÍLOH	37

Úvod

Ovzduší se skládá z plynů, která mohou být nabitá kladně nebo záporně, jedná se především o ionty kyslíku a dusíku, které jsou v ovzduší zastoupeny v největší míře. Zjištění, že záporně nabité ionty mají pozitivní vliv na mikrobiální čistotu ovzduší a lidské zdraví je důvodem, aby se touto tematikou zabývalo do hloubky.

V posledních letech se o tuto problematiku začíná zajímat čím dál víc vědeckých pracovníků. Jejich snahou je nové poznatky převést do praktického života, neboť se zjistilo, že v budovách, kde strávíme 80 % svého života je katastrofálně malý počet záporných iontů kyslíku. Kladných iontů, které jsou důvodem různých dýchacích, kardiovaskulárních a dalších jak psychických, tak fyziologických problémů je v našich domovech naopak nadbytek.

O tyto poznatky se hlavně zajímají zdravotní instituce, jejímž cílem je vytvořit klimaticky vhodný prostor pro pobyt pacientů. Jak bylo zjištěno, záporné ionty kyslíku dokáží hubit i patogenní mikroorganismy, čehož by se dalo s výhodou využívat na operačních sálech a tam, kde jsou kladeny vysoké požadavky na čistotu ovzduší.

Cílem této práce je seznámit se s problematikou záporných vzdušných iontů, popsat jejich druhy a vlivy působící na lidský organizmus. Budou popsány metody měření koncentrací pomocí válcového aspiračního kondenzátoru a vyhodnocení výsledků pomocí konstrukce radiační a saturační charakteristiky. Také se zaměříme na koncentraci a rozložení iontů v prostoru před umělým ionizátorem.

1 Teoretický úvod

1.1 Definice iontů

Ionty jsou elektricky nabitě částice atomární velikosti (atomy, molekuly, někdy také skupiny atomů či molekul). [3]

1.2 Vznik iontů

Molekuly plynu jsou za normálních podmínek elektricky neutrální a stabilní částice. Působí-li na tuto molekulu ionizační energie – energie potřebná k odtržení elektronu ze základního obalu atomu; dojde díky neelastickým srážkám k odtržení jednoho nebo více elektronů z valenční hladiny atomu.

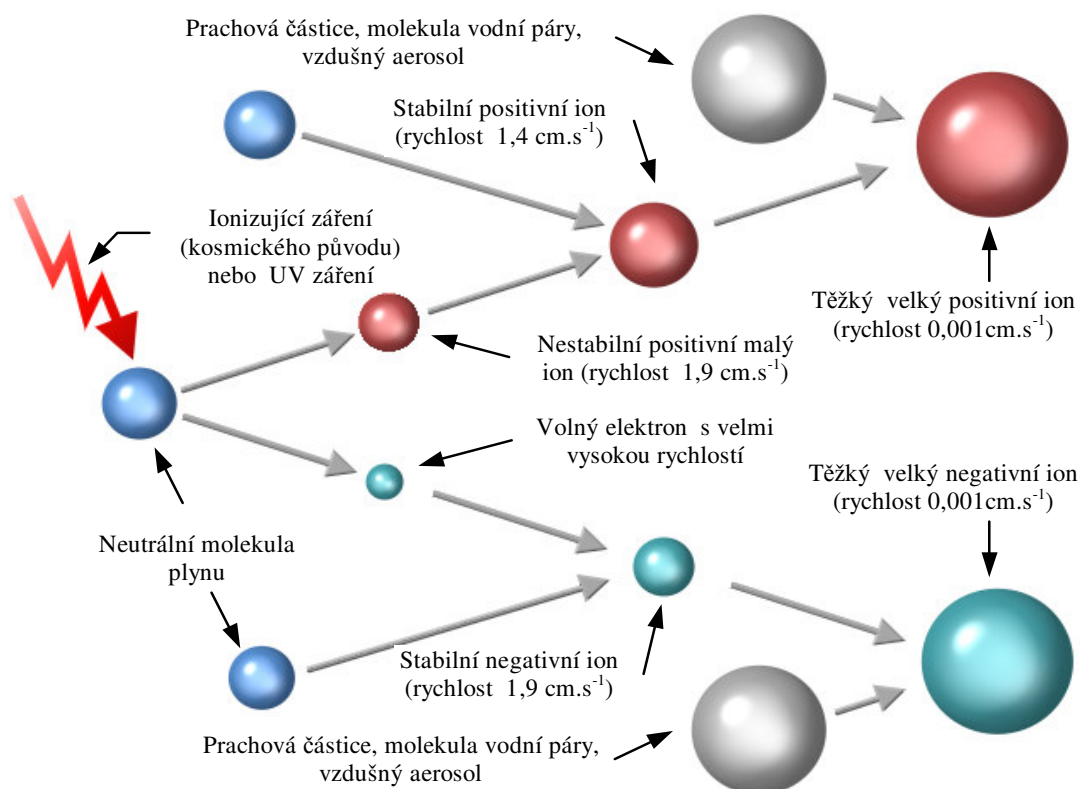
Tomuto procesu se říká ionizace plynu, která se udává v elektronvoltech $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Příčinou této ionizace může být:

- vysoká teplota
- působení ultrafialového záření
- působení radioaktivního záření
- působení elektrického pole
- Lenardův efekt (tříštění vody)

Ionizací vzniká dvojice elektricky nabitých částic, jíž odtržený elektron představuje zápornou částici a zbývající atom (ochuzen o odtržený elektron) kladnou částici [1].

Tyto částice nejsou stabilní a rychle se spojují s neutrálními atomy. Odtržený elektron se nejčastěji spojuje s molekulou kyslíku nebo molekulou vody. Spojí-li se elektron s molekulou kyslíku, vznikne záporný iont kyslíku. Ten však sám existovat nemůže, proto se spojí s deseti až třiceti dalšími molekulami a vznikne lehký iont, který je již dostatečně stabilní aby se stal součástí vzduchu který dýcháme [8]. Podrobný princip vzniku iontů popisuje obr.1



Obr.1: Vznik iontu [2].

1.3 Zánik iontů

Vzduch je vždy částečně ionizován kosmickým zářením a radioaktivitou zemské kůry. Přestane-li však působit ionizační energie, dojde ke spojení záporného iontu s kladným, a tím ke vzniku neutrální molekuly. Tento proces se nazývá rekombinace a dochází k ní neustále, jelikož je energeticky nejméně náročný [1]. Děj rekombinace i ionizace probíhají vždy současně. Převládá-li rekombinace, počet iontů v ovzduší se zmenšuje a naopak. Je zjištěno, že za stálého působení ionizační energie a stálých klimatických podmínek nastane rovnovážný stav mezi ionizací a rekombinací. V přírodě tedy nalezneme poměr záporných a kladných iontů zhruba stejný.

K rekombinaci dochází:

- spojením záporného iontu s lehkým kladným iontem – vznikne neutrální atom
- spojením lehkého iontu s opačně nabitým těžkým iontem – vznikne neutrální jádro a molekula
- spojením lehkého iontu s neutrálním jádrem – vznikne těžký iont se stejným nábojem
- spojením dvou těžkých opačně nabitých iontů – vznikne neutrální jádro a dvě molekuly

1.4 Rozdělení iontů

Ionty lze dělit dle různých kritérií. Mezi nejzákladnější rozdělení patří rozdělení dle polarity:

- Záporné – vyznačují se vyšší pohyblivou rychlostí a větším rozptylem v ovzduší (jejich představitelem je v přírodě iont dusíku).
- Kladné – jsou pomalejší a zároveň jsou přitahovány k zemi jež má záporný potenciál.

Setkat se můžeme i s rozdělením dle velikostí iontů. S tím souvisí i jejich pohyblivost. Pohyblivostí rozumíme rychlost pohybu částice v elektrickém poli. Takové rozdělení nám dává tab. 1., kterou vytvořil H. Israěl.

Tab.1: Rozdělení iontů dle H. Israěla [10].

Druh iontů	Pohyblivost ($\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	Poloměr ($\times 10^{-8} \text{ cm}$)
Nejtěžší	$k < 0,00025$	$r > 570$
Langevinovy	$0,001 > k \geq 0,0025$	$250 < r \leq 570$
Těžké	$0,01 > k \geq 0,001$	$78 < r \leq 250$
Malé střední	$1,0 > k \geq 0,01$	$6,6 < r \leq 78$
Lehké	$k \geq 1,0$	$r \leq 6,6$

Ionty se pohybují v ovzduší různou rychlostí, která závisí na jejich hmotnosti a kvalitě ovzduší. Čím je iont menší, tím je lehčí a jeho pohyblivost se zvyšuje. Avšak se zvyšující se pohyblivostí roste riziko zániku. Pohyblivost lehkých záporných iontů je v rozmezí ($1 \div 3$) $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ s průměrem $d \leq 1,32 \text{ nm}$. Lehké ionty představují shluk 10 – 30 neutrálních molekul seskupených kolem částice s elektrickým nábojem.

2 Vlivy ovlivňující koncentraci iontů

2.1 Meteorologické faktory

Na koncentraci atmosférických iontů mají vliv také meteorologické podmínky jako je teplota, tlak, vlhkost, proudění vzduchu, množství srážek. Zatím co vyšší vlhkost vzduchu má za následek snížení ionizace, vyšší teplota naopak ionizaci podporuje. Zvláštním případem jsou pak bouřky, kdy se před jejím začátkem zvyšuje počet kladných iontů. Naopak po bouřce výrazně přebývá počet záporných iontů [4].

Lidé citliví na změnu počasí vlastně vnímají změny koncentrace atmosférických iontů. Při nízké koncentraci záporných iontů se u nich projevují bolesti hlavy, kloubů, jizev, ale i změny nálad a poruchy spánku. Této vlastnosti se říká meteosenzitivita a odhaduje se, že trápí až 30 % lidské populace.

2.2 Stavební konstrukce

Jak jsem se již zmínil, lidé tráví 80 % svého času v budovách. Zdejší koncentrace záporných iontů se pohybuje kolem $300 \text{ iontů} \cdot \text{cm}^{-3}$. Největší vliv na koncentraci iontů mají přírodní materiály (dřevo, cihelné zdivo). Velice negativně ovlivňuje koncentraci železobetonové zdivo panelových domů. Pro udržení koncentrace záporných iontů je potřeba pravidelného a častého větrání. Nejhorším případem jsou panelové byty s klimatizací bez možnosti přirozeného větrání. V takových bytech je žádoucí používat umělé ionizátory vzduchu.

2.3 Klimatizace

V klimatizacích se vzduch filtruje, zvlhčuje a dopravuje dlouhým potrubím na potřebná místa. Při takové dlouhé dopravě záporné ionty lehce zanikají.

2.4 Lidská činnost

Lidské činnosti se nemálo podílejí na koncentraci záporných iontů. Největší vliv má kouření. Cigaretový kouř obsahuje množství chemických látek, jeho hlavní složkou je dehet, který má schopnost na sebe vázat lehké záporné ionty a ve velkém množství způsobí jejich zánik [4].

Druhým nepřítelem ionizace vzduchu je dlouhodobý pobyt více osob v jedné nevětrané místnosti. Pocit „vydýchaného vzduchu“ je reakcí na nízký počet záporných iontů.

2.5 Spotřební elektronika

Na zániku lehkých iontů se dále podílí spotřební elektronika (televize, počítače), která je kladně nabitá a „vysává“ z okolí lehké záporné ionty.

2.6 Roční a denní období

Bez ohledu na různé činitele ovlivňující koncentraci iontů se zjistilo, že v průběhu dne, ale i ročního a měsíčního období neustále kolísají v pravidelných intervalech.

1. Průběh dne – maximum kolem 6 hodiny ráno, minimum mezi 12 až 14 hodin, ve večerních hodinách se koncentrace opět zvyšuje.
2. Průběh měsíce – maximum v období úplňku.
3. V průběhu roku – maximum v období místního léta.

Čím čistější ovzduší, tím výraznější jsou rozdíly mezi minimem a maximem koncentrací iontů. Ve znečištěném ovzduší se rozdíly téměř stírají.

3 Vliv iontů na živé organizmy

3.1 Vliv iontů na člověka

3.1.1 Záporné ionty

Na naše zdraví, psychiku a imunitní systém působí prokazatelně pozitivně lehké záporné ionty kyslíku. Pro aktivaci zdravotních výhod je důležité, aby se v prostředí vyskytovala koncentrace minimálně 2000 záporně nabitých lehkých na cm^{-3} . Pobyt v takových prostorách zvyšuje v krvi obsah molekul kyslíku, čímž dochází k lepšímu okysličení a lepšímu prokrvení tenkých vlásečnic jednotlivých orgánů. Rozšíření krevního řečiště způsobuje pokles tlaku krve. Dále podporují činnost sliznic, která vede k zvýšení obranyschopnosti organismu a také přispívá ke zklidnění psychiky a podpoře při mentálně náročných činnostech [1]. Souhrn působení lehkých záporných iontů lze shrnout do následujícího seznamu [9]:

- působí příznivě na dýchací ústrojí a urychlují samočištění plic
- podporují tvorbu enzymů ovlivňujících pružnost dýchacích cest (snižují tendenci k astmatickým záchvatům)
- stimulují funkci žláz s vnitřní sekrecí, zlepšují funkci štítné žlázy, stimulují nadledvinky k tvorbě látek pomáhající zvládat zátěž (glukokortikoid, minerálokortikoid)
- zvyšují svalovou činnost a fyzickou výdrž
- příznivě působí na neurotiky a lidi trpící poruchami spánku a s různými bolestmi bez organických změn
- zrychlují hojení ran a popálenin
- zlepšují akomodaci očí
- mají příznivý vliv na hypertoniky, způsobující pokles krevního tlaku

3.1.2 Kladné ionty

Pobytem v místnostech s výrazně vyšší koncentrací kladných iontů se při vdechování dostanou do plic a rychle se rozšíří do krve a organismu, kde mohou vyvolat nepříznivé reakce. Mezi reakce patří například zvýšené uvolňování serotoninu a histaminu, což může vést ke snížení kapacity plic a schopnosti těla absorbovat kyslík.

3.2 Vliv záporných iontů na mikrobiální čistotu vzduchu

Mikrobiální čistotou vzduchu rozumíme nepřítomnost mikroorganismů v ovzduší. Z hlediska lidského zdraví je významná zejména nepřítomnost patogenních zárodků. Takový ideální stav, kdy ovzduší je naprosto bez choroboplodných částic, v přírodě prakticky neexistuje. Vždy je v ovzduší určité množství živých organismů, které je tím vyšší, čím je obsah aerosolů větší. Mikrobiální částice se v ovzduší šíří většinou zachyceny na pevný a kapalný aerosol. Tento vztah byl prokázán především pro částice o rozměrech nad 3 μm . [7]

Při ničení takových patogenních zárodků pomáhají lehké a těžké záporné ionty. Lehké ionty obklopí buněčnou stěnu patogenního zárodku a navázáním na její OH skupinu se buněčná stěna protrhne a bakterie je usmrcena. Těžké ionty naopak zabraňují pohybu a množení patogenních zárodků tím, že je přitahují.

Těchto poznatků se využívá ve zdravotnictví, kde je potřeba zachovávat prostory bez patogenních zárodků a bakterií k zabránění vzniku infekcí a šíření nemocí. Mezi tyto prostory například patří lázně, kde se jezdí léčit pacienti s nejrůznějšími nemocemi, nebo operační sály, kde je velice důležitá sterilita prostředí.

4 Mikroklima v budovách

4.1 Syndrom nemocných budov (SBS)

Sick Building Syndrom (SBS) tzv. „syndrom nemocných budov“ popisuje zdravotní obtíže lidí pracujících nebo žijících v budově, kde se necítí dobře. Příznaky se zhoršují, pobývají-li lidé v budově, a zlepšují se či úplně vymizí, pobývají-li mimo ni. SBS má za následek podstatný pokles pracovní výkonnosti, zhoršení osobních vztahů a v závěru i ztrátu pracovní produktivity. Problémy se vyskytují ve všech moderních budovách.

Zdravotní potíže nejsou zpravidla tak závažné, aby způsobily pracovní neschopnost, ale zhoršují pohodu lidí a negativně ovlivňují pracovní výkonnost. Mezi příznaky patří únava, vlhký a plný nos, sucho v krku, bolest hlavy, svědění očí, suchost očí, příznaky chřipkového onemocnění, svírání na hrudi, dýchací obtíže, poruchy nočního spánku a další.

Příčina SBS není dosud úplně objasněna, ale předpokládá se, že je to souhrn více faktorů, které lze volně stanovit do čtyř kategorií [5]:

- místní faktory (skrytá rizika parcely, širší lokalita)
- problémy související s vlastním provozem (vybavení, zařízení, chování, údržba)
- problémy bez souvislosti s budovou (kouření, alergie)
- psychologické problémy (organizace práce, sociální podmínky, charakter lidí)

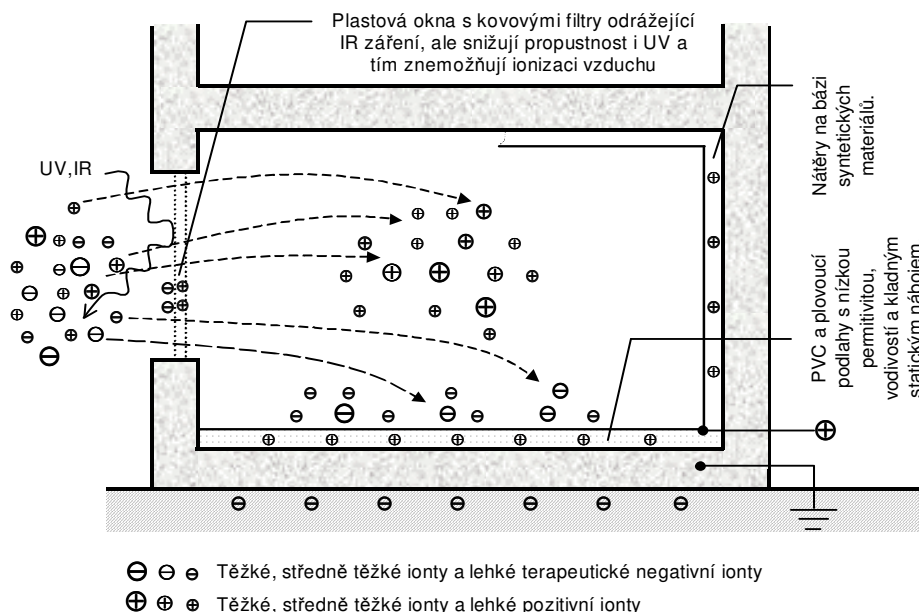
Některé možné příčiny jsou rozepsány v kapitole 2.

Z důvodů problému SBS je nutno promýšlet stavby, vyhýbat se použití plastů a syntetických materiálů s nízkou hodnotou permitivity a volit místo nich přírodní materiály. Důležité je také zajistit dostatečné větrání místností.

4.2 Místnosti uvnitř domu, úpravy stěn a podlah

Pro obyvatelné prostory, jak bylo dříve zmíněno, nás budou zajímat přírodní materiály. Nejdříve se zaměříme na velké plochy, které mají velký význam pro udržení elektroiontové koncentrace. Jde především o podlahy a stěny. Jelikož stěny ve většině případů lícíme na bílo, je vhodné do syntetických nátěrů přidat čisté vápno a kaolín. Vápenec který je obsažen právě ve vápně, obsahuje nepatrné množství radonu, a navíc má relativní permitivitu vyšší než 10. Ten nám zajistí přirozenou ionizaci omítky, alespoň do té doby, než se na stěnách usadí prach. Dalším řešením úprav mohou být dřevěné a korkové obklady, které mají vyšší permitivitu a vhodnou úroveň povrchové vodivosti. Ovšem zde je třeba dát pozor na lakování, neboť nevhodný lak nám může snížit povrchovou vodivost.

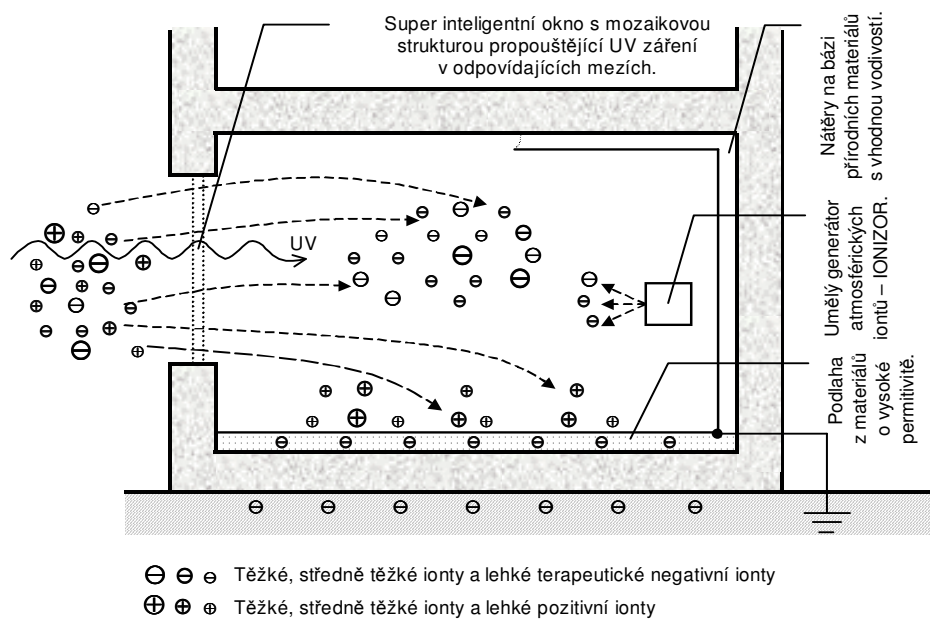
V dnešních budovách se používají především podlahy z PVC a plovoucí podlahy, tvořeny z dřevotřískového materiálu který má toxické pojivo. Elektrostatické náboje vznikající na těchto materiálech vedou mnohdy k zániku velkého množství záporných iontů. Dále se používají koberce, které jsou rovněž ze syntetických vláken. Tyto použité materiály a další podobné doplňky jsou pro nás zcela nevyhovující a nevytvářejí vhodné řešení bytových prostor (viz obr. 2.).



Obr. 2: Současné nevhodné řešení obytných prostorů [2].

Statický náboj PVC a plastových doplňků, lze dočasně upravit antistatickým prostředkem. Optimální řešení podlahy by se dalo nalézt v použití dlažby z vápence, který se nachází ve speloterapeutických jeskyních [2]. Vápenec má vhodnou elektrickou vodivost a vysokou relativní permitivitu přesahující hodnotu 10. Z důvodu přirozené radiace, působí vápenec jako zdroj ionizace vzduchu, ovšem otázkou je, zda by ionizace byla člověku natolik prospěšná, aby se daly radiační vlivy zanedbat. Tam, kde není vhodná dlažba, je na místě použití dřevěných parket. Místo syntetických koberců je vhodné použít v menší míře bavlněné koberce, případně jako dekoraci ovčí rouno.

Krajním řešením je použití antistatického PVC, podkládaného vodivými pásy. Podlahové krytiny se dají vylepšit zmíněným kovovým páskem a uzemnit je. Toto opatření vede ke zvýšení vodivosti a zabraňuje tvoření elektrostatického náboje v obytném prostoru. Naší snahou je zabránit vytvoření faradayovy klece, neboť do takového prostoru se nedostanou téměř žádné záporné ionty. Vhodné řešení místnosti je uvedeno na obr. 3.



Obr. 3: Možné řešení místnosti pro udržení požadované koncentrace negativních iontů [2].

5 Měření koncentrace iontů

Z hlediska zdraví a pozitivních účinků se budeme zabývat měřením záporných iontů.

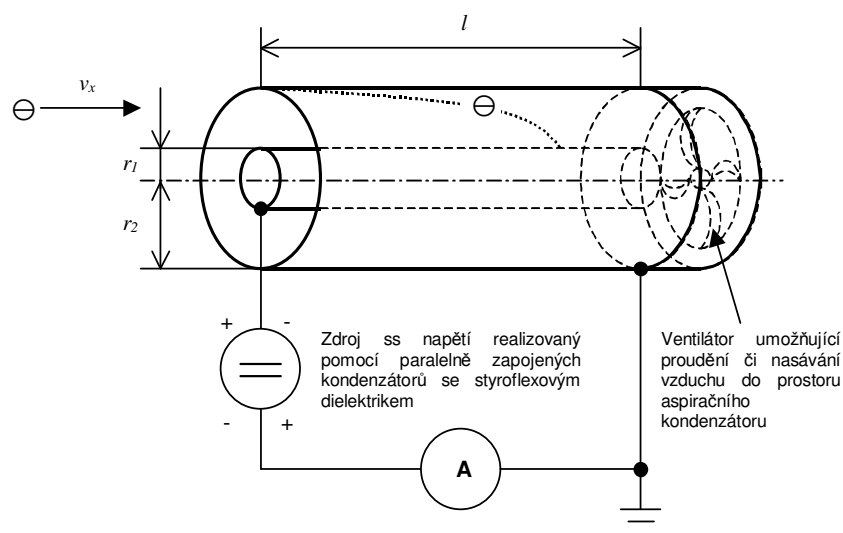
5.1 Měření pomocí válcového aspiračního kondenzátoru

Aspirační kondenzátor (dále AK) je tvořen vnější (plášť) a vnitřní elektrodou (kolektor) válcového tvaru. Na zadní straně AK je umístěn ventilátor, který nasává do AK vzduch obsahující úplné spektrum vzdušných iontů. Vzduch tedy plní v AK i funkci dielektrika.

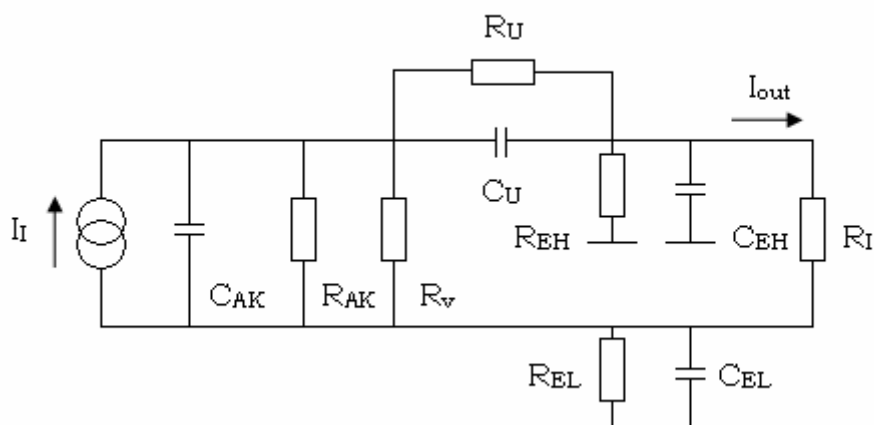
Průchodem vzduchu AK se ionty zachytí na katodě, které vyvolají velmi malý proud ($10^{-11} \div 10^{-13}$) A. Aby byl tento proud měřitelný, musí být ke katodě připojen zdroj stejnosměrného napětí, nejméně o řád menší (tj. menší než 10^{-14} A). Vhodným zdrojem je kondenzátor s kvalitním dielektrikem STYROFLEX. Výhodou použití kondenzátoru je jeho stabilita, malé zvlnění a izolace od okolí.

AK můžeme použít pro měření jak záporných, tak i kladně nabitých iontů. Pokud budeme chtít měřit koncentraci záporných iontů, tak se na kolektor se připojí kladné napětí $+U_{AK}$. Připojením záporného napětí $-U_{AK}$ budeme naopak měřit koncentraci kladných iontů. Kladné napětí na kolektoru bude tedy přitahovat záporně nabitě ionty, a naopak záporné napětí, zase kladně nabitě ionty, které následně vybudí měřicí proud.

Na obrázku 4 je zobrazen měřicí obvod s aspiračním kondenzátorem a na obrázku 5 je vidět jeho náhradní schéma.



Obr. 4: Měřicí obvod s aspiračním kondenzátorem [2].



Obr. 5: Náhradní schéma vnitřního zapojení aspiračního kondenzátoru.

kde:	C_{AK}	kapacita aspiračního kondenzátoru
	R_{AK}	svodový odpor aspiračního kondenzátoru
	R_v	odpor teflonové průchodky, izolační odpor zdroje pomocného napětí
	C_U	kapacita zdroje pomocného napětí
	R_{EH}, R_{EL}	svodový odpor přívodu k pravé a levé svorce elektrometru
	C_{EL}, C_{EH}	kapacita přívodu k pravé a levé svorce elektrometru
	R_I	vnitřní odpor elektrometru
	R_U	vnitřní odpor zdroje pomocného napětí

Průměr vnější a vnitřní elektrody AK je v poměru 2:1. Poloměr vnější elektrody $r_2 = 40$ mm, poloměr vnitřní elektrody (kolektoru) $r_1 = 20$ mm. Mezi vnější a vnitřní elektrodou AK je elektrické pole o známé intenzitě E_{AK} [2]. Pro přepočet napětí na intenzitu elektrického pole aspiračního kondenzátoru použijeme vztah (1):

$$E_{AK} = \frac{\frac{U_{AK}}{r_1 \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} + \frac{U_{AK}}{r_2 \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}}{2} = \frac{3 \cdot U_{AK}}{8 \cdot \ln(2)} \quad (1)$$

kde:	E_{AK}	intenzita elektrického pole mezi vnější a vnitřní elektrodou AK
	U_{AK}	nastavené napětí na vnitřní elektrodě (kolektoru)
	r_1, r_2	poloměr vnitřní, vnější elektrody (plášť)

Na intenzitě tohoto pole závisí množství, resp. spektrum iontů, které budou zachyceny sběrnou elektrodou. Kolektorová elektroda bude zachycovat ionty s nejmenší pohyblivostí danou rychlostí dle vztahu:

$$k_m = \frac{v_x \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot l \cdot U} (r^2 - R^2) \quad (2)$$

kde: v_x [cm.s⁻¹] rychlost proudění vzduchu

U [V] napětí mezi elektrodami

Tyto zachycené vzdušné ionty nám pak způsobují vodivost mezi elektrodami a uzavření proudové cesty v obvodu. Proudů, které měříme, bývají velmi malých hodnot v rozmezí 10⁻¹³ až 10⁻¹³ A.

Pro měření tak malých proudů je problém volby měřících přístrojů, u kterých je zapotřebí velmi vysoký vnitřní odpor. Zároveň musíme brát ohled na výběr vhodných propojovacích vodičů. Kapacita vodičů vůči okolí musí být malá ve srovnání s kapacitou AK, která je $C_{AK} = 20$ pF. To znamená, že kapacita vodičů a spojů musí být maximálně $C_{VS} = 1 \div 3$ pF [6].

Samotné měření iontového proudu I_{iont} začíná měřením svodového proudu I_s (proud pozadí). Tento proud se měří v klidovém stavu, tj. při vypnutém ventilátoru. Jeho velikost pak vyjadřuje hodnotu proudu vlivem nedokonalé izolace elektrod AK. Největší vliv na velikost svodového proudu má úroveň relativní vlhkosti vzduchu v okolí měřícího systému. Po spuštění ventilátoru se začne do prostoru mezi elektrodami nasávat vzduch a probíhá měření celkového proudu I_c . Ten je dán součtem zmíněného svodového proudu a iontového proudu $I_c = I_{iont} + I_s$. Prostou úpravou pak dostaneme požadovaný iontový proud $I_{iont} = I_c - I_s$. Pro výpočet koncentrace iontů platí následující vztah [1]:

$$n = \frac{I_c - I_s}{e \cdot M} = \frac{I_{iont}}{e \cdot M} \text{ [iont} \cdot \text{cm}^{-3}] \quad (3)$$

kde: I_{iont} [A] iontový proud vyvolaný dopadajícími ionty

e [C] náboj elektronu $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C

M [cm³.s⁻¹] objem nasávaného vzduchu

5.2 Spektrální charakteristika

Spektrální charakteristika nám poskytuje údaj o koncentraci iontů jednotlivých pohyblivostí, která je daná změnou elektrického pole mezi elektrodami. Ukazuje nám tedy velikost přírůstku iontového proudu v závislosti na napětí.

6 Postup měření

15 minut před měřením je potřeba zapnout elektrometr, aby se zahřál na pracovní teplotu a měřil správně. Kondenzátor, který slouží jako zdroj stejnosměrného napětí, se nabije na hodnotu odpovídajícím typům iontů (lehké, střední, těžké), jenž chceme měřit, a připojí se mezi kolektor a elektrometr. Na konci aspiračního kondenzátoru je potřeba zapnout ventilátor, aby nasával proud vzduchu do AK. Objem vzduchu nasávaný AK je $10000 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tato hodnota pak slouží pro přepočet proudu na koncentraci iontů. Jednotlivé kroky před měřením lze shrnout do následujících bodů:

1. Zapneme elektrometr alespoň 15min před měřením.
2. Nabijeme kondenzátor na požadovanou hodnotu napětí.
3. Zapneme ventilátor.
4. Zapneme zdroj iontů (podle účelu měření).
5. Na elektrometru odečítáme hodnotu proudu, která se následně přepočítá na koncentraci vzorcem (3).

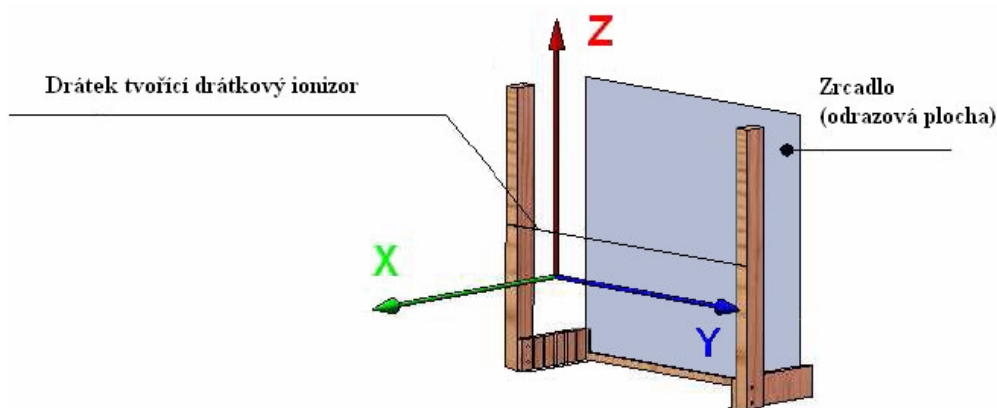
6.1 Měření koncentrace iontů v prostoru

Při měření koncentrace iontů v prostoru používáme elektrostatický voltmetr, kterým měříme intenzitu elektrického pole v jednotlivých bodech. Z toho důvodu aspirační kondenzátor použít nelze, protože nasává vzduch z okolí a neměřili bychom tedy koncentraci v jednom bodě, ale koncentraci v okolí aspiračního kondenzátoru. Navíc by bylo obtížné manipulovat s aspiračním kondenzátorem a zároveň s elektrometrem. Na takové měření není laboratoř přizpůsobená. Měření v prostoru se provádí v bodech po osách x , y , z jak je naznačeno na obrázku 6.

6.1.1 Koncentrace iontů v prostoru před drátkovým ionizátorem

Pro využití ionizátoru jako vhodného prostředku pro zkvalitnění životní úrovně v obytných prostorách a při nutnosti udržovat v prostředí mikrobiální čistotu především ve zdravotnických zařízeních, je potřeba prověřit koncentraci iontů v prostoru před ionizátorem, a pokud možno zvýšit jeho účinek.

Pro laboratorní účely byl použit drátkový ionizátor, který byl natažen mezi dvěma sloupky. Před tímto ionizátorem se v prostoru měřila koncentrace. Měření se provedlo ve dvou konfiguracích. Pro první konfiguraci byl použit samotný ionizátor (bez odrazné plochy), jako druhá konfigurace byla použita odrazná plocha (tzv. zrcadlo), která se umístila těsně za drátkový ionizátor. Zrcadlo tvořil plech o tloušťce 3mm a rozměrech (50 x 40) cm. Tyto konfigurace jsou zřejmé na obrázku 6, pro první konfiguraci si stačí pouze z obrázku odmyslet zrcadlo.



Obr.6. Naznačení měření v prostorových souřadnicích [9].

Jak bylo řečeno, body elektrického pole v prostoru se měří elektrostatickým voltmetrem. Jeden vstup elektrostatického voltmetru je připojen k zemi, a do druhého je připojen kabel vybavený na konci hrotem, sloužícím jako sonda s kterou se pak měří body v prostorových souřadnicích.

Protože elektrostatický voltmetr měří velikost elektrického pole, je potřeba tuto hodnotu přepočítat na koncentraci iontů. Tato koncentrace však není zcela přesná, přesnějších výsledků bychom docílili použitím aspiračního kondenzátoru, který však z výše zmíněných důvodů použít nelze.

Nejprve přepočítáme velikost elektrického pole na proud:

$$I = C \cdot \frac{dU}{dt} \quad (4)$$

kde:	C [F]	vnitřní kapacita elektrostatického voltmetru
	dU [V]	velikost elektrického pole
	dt [s]	doba ustálení vyvolané hodnoty na elektrostatickém voltmetru
	I [A]	vypočtený proud

Odtud pak přepočítáme proud na koncentraci:

$$n = \frac{I}{e} \quad (5)$$

kde:	I [A]	dosazený proud ze vzorce (4)
	e [C]	náboj elektronu
	n [-]	počet iontů detekovaných sondou

6.2 Zásady měření

Během měření je nutno dodržovat určité zásady, aby se minimalizovaly chyby měření. Nejdůležitější pro správné odečtení hodnoty z elektrometru je udržování atmosférického klidu v místnosti, tj. minimalizovat víření vzduchu prudkými a nadbytečnými pohyby. Proto je vhodné, aby v místnosti byly zavřené dveře a okna, které způsobují průvan a počet lidí v místnosti byl co nejmenší.

Iontové mikroklima ovlivňují také elektrická zařízení jako například počítače. Ty je vhodné mít po dobu měření vypnuté.

Před ústí AK se nesmí nacházet žádné předměty, jenž narušují proudění vzduchu a osoba provádějící měření by měla sedět od ústí co nejdál. S tím také souvisí nutnost, aby osoby v okolí AK měly na sobě vhodný oděv z přírodního materiálu, které má vysokou permitivitu.

Mezi další vlivy ovlivňující výsledek měření patří atmosférické podmínky jako je teplota, tlak, vlhkost prostředí, kde je prováděno měření. Tyto parametry je třeba před započítím měření sledovat.

Při měření koncentrace iontů v prostoru, nesmíme elektrostatický voltmetr z důvodu rušení držet v ruce. Je nutné ho mít položený na stole a podložený nevodivým materiálem. Stejně tak musíme podložit i kabel sondy, který se nesmí dotýkat stolu.

7 Praktické měření

Veškeré měření se provádělo v iontové laboratoři UETE FEKT Údolní 53, místnost 119. Na obrázku 7 je pořízena fotografie iontové laboratoře s typickým uspořádáním přístrojů. Detailní seznam přístrojů použité k měření jsou uvedeny v příloze III.



Obr. 7 Pracoviště iontové laboratoře UETE.

7.1 Koncentrace iontů vyzařované ionizátorem BIV06

Měřeno dne 10.12.09

Teplota v místnosti 24°C

Relativní vlhkost 40%

Tlak 1023 hPa

Použité přístroje: voltmetr, elektrometr, kondenzátor (zdroj), ocelový anuloid, umělý generátor negativních iontů (podrobný popis v příloze III.)

Cílem měření je změřit radiační charakteristiku ionizátoru pro vzdálenosti (10 ÷ 75) cm od aspiračního kondenzátoru pro různá napětí zdroje.

Naměřené hodnoty:

Tab. 3: Přehled proudů pro napětí zdroje $U_{AK} = 600V$.

Pro $U_{AK} = 600V$				
Vzdálenost [cm]	I_s [A]	I_c [A]	I_{ioniz}	Koncentrace iontů [iont·cm ⁻³]
75	1,60E-11	2,00E-11	4,00E-12	2497
60	1,50E-11	9,00E-11	7,50E-11	46816
50	1,60E-11	1,20E-10	1,04E-10	64919
40	1,60E-11	1,50E-10	1,34E-10	83645
30	1,40E-11	5,00E-09	4,99E-09	3112360
20	1,10E-11	1,90E-08	1,90E-08	11853308
10	1,50E-11	5,00E-08	5,00E-08	31201623

Tab.4: Přehled proudů pro napětí zdroje $U_{AK} = 1000V$.

Pro $U_{AK} = 1000V$				
Vzdálenost [cm]	I_s [A]	I_c	I_{ioniz}	Koncentrace iontů [iont·cm ⁻³]
75	1,20E-13	9,00E-10	8,99E-10	561723
60	5,00E-13	1,50E-09	1,50E-09	936017
50	5,00E-13	2,00E-09	2,00E-09	1248127
40	5,00E-13	3,00E-09	3,00E-09	1872347
30	5,00E-13	8,50E-09	8,50E-09	5305556
20	2,00E-13	3,10E-08	3,10E-08	19350687
10	2,00E-10	7,50E-08	7,48E-08	46691635

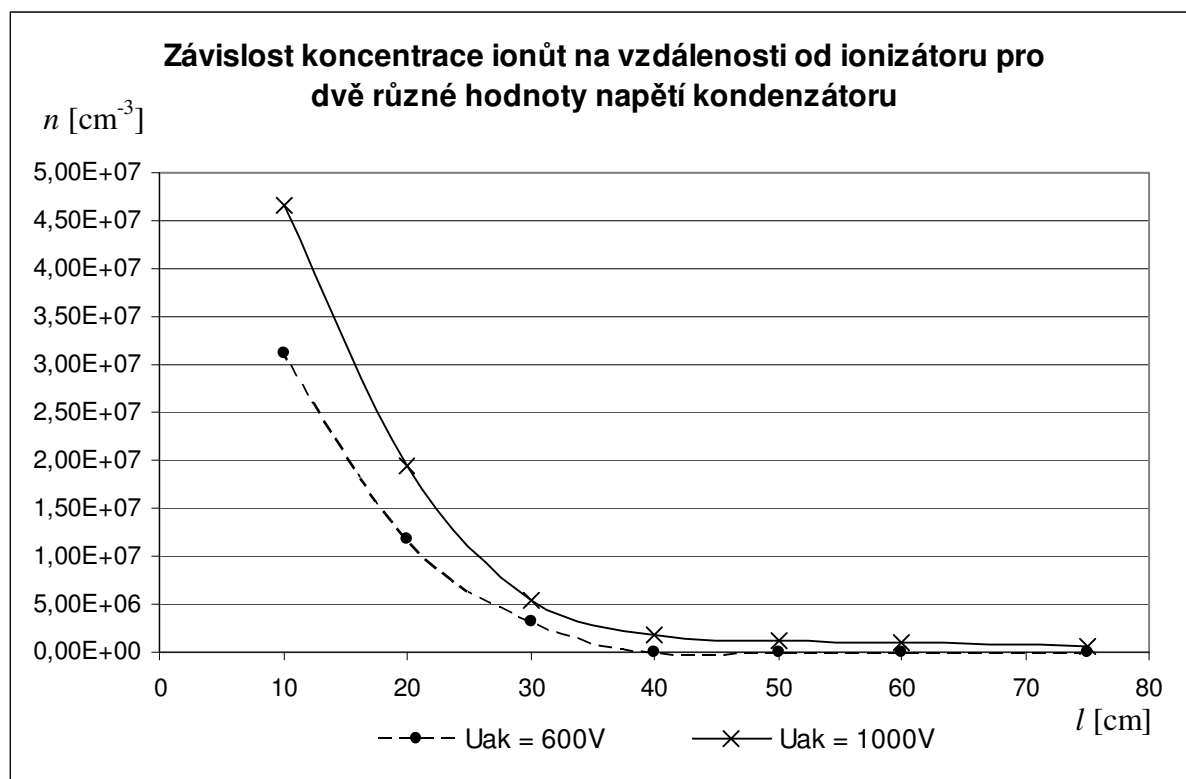
Pro přepočet proudů na koncentraci iontů použijeme vzorec (3):

$$n = \frac{I_c - I_s}{e \cdot M} = \frac{2 \cdot 10^{-11} - 1,6 \cdot 10^{-11}}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10000} = 2497 \text{ iont} \cdot \text{cm}^{-3}$$

Příklad výpočtu je brán z prvního řádku tabulky 3. Přepočet je analogický pro zjištění všech ostatních hodnoty koncentrací iontů a již dále nebude zmiňován.

Porovnáním tab. 3 a 4 zjistíme, že vyšší hodnota napětí zdroje U_{AK} připojeného na kolektor AK má za následek vyšší vybuzený proud (jak dále uvidíme při měření spektrální charakteristiky). Důvodem je, že pro zachycení lehkých iontů stačí malé napětí na kolektoru (přibližně do $U_{AK} = 300 V$), ostatní ionty (střední, těžké) díky své velké kinetické energii AK pouze proletí. Budeme-li však napětí U_{AK} zvětšovat, budou se na kolektoru zachytávat nejen lehké ionty, ale také střední až po nejtěžší. Výsledkem vybuzeného proudu je pak součet všech tří druhů iontů (lehkých, středně těžkých a těžkých).

V následujícím grafu (obr. 8) je přehledně uvedeno srovnání popisující zmíněnou situaci. Na ose x je vynesena poloha ionizátoru od ústí AK ve vzdálenostech l [cm] a na ose y přepočítaná koncentrace iontů n [cm^{-3}]. Graf je vykreslen pro dvě křivky rozdílných napětí U_{AK} .



Obr. 8: Graf ukazující rozdílné naměřené koncentrace pro dvě různé hodnoty napětí.

7.2 Spektrální charakteristika zdroje iontů BIV06

Měřeno dne 10.20.2009

Teplota v místnosti 23°C
Relativní vlhkost 43%
Tlak 1015 hPa

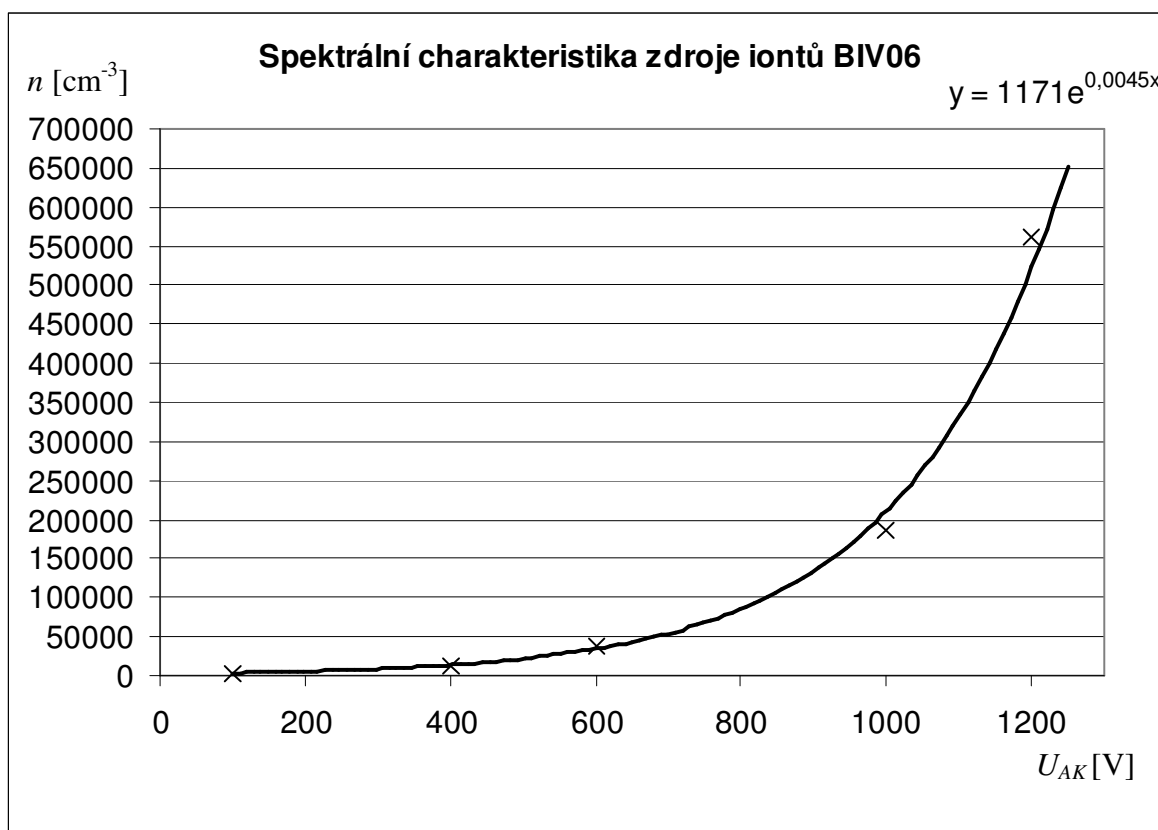
Nyní se zaměříme na samotný zdroj iontů BIV06, určíme jaké druhy iontů převážně reprodukuje, jejich pohyblivosti a v jakých koncentracích a určíme spektrální charakteristiku ionizátoru.

Naměřené hodnoty:

Tab. 5: Hodnoty pro konstrukci spektrální charakteristiky a určení generovaných druhů iontů ionizátorem BIV06.

Napětí na AK	Ionizační proud	Koncentrace iontů	Pohyblivost iontů	Derivace
U_{AK} [V]	I_{iont} [V]	n [cm ⁻³]	K [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	n [cm ⁻³]
100	6,00E-12	3745	1,00E-02	9,37E+00
400	2,00E-11	12484	2,50E-03	4,07E+01
600	2,50E-11	38584	1,67E-03	1,09E+02
1000	3,00E-10	187265	1,00E-03	7,71E+02
1200	9,00E-10	561797	8,33E-04	2,05E+03

Na aspirační kondenzátor bylo přiváděno napětí U_{AK} v rozmezí 100 V až 1200 V. Pro každou hodnotu napětí byl zjištěn vyvolaný proud dopadajícími ionty. Z těchto hodnot (viz. první dva sloupce tabulky 5) můžeme sestavit graf (viz obr. 9) spektrální charakteristiky ionizátoru BIV06. Ionizátor byl umístěn 70 cm od ústí AK.



Obr. 9: Graf spektrální charakteristiky zdroje iontů BIV06 pro vzdálenost 70 cm od AK.

Z grafu (obr. 9) vyplývá, že pro napětí zhruba do 600 V ionizátor generuje velmi malé množství záporných iontů, a od 600 V výš se koncentrace iontů exponenciálně zvedá. Uplatňuje se zde také (v menší míře) vliv součtu lehkých až těžkých záporných iontů vzhledem k velikosti napětí jak bylo popsáno v kapitole 5.1.

Lepší přehled o tom jaké druhy ionizátor BIV06 generuje získáme, budeme-li zkoumat pohyblivost iontů vzhledem ke koncentraci. Druh iontů nám vlastně určuje jejich pohyblivost, čím je pohyblivost menší, tím jsou ionty větší, jinak řečeno, lehčí ionty se pohybují rychleji než těžší. Pohyblivost se jednoduše spočítá z napětí na AK, množství iontů pro určitou pohyblivost však budeme muset zjistit derivací funkce (z rovnice regrese) uvedené na obr. 9.

Příklad přepočtu napětí na pohyblivost, a derivace funkce.

Příklady se vztahují k prvnímu řádku tabulky 5 a jsou analogické pro ostatní výpočty tohoto druhu.

Pohyblivost iontů:

$$K = \frac{1}{U_{AK}} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$$

Derivace funkce:

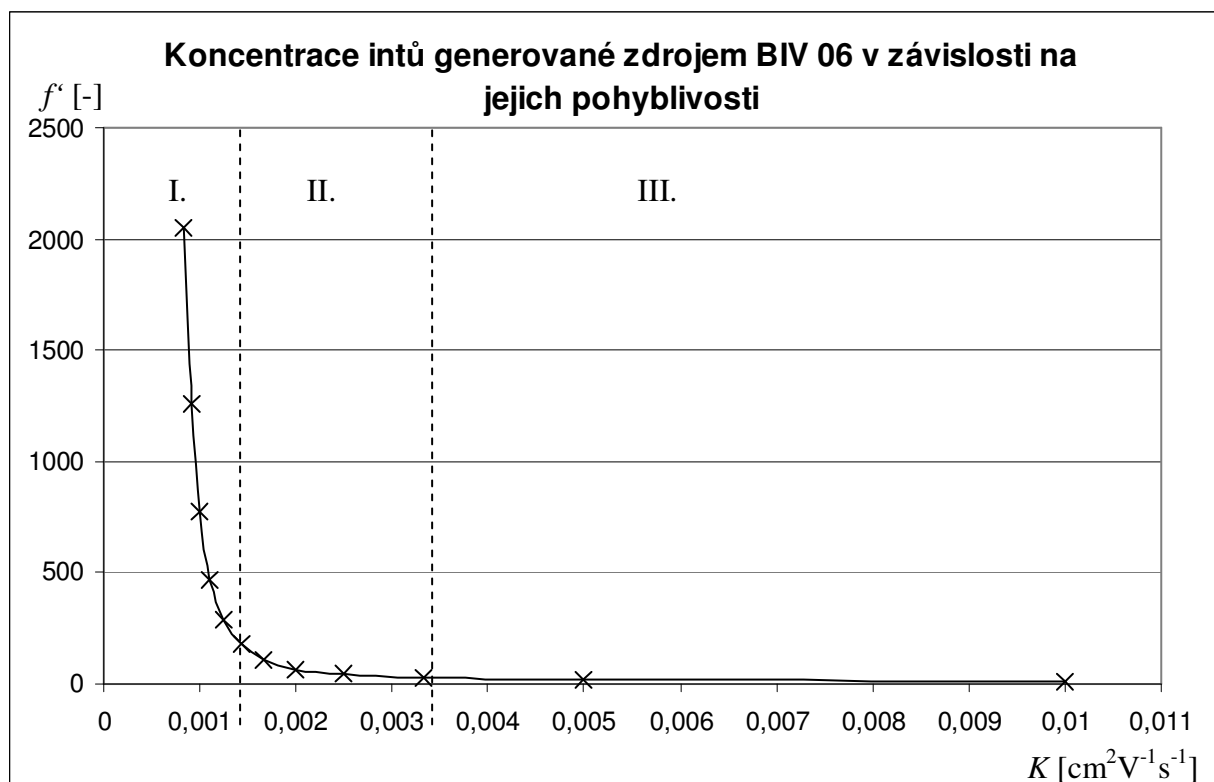
$$f = 1171,1e^{0,0045x}$$

$$f' = 1171,1e^{0,0045x} \cdot 0,0045$$

$$f'_{(100)} = 1171,1e^{0,0045 \cdot 100} \cdot 0,0045$$

$$f'_{(100)} = 9,37$$

Výčet výsledků je uveden v tab. 5 ve 4. a 5. sloupci. Z takto zjištěných hodnot teď můžeme sestavit graf (obr.10) a vymezit si oblasti s výskytem lehkých, středních a těžkých iontů.



Obr. 10: Druhy iontů generované ionizátorem BIV06.

Graf jsme si rozdělili do tří kategorií. Každá kategorie odpovídá určité pohyblivosti iontů (pohyblivost je vynesena na ose x).

- I. – oblast s výskytem těžkých iontů
- II. – oblast s výskytem středně těžkých iontů
- III. – oblast s výskytem lehkých iontů

Z grafu vidíme, že ionizátor produkuje především těžké ionty (viz oblast I.) lehké ionty téměř neprodukuje a střední v malé míře.

7.3 Rozložení koncentrace v prostoru

Měřeno dne 6.5.2010

Teplota v místnosti 23°C

Relativní vlhkost 48,9%

Tlak 999,5 hPa

7.3.1 Bez odrazné plochy

Nejprve jsem změřil prostor před drátkovým ionizátorem bez použití odrazné plochy (zrcadla). Na drátkový ionizátor bylo přivedeno záporné napětí 4 kV.

V následující tabulce (tab.6) uvádím příklad naměřených hodnot elektrického pole v prostoru pro vzdálenost 50 cm od ionizátoru. Pro ostatní vzdálenosti jsou uvedeny tabulky v příloze I. spolu s jejich přepočtem na koncentraci iontů.

Tab.6: Změřené hodnoty elektrického pole pro vzdálenost 50 cm bez zrcadla.

pro X = 50 cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	550	580	600	560	570	U [V]
20	550	580	600	560	570	
10	550	580	600	560	570	
0	550	580	600	560	570	
-10	550	580	600	560	570	
-20	550	580	590	550	560	
-30	550	580	580	540	550	

Hodnoty elektrického pole v tab. 6 přepočítáme na proud pomocí vzorce (4). Takto přepočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7. Příklad výpočtu pro souřadnice X = 50 cm, Y = 30 cm, Z = -20 cm:

$$I = C \cdot \frac{dU}{dt} = 10 \cdot 10^{-14} \frac{550}{30} = 1,83 \cdot 10^{-12} \text{ A}$$

Tab. 7: Přepočítané elektrické pole na proud pro vzdálenost 50 cm bez zrcadla.

pro X = 50 cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	I [A]
20	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
10	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
0	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
-10	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
-20	1,83E-12	1,93E-12	1,97E-12	1,83E-12	1,87E-12	
-30	1,83E-12	1,93E-12	1,93E-12	1,80E-12	1,83E-12	

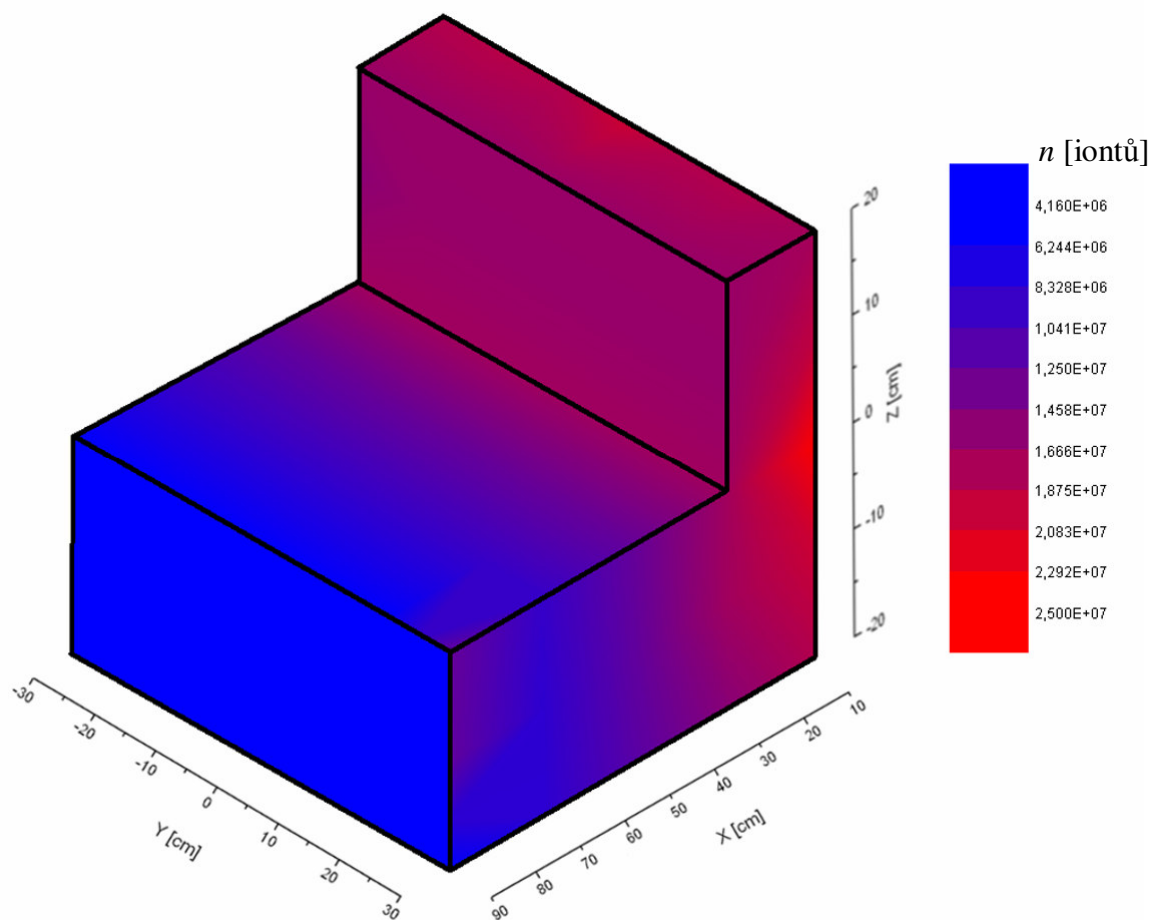
Ted' už jen zbývá přepočítat proudy na koncentraci iontů pomocí vzorce (5), uvedené výsledky jsou v tabulce 8. Příklad výpočtu bude pro souřadnice X = 50 cm, Y = 30 cm, Z = -20 cm:

$$n = \frac{I}{e} = \frac{1,83 \cdot 10^{-12}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 1,17 \cdot 10^7 \text{ iontů}$$

Tab. 8: Koncentrace iontů pro vzdálenost 50 cm bez zrcadla.

pro X = 50 cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	n [iontů]
20	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
10	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
0	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
-10	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
-20	1,14E+07	1,21E+07	1,23E+07	1,14E+07	1,17E+07	
-30	1,14E+07	1,21E+07	1,21E+07	1,12E+07	1,14E+07	

Z takto vypočítaných koncentrací můžeme vytvořit prostorový graf (obr. 11), který udává rozložení iontů v prostoru před ionizátorem.



Obr.11: Rozložení koncentrací iontů v prostoru před drátkovým ionizátorem bez zrcadla.

Drátkový ionizátor je na obrázku 11 umístěn v ose x a y pro 0 cm a je natažen přes celou osu y . Stupnice na pravé straně obrázku udává v barevné škále koncentraci iontů. Červená barva znamená výskyt největší koncentrace a modrá naopak koncentrace nejnižší. V grafu si můžeme povšimnout, že největší koncentrace iontů se vyskytuje v okolí drátku (nejčervenější oblast), se vzdáleností pochopitelně klesá (modré oblasti).

7.3.2 S odraznou plochou

Nyní jsem umístil za drátkový ionizátor plech o tloušťce 3mm a rozměrech (50x40) cm, který se nabije na záporné napětí a měl by tak fungovat jako odrazná plocha (zrcadlo), která značně posílí prostor před ionizátorem hlavně v tmavších místech obrázku 11. Odrazná plocha funguje tak, že je na záporném potenciálu a záporné ionty z ionizátoru díky odpuzivým silám směřují do prostoru před zrcadlem, za zrcadlo se tak generované ionty nedostanou.

Pro příklad naměřených hodnot uvedu opět tabulku a její přepočet na koncentraci iontů pro vzdálenost 50 cm. Přepočet je stejný jako v kapitole 7.3.1. V příloze II. jsou uvedeny všechny tabulky získané z tohoto měření.

Tab. 9: Změřené hodnoty elektrického pole pro vzdálenost 50 cm se zrcadlem.

pro $X = 50$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	930	820	840	850	840	U [V]
20	880	950	840	850	880	
10	900	910	900	880	860	
0	870	900	900	890	900	
-10	810	900	910	920	850	
-20	840	930	900	900	850	
-30	850	850	800	900	830	

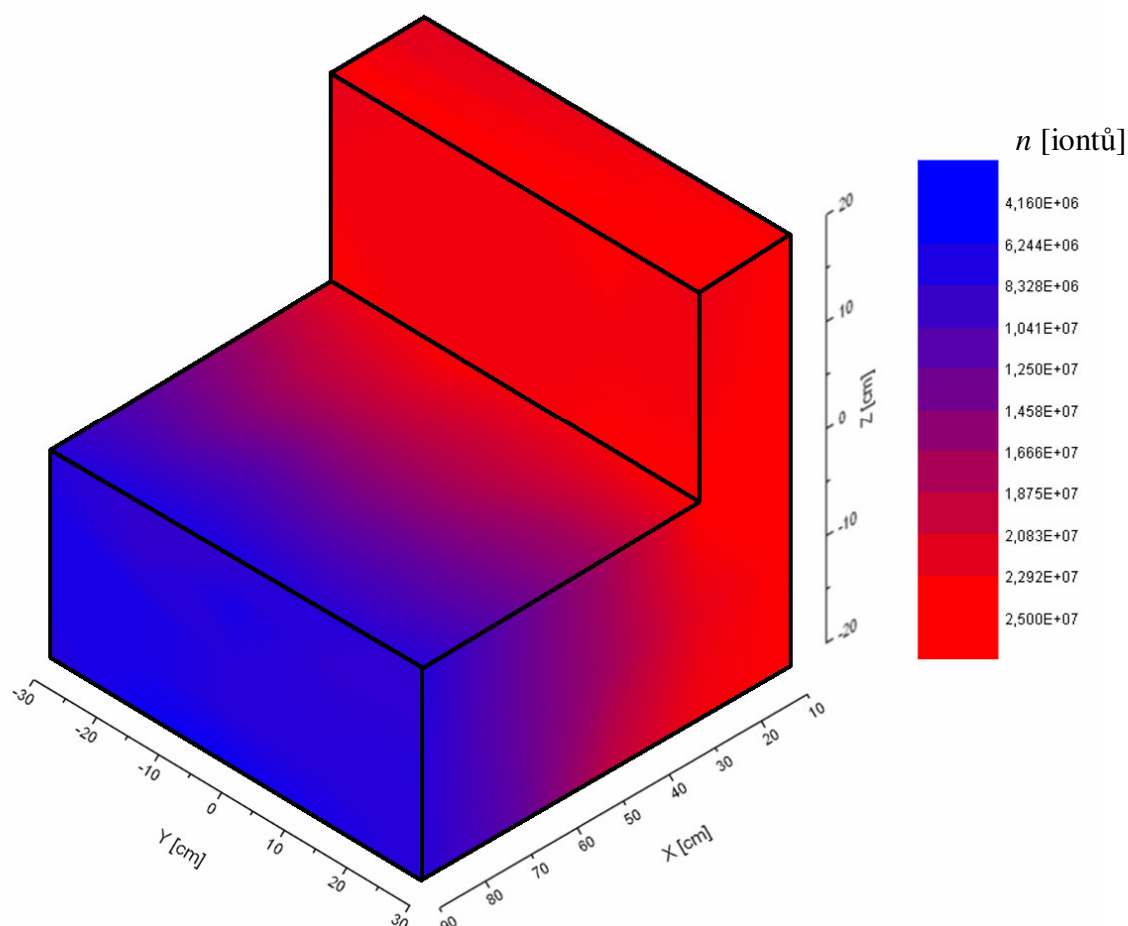
Tab. 10: Přepočítané elektrické pole na proud pro vzdálenost 50 cm se zrcadlem.

pro $X = 50$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	3,10E-12	2,73E-12	2,80E-12	2,83E-12	2,80E-12	I [A]
20	2,93E-12	3,17E-12	2,80E-12	2,83E-12	2,93E-12	
10	3,00E-12	3,03E-12	3,00E-12	2,93E-12	2,87E-12	
0	2,90E-12	3,00E-12	3,00E-12	2,97E-12	3,00E-12	
-10	2,70E-12	3,00E-12	3,03E-12	3,07E-12	2,83E-12	
-20	2,80E-12	3,10E-12	3,00E-12	3,00E-12	2,83E-12	
-30	2,83E-12	2,83E-12	2,67E-12	3,00E-12	2,77E-12	

Tab. 11: Koncentrace iontů pro vzdálenost 50 cm se zrcadlem.

pro $X = 50$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	1,94E+07	1,71E+07	1,75E+07	1,77E+07	1,75E+07	n [iontů]
20	1,83E+07	1,98E+07	1,75E+07	1,77E+07	1,83E+07	
10	1,87E+07	1,89E+07	1,87E+07	1,83E+07	1,79E+07	
0	1,81E+07	1,87E+07	1,87E+07	1,85E+07	1,87E+07	
-10	1,69E+07	1,87E+07	1,89E+07	1,91E+07	1,77E+07	
-20	1,75E+07	1,94E+07	1,87E+07	1,87E+07	1,77E+07	
-30	1,77E+07	1,77E+07	1,66E+07	1,87E+07	1,73E+07	

Opět můžeme vytvořit z naměřených hodnot graf udávající koncentraci iontů v prostoru před ionizátorem se zrcadlem (obr. 12).



Obr. 12: Rozložení koncentrací iontů v prostoru před drátkovým ionizátorem se zrcadlem.

Jak jde vidět z grafu (obr. 12), zrcadlo umístěné těsně za ionizátorem značně posílilo prostor zápornými ionty hlavně v blízkosti ionizátoru, kde je nyní po celé délce osy z koncentrace rovnoměrně rozložená.

Porovnáním výsledků měření se zrcadlem a bez zrcadla je vidět značné zlepšení při použití zrcadla. Vysoké koncentrace iontů sahají do větší vzdálenosti (70 cm od drátkového ionizátoru) a jsou rovnoměrněji rozložené. Bez zrcadla sahají vysoké koncentrace do vzdálenosti 30 cm od drátkového ionizátoru, navíc není rovnoměrně rozložena a nejvyšší koncentrace se vyskytovaly v blízkosti nataženého drátku.

8 Závěr

Během bakalářské práce bylo cílem proniknout do iontové problematiky, naučit se vyhodnocovat a zpracovávat získané data z měření. V teoretickém úvodu jsem shrnul základní obecné poznatky o iontech, jejich fyzikálních vlastnostech, vzniku a rozdělení iontů. Rozepsal jsem také vlivy, které ovlivňují koncentraci iontů v prostředí a zmínil jsem se o potřebách úpravy pobytových prostorů, které významně ovlivňují kvalitu našeho života ve zdraví a psychické pohody. Mezi nejdůležitější principy patří vytvoření vhodného pobytového prostoru za využití přírodních materiálů a materiálů o vysoké hodnotě permitivity. Jako přírodní zdroj iontů je vhodné do místnosti umístit rostliny, které jsou schopné vytvářet záporné ionty.

Byla změřena radiační charakteristika hrotového ionizátoru BIV06. Z grafu (obr.8) lze vyčíst, že generovaná koncentrace iontů exponenciálně klesá se vzdáleností od ionizátoru z důvodu velkého rozptylu iontů do prostředí. Počet zachycených iontů na aspiračním kondenzátoru závisí také na napájecím napětí AK. Při velkých napětích (1000V) AK zachytává i těžké ionty, které při malých napětích AK pouze proletí díky velké kinetické energii. Vhodnou volbou napětí můžeme tedy určit ze spektrální charakteristiky ionizátoru BIV06 (viz obr. 9) a její derivací druhy a množství generovaných iontů. Z obr. 10 lze tedy vidět, že ionizátor generuje hlavně těžké ionty.

V další části práce byl zmapován prostor před ionizátorem, jak vypadá rozložení iontů v tomto prostoru. K tomuto účelu byl použit elektrostatický voltmetr pomocí jejíž sondy byly měřeny jednotlivé body v prostoru v osách x, y, z . Jako ionizátor k tomuto účelu posloužil natažený tenký drátek na který bylo přivedeno záporné napětí 4 kV. Měření se provádělo ve dvou modifikacích, za použití zrcadla (odrazné plochy) a bez zrcadla. Zrcadlo je vodivý materiál (v našem případě plech), který byl na záporném potenciálu. To zajistí, že ionty z ionizátoru se vyzařují do prostoru před ionizátor. Tím se prostor před ionizátorem posílí ionty, které by jinak unikaly za ionizátor.

Na obrázku 11 je vidět prostor před drátkovým ionizátorem bez použití zrcadla. Za zmínku stojí povšimnutí, že největší koncentrace se pohybují v blízkosti nataženého drátku (umístěn v ose $z = 0$ cm), tam je také barva „nejteplejší“. Obrázek 12 naproti tomu ukazuje rozložení iontů při umístění zrcadla za ionizátor. Jak jde vidět, prostor je oproti použití bez zrcadla značně posílen ionty. Ve vertikální ose je už rozložení iontů více homogenní, ve velkých koncentracích sahají i do větší vzdálenosti přibližně do 50 cm v ose x než je tomu bez použití zrcadla kde sahala koncentrace v ose x do 30 cm

Přesnějších výsledků měření v prostoru bychom dosáhli při použití přímo aspirační metody. U něj je však obtížné měření provést z toho důvodu, že nasává vzduch z okolí a nebyla by tak měřena koncentrace v jednom bodě ale v okolí ústí aspiračního kondenzátoru. Měření aspiračním kondenzátorem by mělo smysl, měřili bychom rozložení iontů ve větším prostoru aspoň 4 m³. Musel by se však vyřešit problém manipulace s AK společně s elektrometrem. Obě zařízení jsou dosti velká a těžká, muselo by se postavit zařízení, které by s nimi dokázalo pohybovat v celém prostoru. V této práci jsem měřil prostor přibližně 1 m³.

Použité zdroje

- [1] BEDNÁŘ, Vladimír. *Vliv úpravy pobytového prostoru na koncentraci vzdušných iontů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 49 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Buřival, CSc.
- [2] HRADECKÝ, Jan. *Iontové pole v pobytových prostorech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2004. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Buřival, CSc.
- [3] *Iont*. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ion>
- [4] LAJČÍKOVÁ, Ariana. *Ionizace ovzduší*. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. Dostupný z WWW: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/ionizace-ovzdusi>
- [5] LAJČÍKOVÁ, Ariana. Syndrom *nemocných budov* – *Sick Building syndrome (SBS)*. CPL SZÚ. 2006. Článek dostupný z WWW: http://www1.szu.cz/chpnp/pages/education/syndrom_nemocnych_budov.pdf
- [6] MATHAUSEROVÁ, Zuzana; VOJTĚCHOVSKÁ, Hana; LAJČÍKOVÁ, Ariana. *Vliv umělé ionizace vzduchu na jeho mikrobiální čistotu*. Vliv na růst streptokoků. Praha: Státní zdravotní ústav, 1993. p. 154 – 157.
- [7] NOVÁK, Roman. *Spektrální charakteristika iontového pole různých druhů ionizorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií 2009. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Buřival, CSc
- [8] ŠAVADA, Pavel. *Iontové mikroklima*. Dostupný z WWW: <http://web.telecom.cz/iont/informace.htm#ionty>
- [9] ŠEBELA, Radek. *Orgonity zaplavují okolí aniony*. Článek dostupný z WWW: <http://www.orgonity.cz/anionty.html>
- [10] TRAUFGOTT, Zbyněk. *Spektrální charakteristika iontového pole*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií 2004. 48 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Buřival, CSc.

Použité zkratky

AK aspirační kondenzátor

SBS sick building syndrome (syndrom nemocných budov)

Seznam příloh

Příloha I. Tabulky hodnot prostorové charakteristiky bez zrcadla

Příloha II. Tabulky hodnot prostorové charakteristiky se zrcadlem

Příloha III. Seznam použitých přístrojů [6]

Příloha I. Tabulky hodnot prostorové charakteristiky bez zrcadla

Pro vzdálenost $X = 10$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	900	1000	1200	950	850	U [V]
20	900	1000	1200	950	900	
10	900	1050	1200	980	900	
0	950	1150	1200	1000	1000	
-10	900	1050	1200	980	900	
-20	900	1100	1200	950	920	
-30	900	1100	1200	950	910	

Pro vzdálenost $X = 30$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	730	830	830	790	800	U [V]
20	730	830	830	790	800	
10	730	830	830	790	800	
0	730	830	830	790	800	
-10	730	830	830	790	800	
-20	730	830	830	790	800	
-30	730	790	830	750	800	

Přepočet na proud

30	3,00E-12	3,33E-12	4,00E-12	3,17E-12	2,83E-12	I [A]
20	3,00E-12	3,33E-12	4,00E-12	3,17E-12	3,00E-12	
10	3,00E-12	3,50E-12	4,00E-12	3,27E-12	3,00E-12	
0	3,17E-12	3,83E-12	4,00E-12	3,33E-12	3,33E-12	
-10	3,00E-12	3,50E-12	4,00E-12	3,27E-12	3,00E-12	
-20	3,00E-12	3,67E-12	4,00E-12	3,17E-12	3,07E-12	
-30	3,00E-12	3,67E-12	4,00E-12	3,17E-12	3,03E-12	

Přepočet na proud

30	2,43E-12	2,77E-12	2,77E-12	2,63E-12	2,67E-12	I [A]
20	2,43E-12	2,77E-12	2,77E-12	2,63E-12	2,67E-12	
10	2,43E-12	2,77E-12	2,77E-12	2,63E-12	2,67E-12	
0	2,43E-12	2,77E-12	2,77E-12	2,63E-12	2,67E-12	
-10	2,43E-12	2,77E-12	2,77E-12	2,63E-12	2,67E-12	
-20	2,43E-12	2,77E-12	2,77E-12	2,63E-12	2,67E-12	
-30	2,43E-12	2,63E-12	2,77E-12	2,50E-12	2,67E-12	

Přepočet na koncentraci

30	1,87E+07	2,08E+07	2,50E+07	1,98E+07	1,77E+07	n [iontů]
20	1,87E+07	2,08E+07	2,50E+07	1,98E+07	1,87E+07	
10	1,87E+07	2,18E+07	2,50E+07	2,04E+07	1,87E+07	
0	1,98E+07	2,39E+07	2,50E+07	2,08E+07	2,08E+07	
-10	1,87E+07	2,18E+07	2,50E+07	2,04E+07	1,87E+07	
-20	1,87E+07	2,29E+07	2,50E+07	1,98E+07	1,91E+07	
-30	1,87E+07	2,29E+07	2,50E+07	1,98E+07	1,89E+07	

Přepočet na koncentraci

30	1,52E+07	1,73E+07	1,73E+07	1,64E+07	1,66E+07	n [iontů]
20	1,52E+07	1,73E+07	1,73E+07	1,64E+07	1,66E+07	
10	1,52E+07	1,73E+07	1,73E+07	1,64E+07	1,66E+07	
0	1,52E+07	1,73E+07	1,73E+07	1,64E+07	1,66E+07	
-10	1,52E+07	1,73E+07	1,73E+07	1,64E+07	1,66E+07	
-20	1,52E+07	1,73E+07	1,73E+07	1,64E+07	1,66E+07	
-30	1,52E+07	1,64E+07	1,73E+07	1,56E+07	1,66E+07	

Pro vzdálenost $X = 50$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	550	580	600	560	570	U [V]
20	550	580	600	560	570	
10	550	580	600	560	570	
0	550	580	600	560	570	
-10	550	580	600	560	570	
-20	550	580	590	550	560	
-30	550	580	580	540	550	

Pro vzdálenost $X = 70$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	370	380	410	410	410	U [V]
20	370	380	410	410	410	
10	370	380	410	410	410	
0	370	380	410	410	410	
-10	370	380	410	410	410	
-20	370	380	410	410	410	
-30	370	380	410	410	410	

Přepočet na proud

30	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	I [A]
20	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
10	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
0	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
-10	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	
-20	1,83E-12	1,93E-12	1,97E-12	1,83E-12	1,87E-12	
-30	1,83E-12	1,93E-12	1,93E-12	1,80E-12	1,83E-12	

Přepočet na proud

30	1,23E-12	1,27E-12	1,37E-12	1,37E-12	1,37E-12	I [A]
20	1,23E-12	1,27E-12	1,37E-12	1,37E-12	1,37E-12	
10	1,23E-12	1,27E-12	1,37E-12	1,37E-12	1,37E-12	
0	1,23E-12	1,27E-12	1,37E-12	1,37E-12	1,37E-12	
-10	1,23E-12	1,27E-12	1,37E-12	1,37E-12	1,37E-12	
-20	1,23E-12	1,27E-12	1,37E-12	1,37E-12	1,37E-12	
-30	1,23E-12	1,27E-12	1,37E-12	1,37E-12	1,37E-12	

Přepočet na koncentraci

30	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	n [iontů]
20	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
10	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
0	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
-10	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	
-20	1,14E+07	1,21E+07	1,23E+07	1,14E+07	1,17E+07	
-30	1,14E+07	1,21E+07	1,21E+07	1,12E+07	1,14E+07	

Přepočet na koncentraci

30	7,70E+06	7,91E+06	8,53E+06	8,53E+06	8,53E+06	n [iontů]
20	7,70E+06	7,91E+06	8,53E+06	8,53E+06	8,53E+06	
10	7,70E+06	7,91E+06	8,53E+06	8,53E+06	8,53E+06	
0	7,70E+06	7,91E+06	8,53E+06	8,53E+06	8,53E+06	
-10	7,70E+06	7,91E+06	8,53E+06	8,53E+06	8,53E+06	
-20	7,70E+06	7,91E+06	8,53E+06	8,53E+06	8,53E+06	
-30	7,70E+06	7,91E+06	8,53E+06	8,53E+06	8,53E+06	

Pro vzdálenost $X = 90$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	200	580	600	560	570	U [V]
20	200	200	200	200	200	
10	200	200	200	200	200	
0	200	200	200	200	200	
-10	200	200	200	200	200	
-20	200	200	200	200	200	
-30	200	200	200	200	200	

Přepočet na proud

30	6,67E-13	1,93E-12	2,00E-12	1,87E-12	1,90E-12	I [A]
20	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	
10	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	
0	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	
-10	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	
-20	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	
-30	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	6,67E-13	

Přepočet na koncentraci

30	4,16E+06	1,21E+07	1,25E+07	1,17E+07	1,19E+07	n [iontů]
20	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	
10	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	
0	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	
-10	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	
-20	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	
-30	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	4,16E+06	

Příloha II. Tabulky hodnot prostorové charakteristiky se zrcadlem

Pro vzdálenost $X = 10$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	1190	1200	1200	1200	1200	U [V]
20	1200	1200	1200	1200	1200	
10	1190	1200	1200	1200	1200	
0	1200	1200	1200	1200	1200	
-10	1200	1200	1200	1180	1200	
-20	1190	1150	1200	1170	1200	
-30	1100	1100	1150	1150	1150	

Pro vzdálenost $X = 30$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	1150	1100	1200	1150	1120	U [V]
20	1100	1100	1190	1150	1200	
10	1100	1100	1150	1150	1150	
0	1150	1100	1150	1150	1150	
-10	1100	1100	1200	1150	1090	
-20	1100	1100	1150	1080	1100	
-30	1100	1050	1100	1020	1050	

Přepočet na proud

30	3,97E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	I [A]
20	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	
10	3,97E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	
0	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	
-10	4,00E-12	4,00E-12	4,00E-12	3,93E-12	4,00E-12	
-20	3,97E-12	3,83E-12	4,00E-12	3,90E-12	4,00E-12	
-30	3,67E-12	3,67E-12	3,83E-12	3,83E-12	3,83E-12	

Přepočet na proud

30	3,83E-12	3,67E-12	4,00E-12	3,83E-12	3,73E-12	I [A]
20	3,67E-12	3,67E-12	3,97E-12	3,83E-12	4,00E-12	
10	3,67E-12	3,67E-12	3,83E-12	3,83E-12	3,83E-12	
0	3,83E-12	3,67E-12	3,83E-12	3,83E-12	3,83E-12	
-10	3,67E-12	3,67E-12	4,00E-12	3,83E-12	3,63E-12	
-20	3,67E-12	3,67E-12	3,83E-12	3,60E-12	3,67E-12	
-30	3,67E-12	3,50E-12	3,67E-12	3,40E-12	3,50E-12	

Přepočet na koncentraci

30	2,48E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	n [iontů]
20	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	
10	2,48E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	
0	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	
-10	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,46E+07	2,50E+07	
-20	2,48E+07	2,39E+07	2,50E+07	2,43E+07	2,50E+07	
-30	2,29E+07	2,29E+07	2,39E+07	2,39E+07	2,39E+07	

Přepočet na koncentraci

30	2,39E+07	2,29E+07	2,50E+07	2,39E+07	2,33E+07	n [iontů]
20	2,29E+07	2,29E+07	2,48E+07	2,39E+07	2,50E+07	
10	2,29E+07	2,29E+07	2,39E+07	2,39E+07	2,39E+07	
0	2,39E+07	2,29E+07	2,39E+07	2,39E+07	2,39E+07	
-10	2,29E+07	2,29E+07	2,50E+07	2,39E+07	2,27E+07	
-20	2,29E+07	2,29E+07	2,39E+07	2,25E+07	2,29E+07	
-30	2,29E+07	2,18E+07	2,29E+07	2,12E+07	2,18E+07	

Pro vzdálenost $X = 50$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	930	820	840	850	840	U [V]
20	880	950	840	850	880	
10	900	910	900	880	860	
0	870	900	900	890	900	
-10	810	900	910	920	850	
-20	840	930	900	900	850	
-30	850	850	800	900	830	

Přepočet na proud

30	3,10E-12	2,73E-12	2,80E-12	2,83E-12	2,80E-12	I [A]
20	2,93E-12	3,17E-12	2,80E-12	2,83E-12	2,93E-12	
10	3,00E-12	3,03E-12	3,00E-12	2,93E-12	2,87E-12	
0	2,90E-12	3,00E-12	3,00E-12	2,97E-12	3,00E-12	
-10	2,70E-12	3,00E-12	3,03E-12	3,07E-12	2,83E-12	
-20	2,80E-12	3,10E-12	3,00E-12	3,00E-12	2,83E-12	
-30	2,83E-12	2,83E-12	2,67E-12	3,00E-12	2,77E-12	

Přepočet na koncentraci

30	1,94E+07	1,71E+07	1,75E+07	1,77E+07	1,75E+07	n [iontů]
20	1,83E+07	1,98E+07	1,75E+07	1,77E+07	1,83E+07	
10	1,87E+07	1,89E+07	1,87E+07	1,83E+07	1,79E+07	
0	1,81E+07	1,87E+07	1,87E+07	1,85E+07	1,87E+07	
-10	1,69E+07	1,87E+07	1,89E+07	1,91E+07	1,77E+07	
-20	1,75E+07	1,94E+07	1,87E+07	1,87E+07	1,77E+07	
-30	1,77E+07	1,77E+07	1,66E+07	1,87E+07	1,73E+07	

Pro vzdálenost $X = 70$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	550	580	580	580	500	U [V]
20	570	580	590	540	490	
10	500	580	590	600	550	
0	510	550	600	600	600	
-10	570	570	550	580	600	
-20	600	580	600	550	550	
-30	500	540	550	540	440	

Přepočet na proud

30	1,83E-12	1,93E-12	1,93E-12	1,93E-12	1,67E-12	I [A]
20	1,90E-12	1,93E-12	1,97E-12	1,80E-12	1,63E-12	
10	1,67E-12	1,93E-12	1,97E-12	2,00E-12	1,83E-12	
0	1,70E-12	1,83E-12	2,00E-12	2,00E-12	2,00E-12	
-10	1,90E-12	1,90E-12	1,83E-12	1,93E-12	2,00E-12	
-20	2,00E-12	1,93E-12	2,00E-12	1,83E-12	1,83E-12	
-30	1,67E-12	1,80E-12	1,83E-12	1,80E-12	1,47E-12	

Přepočet na koncentraci

30	1,14E+07	1,21E+07	1,21E+07	1,21E+07	1,04E+07	n [iontů]
20	1,19E+07	1,21E+07	1,23E+07	1,12E+07	1,02E+07	
10	1,04E+07	1,21E+07	1,23E+07	1,25E+07	1,14E+07	
0	1,06E+07	1,14E+07	1,25E+07	1,25E+07	1,25E+07	
-10	1,19E+07	1,19E+07	1,14E+07	1,21E+07	1,25E+07	
-20	1,25E+07	1,21E+07	1,25E+07	1,14E+07	1,14E+07	
-30	1,04E+07	1,12E+07	1,14E+07	1,12E+07	9,16E+06	

Pro vzdálenost $X = 90$ cm						
Y [cm]	Z [cm]					
	-20	-10	0	10	20	
30	350	350	340	380	400	U [V]
20	300	350	360	390	340	
10	250	350	350	300	400	
0	250	300	300	390	400	
-10	350	300	300	300	350	
-20	350	320	300	320	300	
-30	300	300	350	330	320	

Přepočet na proud

30	1,17E-12	1,17E-12	1,13E-12	1,27E-12	1,33E-12	I [A]
20	1,00E-12	1,17E-12	1,20E-12	1,30E-12	1,13E-12	
10	8,33E-13	1,17E-12	1,17E-12	1,00E-12	1,33E-12	
0	8,33E-13	1,00E-12	1,00E-12	1,30E-12	1,33E-12	
-10	1,17E-12	1,00E-12	1,00E-12	1,00E-12	1,17E-12	
-20	1,17E-12	1,07E-12	1,00E-12	1,07E-12	1,00E-12	
-30	1,00E-12	1,00E-12	1,17E-12	1,10E-12	1,07E-12	

Přepočet na koncentraci

30	7,28E+06	7,28E+06	7,07E+06	7,91E+06	8,32E+06	n [iontů]
20	6,24E+06	7,28E+06	7,49E+06	8,11E+06	7,07E+06	
10	5,20E+06	7,28E+06	7,28E+06	6,24E+06	8,32E+06	
0	5,20E+06	6,24E+06	6,24E+06	8,11E+06	8,32E+06	
-10	7,28E+06	6,24E+06	6,24E+06	6,24E+06	7,28E+06	
-20	7,28E+06	6,66E+06	6,24E+06	6,66E+06	6,24E+06	
-30	6,24E+06	6,24E+06	7,28E+06	6,87E+06	6,66E+06	

Příloha III. Seznam použitých přístrojů [6]

přístroj	název/typ	rozsah/charakteristika				výrobní číslo/označení
Elektrometr	KEITHLEY INSTRUMENTS 610C	měření	rozsah	přesnost	šum	1-14876
		I	$10^{-14}\text{A} - 0,3\text{A}$	$\pm 2 \%$ z rozsahu: $0,3 - 10^{-11}\text{A}$ $\pm 4 \%$ z rozsahu: $3 \cdot 10^{-12} - 10^{-14}\text{A}$	méně než $\pm 3 \cdot 10^{-15}\text{A}$	
		U	$0,001\text{V} - 100\text{V}$	$\pm 1 \%$ z pevného měřítka ve	$\pm \text{max. } 25 \cdot 10^{-6}\text{ V}$	
Voltmetr	Metra Blansko typ	U	0-300V	t.p. 1,5		634885
Umělý generátor negativních iontů	TYP BIV 06 Kovodělný podnik	220 V~, 0,2 VA				VUT FEI 4310
Ventilátor	Sunon typ	12V, 2,7 W				
Kondenzátor (zdroj)	TYP TC 209 TESLA	47nF, 1000V – B1				
Ocelový anuloid		vnější Ø33 cm, vnitřní Ø 14 cm, výška				bez označení z