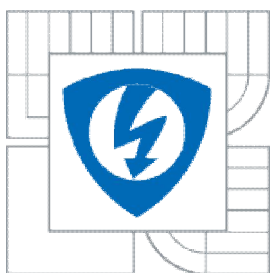




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE**

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

Vyhodnocení vlastností vzdušných iontů vytvářených různými zdroji iontů

**EVALUATION OF THE PROPERTIES OF AIR IONS PRODUCED BY VARIOUS ION
SOURCES**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARTIN LAZORKA

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ ŠPINKA

BRNO 2013

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na složení atmosféry, na děje, které v ní probíhají, především pak na vznik atmosférických iontů a energii, kterou je nutno dodat pro ionizaci plynu. Dále se práce zabývá vlivem aerosolových částic na koncentrace iontů a také nad tím jak působí vzdušné ionty na lidský organizmus. V neposlední řadě je zde uvedeno srovnání možností umělé ionizace vzduchu pro interiéry.

KLÍČOVÁ SLOVA

Iont, ionizace, ionizátory, pohyblivost iontů, aspirační kondenzátor, saturační charakteristika.

ABSTRACT

The work is focused on the composition of the atmosphere, the processes that take place in it, especially on the formation of atmospheric ions and the energy that must be supplied to ionize the gas. The work examines the influence of aerosol particles on the concentration of ions and also how air ions influence the human health. Last but not least, there is mentioned a comparison of the possibilities of artificial air ionization for interiors.

KEYWORDS

Ion, ionization, ionizers, ion mobility, aspiration condenser, saturation characteristics.

LAZORKA, M. *Vyhodnocení vlastností vzdušných iontů vytvářených různými zdroji iontů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Špínka.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Vlastností vzdušných iontů vytvářených různými zdroji iontů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce 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 diplomové 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Špinkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Z. Buřivalovi, CSc. za jeho všestranné připomínky a zkušenosti o které se semnou podělil. Velkým přínosem pro mě byla spolupráce s Ing. Z. Roubalem a primářem MUDr. S. Slavíkem. Taktéž děkuji Ing. P. Křivíkovi Ph.D., který mne seznámil se základy programu VEE Pro. V neposlední řadě chci poděkovat K. Samkové za gramatickou konzultaci.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek a grafů	x
Úvod	1
1 Teoretická část	3
1.1 Složení atmosféry.....	3
1.2 Způsoby ionizace ovzduší	7
1.2 Dynamika vzdušných iontů v atmosféře	12
1.3 Rozdělení iontů	15
1.4 Biologické účinky iontů	17
1.5 Ionizátory.....	20
1.6 Faktory ovlivňující koncentraci vzdušných iontů v budovách.....	23
1.7 Vliv stavebních konstrukcí na koncentrace iontů v interiéru	24
1.8 Vliv permitivity a povrchového odporu na koncentrace iontů.....	25
2 Měření elektroiontového mikroklimatu	28
2.1 Optoelektronická diferenční metoda.....	28
2.2 Měření aspiračním kondenzátorem.....	28
3 Postup měření	36
4 Porovnání aspiračních kondenzátorů	38
4.1 Závislost koncentrace iontů na vzdálenosti od hrotového ionizéru.....	39
4.2 Srovnání AK UTEE a AK pana Buřivala.....	41
4.3 Měření v režimu FAST a NORMAL	43
5 Měřené Zdroje iontů	44
5.1 Hrotový ionizátor	44
5.2 Sloupový ionizátor	47
5.3 Ultrazvukový difuzér	51
5.4 Plazmový ionizátor	53
5.5 Ionizátor do lednice.....	58

5.6	Fén s ionizátorem.....	60
5.7	Vliv prostředí na koncentraci iontů.....	62
5.8	Udržitelnost umělého iontového pole	65
5.9	Vliv aerosolových částic na koncentraci iontů	67
5.10	Koncentrace iontů v Císařské jeskyni	70
6	Závěr	72
	Literatura	75
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	77
	Seznam příloh	78

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1.2 volt-ampérová charakteristika pro vodivost plynu [24]	21
Obr. č. 1.2 nevhodné a správné řešení pobytových prostor s ohledem na elektroiontové mikroklima[6]	27
Obr. č. 2.1 princip měření s aspiračním kondenzátorem[2]	29
Obr. č. 2.2 a) A–V saturační charakteristika měřená rozptylovou metodou při klidném vzduchu, b) A–V saturační charakteristika měřená aspiračním kondenzátorem[6]	30
Obr. č. 2.3 trajektorie iontů procházející kondenzátorem za přítomnosti elektrického pole.[6]	31
Obr. č. 2.4 charakteristika aspiračního kondenzátoru pro ionty s hustotami n_1 , n_2 , n_3 a pohyblivostmi k_1 , k_2 a k_3 [6].....	34
Obr. č. 3.1 schéma zapojení měřicí soustavy.....	36
Obr. č. 5.1 elektrodové uspořádání hrotového ionizátoru	44
Obr. č. 5.2 sběrné elektrody sloupové ionizátoru [23]	47
Obr. č. 5.3 sloupový ionizátor s povysunutou sběrnou elektrodou [23]	48
Obr. č. 5.4 vlevo ultrazvukový difuzér, vpravo zvlhčovač vzduch s ionizací[26].....	51
Obr. č. 5.5 vlevo jsou elektrody v rozloženém stavu a vpravo elektrody při zasouvání do plazmového ionizátoru	54
Obr. č. 5.6 schéma rozmístění AK a plazmového ionizátoru $d = -10$ cm	56
Obr. č. 5.7 ionizátor do lednice [25]	58
Obr. č. 5.8 grafické znázornění rozmístění fěnu a AK.....	60
Obr. č. 5.9 schéma rozmístění AK, ionizátoru a ult. difuzéru	68

SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

Tab. č. 1.1 složení suché atmosféry v přízemní vrstvě [2]	4
Tab. č. 1.4 koncentrace vzdušných iontů v závislosti na místě[17]	23
Tab. č. 1.5 hodnoty relativní permitivity u vybraných látek[9]	26
Tab. č. 4.1 závislost koncentrace záporných iontů na vzdálenosti od hrotového ionizátoru	40
Tab. č. 5.1 průtok vzduchu AK v závislosti na čase	65

ÚVOD

Cílem mojí práce bylo shrnout problematiku vzdušných iontů, zjistit vliv aerosolových částic na koncentrace iontů a proměřit různé zdroje iontů. První část je zaměřena na teoretické poznatky v dané problematice. Podrobněji jsem se zaměřil na to, jaké děje probíhají v atmosféře a co je potřeba k vytvoření iontového páru. Dále jsem se zabýval na dynamiku iontů a v neposlední řadě, i tím jak ionty působí na člověka a jeho okolí.

Dané téma jsem zvolil především kvůli aktuálnosti problematiky, kdy spousty komerčně prodávaných výrobků udávají, že jsou zdrojem iontů. Často udávají i to, jak moc koncentrace záporných iontů prospívá našemu zdraví. Výrobci však nikde neuvádí, jaké koncentrace iontů daný přístroj vytváří a jakým způsobem dochází k ionizaci vzduchu. K vytvoření iontů se využívá především silných elektrických polí, ale nikde neuvádí možnost škodlivost elektrických polí, které na člověka působí. Výrobci také neuvádějí to, jaké shluky iontů daný přístroj vyrábí, jestli se jedná o malé, střední nebo velké shluky molekul. Na lidský organizmus totiž působí blahodárně především malé shluky molekul. Střední a velké ionty mají spíše čistící význam pro prostředí. Často se také zapomíná na to, že nejvhodnější pobytový prostor by měl mít koeficient unipolarity kolem jedné.

Pro měření koncentrace iontů nejsou vydány žádné směrnice ani nařízení. Nejsou stanoveny minima pro koncentrace iontů, pouze doporučené hodnoty. Doporučené hodnoty by se měly pohybovat kolem tisíce iontů na centimetr krychlový. Pro měření koncentrací iontů byla využita metoda aspiračního kondenzátoru, která jako jediná metoda dovoluje měřit ionty s různou pohyblivostí.

Na koncentrace iontů působí mnoho faktorů, proto je velmi obtížné měnit pouze jeden faktor a sledovat jeho vliv. Velký vliv na koncentrace iontů má bezpochybně prostředí, ve kterém se měření koncentrace provádí, ale také jaké koncentrace iontů se vyskytují v exteriéru v dané lokalitě. Pro udržitelnost vytvořeného iontového pole je důležité elektrické pole v daném místě a příkon ionizační energie v místě měření.

Vysoké koncentrace iontů se používají především pro léčbu respiračních chorob. Obor, který se touto léčbou zabývá se nazývá speleoterapie. V České republice jsou dvě speleoterapeutická centra a to ve Vojtěchově a v Ostrově u Macochy, kde probíhalo měření v Císařské jeskyni. Jedna kapitola práce je proto zaměřena na koncentrace iontů ve speleoterapeutické jeskyni. Vysoké koncentrace iontů se dále využívají v nemocnicích na popáleninových centrech, díky tomu, že záporné ionty eliminují bakterie a pomáhají rychlejší regeneraci kůže.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Složení atmosféry

Atmosféra je plynný obal Země, který umožňuje existenci života. Je zdrojem kyslíku, potřebného pro dýchání živočichů, oxidu uhličitého, nezbytného k fotosyntéze rostlin, a také dusíku, potřebného pro život některých bakterií. Atmosféra nás chrání před nežádoucím množstvím infračerveného, ultrafialového a kosmického záření z vesmíru, které atmosférou částečně prochází. Je částečně pohlcováno a částečně se odráží. Atmosféra zabraňuje nadbytečnému unikání tepla ze zemského povrchu, takže udržuje teplotu v rovnovážném stavu. Rovněž umožňuje hydrologický cyklus, neboť vyvolává a zprostředkovává i transport vody z oceánu na pevniny. Dnes je bohužel obrovským odkladištěm plynných a aerosolových forem odpadů, vznikajících lidskou činností.

V přízemních vrstvách troposféry se odehrávají biologické pochody živých organismů, pro něž je kvalita vzduchu naprosto prvořadá. Zřejmé to je z časových úseků nezbytných základních potřeb člověka, tj. přijímání potravy, tekutin a dýchání. Jejich nutnost je na časové ose v sekundách 10^6 : 10^5 : 10^2 . Jinak řečeno, člověk nemusí 30 dní jíst, 3 dny pít, ale nedýchat může nanejvýš 3 minuty. Průměrný jedinec spotřebuje za 24 hodin přibližně 12 m^3 (tedy asi 15kg) vzduchu. Spotřeba se samozřejmě liší v klidovém stavu a při aktivním pohybu. [2]

Smluvní složení standardní atmosféry je uvedeno v tabulce 1.1 a toto dělení je podle WCAO (World Civil Aviation Organization). Uváděné hodnoty platí pro normalizované podmínky tlaku 1013,25 hPa a teploty 15 °C, při střední molekulové hmotnosti 28,966 a hustotě $1,225 \text{ kg.m}^{-3}$. Tyto podmínky se liší vzhledem k nadmořské výšce v různých atmosférických vrstvách a to v mezích $3 \cdot 10^{-5}$ až 10^3 hPa, resp. -138 až 1700 °C. Z obecného hlediska není důležitý jen obsah kyslíku, ale i obsah všech ostatních složek. Také z hlediska a chování iontů jsou všechny složky atmosféry důležité.

plynná složka	chemická značka	objemu %
dusík	N ₂	78,09
kyslík	O ₂	20,95
argon	Ar	0,93
oxid uhličitý	CO ₂	0,03
neon	Ne	$1,8 \cdot 10^{-3}$
helium	He	$5,24 \cdot 10^{-5}$
krypten	Kr	$1,0 \cdot 10^{-4}$
vodík	H ₂	$5,0 \cdot 10^{-5}$
xenon	Xe	$8,0 \cdot 10^{-6}$
ozón	O ₃	$1,0 \cdot 10^{-6}$

Tab. č. 1.1 složení suché atmosféry v přízemní vrstvě [2]

Suchý atmosférický vzduch, který se vyskytuje ve skutečnosti jen velmi zřídka, se skládá především z dusíku a kyslíku a v podstatně menší míře z dalších složek. 99% atmosféry se nachází v přízemní vrstvě a to do výšky zhruba 30 km. Zbývající 1% připadá na vrstvy vyšší. [3]

V atmosféře jsou také obsaženy mikrokomponenty, které nedílnou částí ovlivňují tvorbu a chování vzdušných iontů. Jsou to hlavně znečišťující, plynné složky nebo tekuté a tuhé aerosoly. Hmotné části v koloidním disperzním stavu v plynu označujeme jako aerosoly. Rozptýlené částice mají velikost od 10 nm do 10 μm, což

odpovídá shlukům několika molekul až částicím tak hmotným, že už nemohou snadno poletovat v atmosféře. V atmosféře se tvoří nejčastěji kondenzační jádra, na nichž se sráží vodní páry, nebo vystupují jako účinné iontové lapače. Nejrozšířenějšími znečišťovateli jsou oxid uhelnatý, oxid siřičitý a oxid dusný. Pro tyto látky byly stanoveny přípustné limitní koncentrace ve vzduchu. Z organických znečišťovadel je to tzv. smog pocházející z nedokonalého spalování. Ten kromě vychytávání iontů vyvolává sám slzení a respirační potíže. Nejhoršími jsou však karcinogenní látky, které jsou vesměs organického původu. Přízemní vrstvy také obsahují i jisté množství živých organismů jako např. viry, bakterie, řasy, houby, mechy, pyly rostlin a prvoky. Vzdušné ionty na tato znečištění působí přímým baktericidním účinkem, také s nimi reagují podle jejich povrchové iontové afinity a tím i zanikají. Poslední významnou složkou přízemní atmosféry jsou kovové částice či anorganické nečistoty jako olovo, beryllium, azbest, freon apod., které mají spíše toxický účinek a lokálně působí na lidský organismus. [3]

Prach v atmosféře

Bez pozemského přispění se do atmosféry dostává kosmický prach, jehož celkové množství činí za rok jen 100 t. Obecně je přízemní prašnost mnohonásobně větší. Mezi hlavní zdroje v přírodě patří erupční aktivita sopek, prachové či písečné bouře apod. Častým zdrojem v určitých ročních obdobích jsou kvetoucí stromy, keře apod. Výše uvedené zdroje jsou přirozenou zaprášeností atmosféry. Hlavními zdroji civilizačního zaprášení atmosféry jsou průmyslové závody, pozemní stavby, doprava a zemědělství. Množství prachových částic se lokálně liší v závislosti na mnoha faktorech. Nejmenší prašnost je zaznamenávána nad mořskou hladinou. Oproti takovým místům je prašnost v běžných venkovních podmínkách asi 10x větší, v menších průmyslových městech asi 35x a ve velkých městech až 100x větší. Za nepříznivých podmínek může být prašnost až o 3 řády vyšší než za běžných podmínek. Většina prachových částic podléhá gravitační síle, a proto pomalu sedimentují, z čehož vyplývá, že jejich rozložení není homogenní. Do výšky 60 m nad povrchem bývá kolem 60% celkového množství, zatímco do výšky 200 m je to již 90% z celkové prašnosti. Minimální spad v čisté venkovské krajině vzdálené od průmyslové zóny bývá kolem

100 t.km^{-2} za rok, zatímco ve velkých průmyslových zónách to může být až 200 t.km^{-2} za rok i více. Některé země berou právě za ukazatele čistoty ovzduší roční spad na jednotku plochy. Toto jednoduché kritérium však v dnešní době nepostačuje, neboť sedimentující prach není zdaleka nejškodlivější znečištění. Významnější vliv na koncentraci vzdušných iontů mají aerosolové částice. Zcela běžná koncentrace aerosolu je $1,6 \cdot 10^9$ částic o průměru $0,5 \text{ }\mu\text{m}$ homogenně rozptýlených v 1 m^3 vzduchu. Za zvláštních situací může hodnota dosáhnout i 10^{10} částic. Ve zcela čistém ovzduší se obvykle nachází kolem 10^5 aerosolových částic v 1 m^3 . Velikost prašného spadu i množství aerosolu se mění nejen v závislosti na zdrojích, ale také se změnami metrologickými, s klimatem, ročním obdobím apod. V zimních měsících je například prašnost větší než v letních měsících. Hlavní vliv na to má spalování tuhých paliv v domácnostech. [2]

1.2 Způsoby ionizace ovzduší

Z obecného hlediska je ionizace plynů rychlým sledem fyzikálních a fyzikálně chemických procesů, závislých na celé řadě vnějších podmínek, vedoucích k vytvoření kladně a záporně nabitých částic. Atmosférické ionty jsou elektricky nabitě atomy, molekuly, části molekul nebo molekulové shluky (clustery), které vznikly v důsledku ionizace atmosféry.

Ke vzniku iontového páru je zapotřebí dodat energii, což se děje především ionizujícím zářením (UV záření, γ záření, kosmické záření), ale i dalšími způsoby jako je např. elektrický výboj (blesk), kinetická energie při tříštění vodních kapek (Lenardův efekt), tepelná energie, atd. Vytvořené ionty nejsou stálé a pod vlivem svého okolí podléhají řadě změn, při nichž jednak mění svůj náboj, velikost, pohyblivost a v neposlední řadě dochází i rekombinaci. V případě že je energie dodávaná neustále, vytváří se v dané lokalitě jistá dynamická rovnováha iontů, vedoucí k ustálené hodnotě koncentrace. Reakce následující po vytvoření prvního iontového páru jsou procesy relativně rychlé. Vlivem zemského elektrického pole dochází k částečné separaci nábojů, ionty pak mohou reagovat s dalšími molekulami a vytvářet tak stále větší iontové útvary nebo se deponovat na aerosolech či prachových částicích ve vzduchu. Tímto způsobem ztrácejí rychlost, podléhají gravitaci a sedimentují či se dalším elektrostatickým způsobem deponují na opačně nabitých nebo neutrálních površích.

Při disociaci se molekula rozpadá na dvě i více elektricky neutrálních částic, nazývaných volnými radikály. Radikály jsou díky svému nepárovému elektronu velmi reaktivní a zúčastňují se reakcí v chemickém stádiu účinkového řetězce. Radikály jsou těžce detekovatelné a to jednak pro jejich krátkou dobu života a také proto, že jsou elektricky neutrální. [1]

a) Nárazová ionizace plynů

Při nepružné srážce dvou částic o hmotnosti m_1 , m_2 platí zákon zachování energie

$$\frac{1}{2}m_2v_{20}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{11}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{21}^2 + \Delta \quad (1.0)$$

Narazí-li částice 2 na klidnou částici 1 a pokud je ráz centrální, platí v_{10} , v_{20} jsou

rychlosti částic před srážkou, že v_{11} , v_{21} jsou rychlosti částic po nárazu, a Δ je předaná energie při nárazu z částice 2 na částici 1. Energie Δ zvyšuje vnitřní energii částice 1 a projevuje se na venek jako excitace nebo jako ionizace dané částice. Platí věta o impulsu hmoty:

$$m_2 v_{20} = m_1 v_{11} + m_2 v_{21} \quad (1.1)$$

Z obou rovnic plyne:

$$m_2 v_{20}^2 = m_2 v_{21}^2 + \frac{m_2}{m_1} (v_{20} - v_{21})^2 + 2\Delta \quad (1.2)$$

tento vztah nám udává poměr mezi Δ a rychlostí v_{21} .

Maximální hodnotu energie Δ , která může být přenesena při nepružném nárazu, vypočteme tak, že derivujeme $\frac{d\Delta}{dv_{21}}$ a položíme rovnou nule.

$$2m_2 v_{21} - 2 \frac{m_2^2}{m_1} (v_{20} - v_{21}) = 0 \quad (1.3)$$

$$\Rightarrow v_{21} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} v_{20} \quad (1.4)$$

Výsledná hodnota energie Δ_{max} je rovna:

$$\Delta_{max} = \frac{1}{2} m_2 v_{20}^2 \frac{m_1}{m_2 + m_1} = w_0 \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (1.5)$$

kde w_0 značí počáteční kinetickou energii částice 1. Pokud je částicí 2 molekula, jejíž ionizační práce je w_i , může nastat ionizace jen tehdy, když bude platit:

$$\Delta_{max} \geq w_i \quad (1.6)$$

$$\frac{m_1}{m_1 + m_2} w_0 \geq w_i \quad (1.7)$$

Je-li narážející částicí elektron, potom platí $m_2 \ll m_1$

$$\Rightarrow w_0 \geq w_i \quad (1.8)$$

Je-li narážející částicí iont, potom platí $m_1 \doteq m_2$

$$\Rightarrow w_0 \geq 2w_i \quad (1.9)$$

Pro případ pružné srážky je nutné do dříve odvozených rovnic dosadit $\Delta=0$. Z toho

plyne, že po srážce dostaneme rychlost částic

$$\begin{aligned}v_{11} &= 2v_{20} \frac{m_2}{m_1+m_2} \\v_{21} &= v_{20} \frac{m_2-m_1}{m_2+m_1}\end{aligned}\tag{1.10}$$

Pružné nárazy jsou důsledkem toho, že kinetická energie narážející částice je mnohem větší než ionizační energie narážející částice. Dalším případem může být, že kinetická energie narážející částice je menší než nejmenší energie excitovaného atomu, protože menší energii nemůže atom (molekula) přijmout jako přírůstek vnitřní energie. Takto přenášená energie se projeví jen jako změna kinetické energie částice.

Tyto úvahy se projeví u Rogerova efektu a při srážkách s α a β částicemi. Rogerův efekt vzniká při prudkém víření pevných částic prachu, písku či krystalků ledu obsažených ve vzduchu. Způsobuje také určitou ionizaci vzduchu. [19]

Alfa a beta částice jsou vysokoenergetickými částicemi, které mají kinetickou energii až několik MeV. Jejich dosah v atmosféře je okolo 10cm, přičemž patří mezi záření s vysokým koeficientem lineárního přenosu energie. Částice uvolněná při radioaktivní přeměně dceřiného atomu radonu ^{222}Rn předá po svém úplném pohlcení na asi 7cm dlouhé dráze ve vzduchu celkem 7,7MeV energie a tím vytvoří přibližně $2 \cdot 10^5$ iontových párů. Lineární hustota vytvořených iontů I_h ovšem není po celé dráze rovnoměrná, nýbrž ke konci prudce stoupá což je způsobeno tím, že s klesající energií roste účinný průřez jejího zachytu. Radon je vůbec nejvíce zastoupeným radionuklidem v zemském povrchu a také značně přispívá k ionizaci atmosféry. [7]

b) Ionizace plynů elektromagnetickým zářením

Aby se z neutrální molekuly plynu mohl uvolnit jeden elektron, musí být její elektronové sféře dodána jistá energie, která je označována jako ionizační energie W . Určitou silou se překonává elektrostatická síla mezi kladně nabitým jádrem a elektronem. Pro ionizaci kyslíku je nutno dodat energii $W = 13,6\text{eV}$. Pro ionizaci dusíku je to $W = 14,5\text{eV}$. Protože se však molekuly po příjmu vnější energie s různou pravděpodobností nejen ionizují, ale i excitují do neutrálně vybuzených stavů, je průměrná spotřeba energie pro vytvoření iontového páru W podstatně vyšší než I , např. ve vzduchu činí $W_i = 34\text{eV}$. Ne všechny excitované molekuly se ionizují. Existuje

mnoho způsobů, jak se nadbytečné energie zbavit např. deexcitací, fluorescencí, srážkou a podobně. Přímá ionizace zpravidla probíhá v čase menším než je frekvence teplotních vibrací molekuly, což je 10^{-13} s. I když dosud samotný mechanismus předání vnější energie vysvětlujeme klasicky (tj. pro srážkový mechanismus uvažujeme jen jeden valenční elektron), zdá se, že skutečnost bude složitější a vlastního procesu se zúčastní nejen všechny elektrony valenční, ale i některé elektrony z vnitřních orbitalů. Vytvořit záporný iont mohou tedy vlastně hlavně ty atomy a molekuly, které nemají úplně zaplněné vnější elektronové orbitály. [3]

Podmínka pro ionizaci plynu:

$$h \cdot \nu > W_i \quad (1.11)$$

Zde je h Planckova konstanta $6,625 \cdot 10^{-34}$ [J.m], $f = \frac{c_v}{\lambda}$ je kmitočet (c_v je rychlost světla, λ vlnová délka). Vlnová délka, při které nastane ionizace vzduchu:

$$\lambda \leq \frac{h \cdot c_v}{W_i} \cong 3,646 \cdot 10^{-8} \text{ m} \quad (1.12)$$

Jak vyplývá ze vztahu (1.11) světlo odpovídající této vlnové délce patří do ultrafialové oblasti z čehož vyplývá, že energie fotonu musí být vždy větší než ionizační práce. Rozdíl energií se projeví jako kinetická energie uvolněného elektronu.

$$\frac{m_e \cdot v_e^2}{2} = h \cdot f - W_i \quad (1.13)$$

Je-li energie fotonu jen o něco málovětší než ionizační práce, je rychlost uvolněného elektronu nepatrná a nestačí k další ionizaci. Pokud je energie fotonu mnohem větší než W_i , je kinetická energie uvolněného elektronu velká, takže je schopen další ionizace při nárazu na neutrální atomy. Při fotoionizaci hraje důležitou roli stupeň deexcitace, kde foton předává energii atomu plynu, čímž se dostane atom do vyššího energetického stavu. Elektron, který je takto nabuzen nepotřebuje tolik energie, aby byl ionizován, čímž vznikne volný elektron a kladný iont. Pravděpodobnost stupňové ionizace je tím vyšší, čím více plynových částic je nabuzených a čím je větší je intenzita záření.

Jiné vlnové délky než UV délky a kratší vlnové délky mají z tohoto hlediska význam menší až zanedbatelný. Důkaz tohoto faktu, je především zřejmý tím, že

s rostoucí výškou od Země vzrůstá také vodivost vzduchu a to především v ionosféře, která se nachází 60km (den), 150km (noc) a končí ve výšce 700 – 1000km.

Záření γ ionizuje prostřednictvím sekundárně emitovaných elektronů (tedy elektronů vyražených z atomu). Ionizace je popsána absorpčními procesy přes tzv. degradační spektrum sekundárních elektronů. Spektrum zahrnuje elektrony velmi pomalé (tepelné, jejichž energie je přibližně $E \sim kT$), až velmi rychlé (s energií v řádech MeV). Celkový počet sekundárně uvolněných elektronů N_B je

$$N_B = \frac{1}{E_n} \int_{E_n 0}^{E_n^{max}} f(E_n) dE \approx \frac{E_n N}{W} \quad (1.14)$$

kde $f(E_n)$ je spektrální funkcí sekundárně vytvořených elektronů. E_n je jejich maximální energie a N je průměrný počet elektronů v objemové látce absorbujícího prostředí. Zpomalené sekundární elektrony s energií blízkou tepelné kT se nakonec zachycují na neutrálních molekulách a vytvářejí tak záporné ionty. [3]

c) Tepelná ionizace plynů

Nastávají tři příklady:

- Ionizace při srážkách mezi molekulami plynů s velkou kinetickou energií.
- Fotoionizace tepelným zářením plynů.
- Ionizace srážkami molekul plynu s elektrony vzniklými při předešlých jevech

Např. plamen je sám osobě silně ionizovaný plyn. Určité množství těchto iontů uniká do ovzduší, ovšem při nedokonalém spalování vznikají oxidy plynů, které se váží na ionty a vznikají střední a velké ionty, které ovšem nijak lidskému zdraví neprospívají a naopak mu škodí.[2]

d) Povrchovou ionizací

Při povrchové ionizaci se uvolňují elektrony z povrchu elektrod. K tomu je nutno dodat tzv. výstupní práci. Tuto energii lze dodat elektronu ohříváním elektrod, bombardováním povrchu kovu krátkovlnným zářením (fotoelektrický jev) a působením silného vnějšího elektrického pole. Tato ionizace se nejčastěji uplatňuje v konstrukci ionizátorů. [5]

1.2 Dynamika vzdušných iontů v atmosféře

Velikost ionizující energie je v přírodě do jisté míry stálá, za předpokladu krátkého časového úseku, po kterém se nejčastěji provádí měření iontů. Neplatí to však pro dlouhé časové intervaly, různé nadmořské výšky a různé lokality, kde se velikost ionizující energie může značně lišit. Za stálých meteorologických podmínek se bude tvořit za jednotku času a v jednotkovém objemu také stálý počet iontových párů n ($cm^{-3} \cdot s^{-1}$). Atmosféra je jako celek neutrální a proto platí:

$$n^+ = n^- \quad (1.15)$$

Ionty ovšem stále nepřibývají, z větší části mezi sebou rekombinují a jejich náboj se anuluje či se spojují do větších celků, poté sedimentují nebo elektrodeponují a v ostatních případech zanikají. Anulace náboje vzniká hlavně v místech, kde dostatečně nepůsobí elektrické pole. Ve venkovních prostorech je toto pole při slunečném počasí $120 - 130 V \cdot m^{-1}$ v malé nadmořské výšce. S rostoucí výškou vzrůstá i intenzita elektrického pole. Změna koncentrace iontů v čase se projevuje jako

$$-\frac{dn^+}{dt} = -\frac{dn^-}{dt} = -\frac{dn}{dt} \quad (1.16)$$

Rychlost jejich úbytku je vyjádřena koeficientem α a je úměrná součinu jejich koncentrací

$$\alpha n^+ n^- \quad (1.17)$$

takže podle podmínky nábojové neutrality (1.15) lze psát

$$\alpha n^2 \quad (1.18)$$

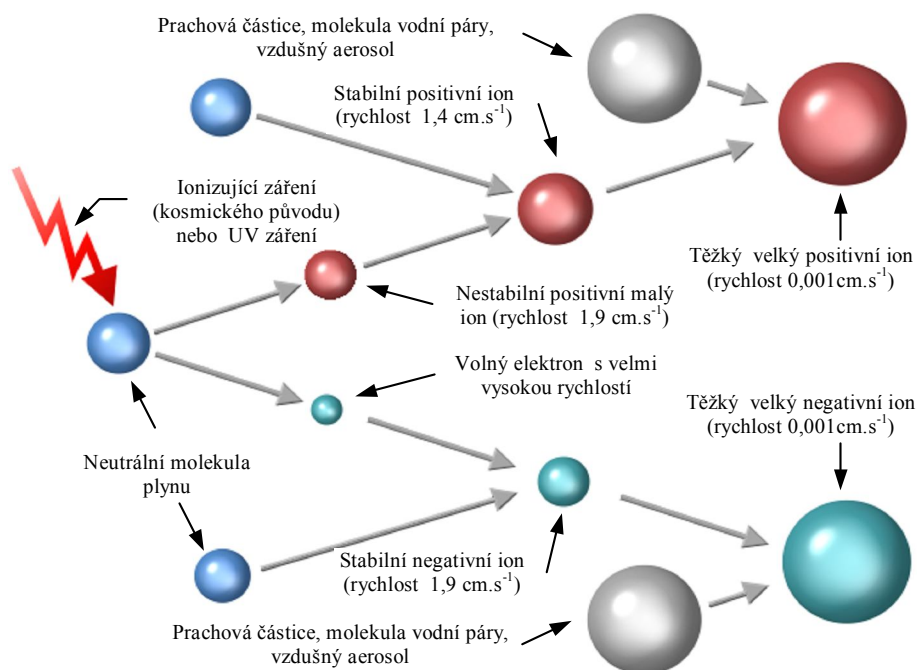
Za poměrně zjednodušeného předpokladu, že ionty vznikají stálým příkonem ionizační energie a zanikají pouze primární rekombinací, lze získat vztah pro jejich časovou změnu

$$-\frac{dn}{dt} = q - \alpha n^2 \quad (1.19)$$

Pro rovnovážný vztah, kdy ionty nebudou přibývat ani ubývat, musí platit $-dn/dt=0$, z toho plyne

$$n_{\infty} = \left(\frac{q}{\alpha}\right)^{1/2} \quad (1.20)$$

Skutečná dynamika iontů v atmosféře je mnohem složitější a to především proto, že lehké ionty se dále spojují s dalšími molekulami, absorbují na kondenzačních jádrech a prachových částicích a tak vznikají stále větší ionty viz obr. č. 1.1[2]



Obr. 1.1 schéma vzniku ionizovaných částic.[17]

I v čistém vzduchu se průměrně vyskytuje asi 40% prachových částic nenabitých. Zbývajících 30% je nabitě kladně a stejný počet záporně. Tento poměr není stálý a v čase se může měnit. Nabité prachové částice dále reagují mezi sebou, sedimentují či se deponují na površích. Celý proces vedoucí ke vzniku těžkých iontů je značně komplikovaný a dá se vyjádřit řadou diferenciálních rovnic. Z tohoto důvodu popisujeme danou situaci tím, že lehké ionty nemizí, ale pouze rekombinují - hovoříme o jejich celkovém úbytku. To lze vyjádřit funkcí

$$n_{\infty} = \left(\frac{q}{2\beta_0 N_0}\right)^{1/2} \quad (1.21)$$

kde N_0 je počet nenabitých částic obsažených v 1cm^3 vzduchu a veličina β_0 je

analogická s uvedeným rekombinačním koeficientem α , která charakterizuje rekombinaci iontů lehkých s těžkými.

Na základě měření byl zjištěn empirický vztah mezi počtem lehkých iontů n_∞ , jejich rekombinačním koeficientem α , počtem těžkých iontů N_r a počtem kondenzačních jader Z . I když jsou nalezené vztahy platné jen velmi omezeně, vyhovují například pro venkovní vzduch. Pro venkovní vzduch nejlépe vyhovuje tzv. Nolanova rovnice

$$q = \alpha n_\infty^2 + b N_r Z^{1/2} \quad (1.21)$$

kde b je empirická konstanta o velikosti $b = 5,5 \cdot 10^{-4}$. Naopak v případě přerušení příkonu ionizační energie budou ionty pouze ubývat

$$-\frac{dn}{dt} = \alpha n^2 = \alpha n \cdot n \quad (1.22)$$

po integraci vzejde vztah

$$\frac{1}{n_0} - \frac{1}{n_t} = -\alpha t \quad (1.23)$$

ze vztahu 1.23 odvodíme okamžitou koncentraci v čase t

$$n_t = \frac{n_0}{1 + \alpha n_0 t} \quad (1.24)$$

Skutečnost je však mnohem komplikovanější. Tím, že lehké ionty nerekombinují jen mezi sebou, ale dále také tvoří ionty těžší, které reagují, a tak z celkové bilance iontů v atmosféře unikají. [2]

1.3 Rozdělení iontů

Ionty lze dělit podle polarity- a to na kladné a záporné. Kladným iontům jeden elektron z valenční vrstvy chybí, zatímco u záporných iontů je elektron navíc. Další důležitou vlastností iontů je jejich pohyblivost, která vychází z jejich hmotnosti a případně z atomového poloměru. Pohyblivost těchto iontů se zjišťuje v závislosti na elektrickém poli. Působením elektrického pole se ionty pohybují ve směru jeho siločar. Rychlost jejich pohybu je většinou konstantní a úměrná intenzitě pole. Součinitel se označuje jako pohyblivost iontů k [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$], zároveň udává rychlost v poli jednotkové intenzity. Koncentrace iontů v jednotce objemu plynu udává polární vodivost plynů podle vztahu:

$$\lambda = (n_1 \cdot k_1 + n_2 \cdot k_2 + \dots + n_n \cdot k_n)q \quad [\text{A} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}] \quad (1.25)$$

n ... počet iontů v cm^3 [cm^3]

k ... pohyblivost iontů [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]

q ... jednotkový elementární náboj [C]

Nejznámější rozdělení je uváděno podle dvou na sobě nezávisle pracujících vědců a to U. Hörraka a H. Israëla zabývajících se problematikou vzdušných iontů. Dali konečnou podobu rozdělení iontů v závislosti na zmiňované pohyblivosti a atomovém poloměru; (v tab. 1.2, 1.3, a dále uváděn průměr d). [10]

Druh iontů	k [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]	d [nm]
Těžké velké ionty	$0,00420 > k \geq 0,00041$	$22,0 < d \leq 79,0$
Lehké velké ionty	$0,0740 > k \geq 0,0042$	$4,80 < d \leq 22,0$
Střední ionty	$0,500 > k \geq 0,074$	$1,60 < d \leq 4,80$
Velké seskupení iontů	$1,28 > k \geq 0,50$	$0,85 < d \leq 1,60$
Malé seskupení iontů	$3,20 > k \geq 1,28$	$0,36 < d \leq 0,85$

Tab. č. 1.2 rozdělení iontů dle U. Hörraka [5]

Druh iontů	k [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]	d [nm]
Těžké a ultra těžké	$0,00025 > k$	$d > 114$
Langevinovy	$0,001 > k \geq 0,0025$	$50,0 < d \leq 114$
Střední	$0,01 > k \geq 0,001$	$15,6 < d \leq 50,0$
Malé střední	$1,0 > k \geq 0,01$	$1,32 < d \leq 15,6$
Lehké	$k \geq 1,0$	$1,32 \geq d$

Tab. č. 1.3 rozdělení iontů dle H. Israëla [5]

Typická hodnota pohyblivosti pro záporné lehké ionty je v rozmezí $(1 \div 3) \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ pro ionty s průměrem $d \leq 1,32 \text{ nm}$. Pokud se na tyto lehké ionty naváží další heterogenní částice v podobě molekul atmosféry či neutrálních atomů, vzniknou *malé střední*, resp. *středně těžké ionty*. Tyto shluky již tvoří několik set atomů. Tím narostla jejich velikost - potažmo celý jejich průměr, který je v rozmezích $(0,6 \div 8) \text{ nm}$ pro malé střední a $(1,32 \div 15,6) \text{ nm}$ pro středně těžké ionty. Pohyblivost těchto iontů bývá vlivem rozměrů nižší a to $(0,01 \div 1) \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, resp. $(0,1 - 1) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Vyskytují se zejména v čistém prostředí. Skupina *Langevinových iontů* se vyznačuje pohyblivostí kolem $(1 \div 3) \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ s iontovým průměrem v rozmezí $(50 \div 144) \text{ nm}$. Poslední skupinou jsou *těžké*, resp. *ultra těžké ionty*. Ty vznikají spojením nečistot v podobě mikroskopického aerosolu či prachových částecek, které poletují vzduchem. Mají velmi malou pohyblivost $k \leq 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ a naopak velký průměr $d \geq 144 \text{ nm}$. Jsou tvořeny shluky až několika tisíci molekul a hodí se třeba k čištění atmosféry včetně mikrobiologie (patogenní zárodky). Důvodem je jejich schopnost navázat na sebe nečistoty okolního prostředí.

Mimo změny koncentrace pozitivních a negativních atmosférických iontů je významným a zajímavým mikroklimatickým faktorem koeficient unipolarity definovaný jako

$$P = \frac{n^+}{n^-} \quad (1.26)$$

Tj. poměr koncentrace pozitivních n^+ a negativních n^- iontů. Koeficient unipolarity je v přírodě vždy vyšší než 1,0. V neznečištěné atmosféře se pohybuje od 1,15 – 1,25. Naopak v silně znečištěné atmosféře, zejména v průmyslových oblastech, je udáván koeficient unipolarity $P=4,0 - 6,0$. Pro terapeutické účely je nejlepší pokud se koeficient unipolarity blíží k 1,0. Nepříznivý poměr kladných a záporných iontů je zapříčiněn zvýšeným zánikem záporných iontů vlivem znečištění ovzduší. [7]

1.4 Biologické účinky iontů

Biologický vliv lehkých záporných iontů je dnes již nesporný. Hlavní působící faktory na živý organizmus jsou:

- a) Vliv na dýchací ústrojí – vysoká koncentrace lehkých záporných iontů dělá vzduch dýchatelnějším (vzduch se nám zdá lehký a příjemný). Vdechovaný vzduch proniká hlouběji do plicních sklípků, a tak zlepšuje prostupnost přijímaného kyslíku do krevního řečiště.
- b) Vliv na krevní oběh – dlouhodobé působení vyšší koncentrace lehkých záporných iontů zvyšuje pH krve, roste podíl albuminu a klesá hladina serotoninu. Výrazně klesá sedimentace, snižuje se počet bílých krvinek v periférii krevního řečiště a klesá krevní tlak.
- c) Vliv na žlázy s vnitřní sekrecí – po iontové terapii se zvyšuje produkce hormonů štítné žlázy, glukokortikoidů a mineralokortikoidů. Urychluje se dozrávání pohlavních buněk a stimuluje se pohlavní aktivita samců. Dochází ke změnám v látkovém metabolismu při distribuci sodíku a draslíku.
- d) Vliv na centrální nervový systém – záporné ionty redukují množství serotoninu. Serotonin je biologicky účinná látka, je to velmi silný a mnohostranný nervový hormon ovlivňující imunitní systém a metabolické jevy v celém organismu. Zvláště se uplatňuje při přenosu nervových impulsů a je ve značném množství ve spodním mozku, kde hraje důležitou roli při spánku a ovlivňuje celkové náladu člověka (Krueger, Reed 1976). Vysoká hladina serotoninu vyvolává tachykardii, drážděním hladkých svalů. Vyvolává zvýšení krevního tlaku, křeče v průduškách vedoucí až k astmatickému záchvatu, zvýšení střevní peristaltiky, zvýšení bolestivosti popálených tkání a zvýšenou agresivitu.
- e) Vliv na tělní pokožku – záporné ionty příznivě ovlivňují krevní kožní cirkulaci, a tak snižují povrchovou tělesnou teplotu. Náchylnost kůže i organismu k sekundárním infekcím je menší. [14]

Mechanismus působení iontů na lidský organismus

Jakým mechanismem působí ionty na lidský organismus není dosud přesně objasněno. Existuje několik teorií. Vycházejí z dlouholetých lékařských a hygienických výzkumů prováděných na celém světě. Následující hypotézy jsou především zaměřeno na dýchací ústrojí a to proto, že ionty působí na člověka zhruba 10% povrchem kůže a 90% plicemi. Je to dáno skutečností, že plocha kůže lidského těla je asi $1,5m^2$ a povrch plicních sklípků (alveol) je asi $150m^2$.

Hypotéza infiltrační říká, že ionty pronikají stěnami plicních sklípků neboli alveol (=difuzí) do krve, již předávají svůj elektrický náboj

Hypotéza absorpční předpokládá, že nosič náboje se usazuje na stěně alveolu a do krve proniká jen elektron.

Hypotéza influenční vysvětluje působení iontů, jako vyvolání protináboje ve stěně alveolu cestou elektrostatické indukce.

Hypotéza radikálová uvádí, že ionty samy o sobě v dýchacích cestách nijak nepůsobí. Biologicky aktivní jsou pouze produkty jejich následných reakcí, tedy především volné radikály. Z toho opět vyplývá dominantní role lehkých záporných iontů, jejichž základem je radikál obklopený několika desítkami molekul vody. Na tomto místě je třeba poznamenat, že radikálové reakce, jak již bylo naznačeno, jsou řetězové. Teprve na konci řetězu je stabilní látka, která ovšem může být i mimořádně toxická. Příkladem je PAN neboli peroxyacetylitrát. Radikálová hypotéza se jeví jako velké přiblížení ke skutečnému, zatím detailně neznámému mechanismu působení iontů na živé objekty.[18]

Vliv ionizace vzduchu na nižší organismy

Z těchto účinků, které jsou známe ve vnitřních prostředích, stojí za zmínku bakteriostatické a baktericidní účinky na vybrané bakteriální kmeny. Je také popsán tlumivý účinek na růst plísní.

Zajímavý pokus byl proveden, sledováním tří skupin křečků. Jedna žila ve vzduchu se silnou převahou kladných iontů CO_2 , druhá skupina v převaze záporných iontů O_2 a třetí skupina v normální atmosféře uměle neionizované. Po dvou měsících došlo u křečků žijících v převaze kladných iontů ke snížení váhy nadledvinek o 33% a celkové ochablosti a vyčerpání. Naopak u zvířat žijících v převaze záporných iontů se váha nadledvinek zvýšila o 29%. Tito křečci byli vysoce aktivní. Z takových pokusů lze usuzovat, že záporné ionty vzduchu zvyšují schopnost nadledvin produkovat adrenalin a ten pomáhá organismu překonat velké fyzické a nervové zátěže. [13]

Další pokusy se provádí především na chovném dobytku. Např. prasata ve výkrmu během experimentu trvajícím 126 dní měla větší přírůstek živé hmotnosti o 1,8%. U prasnic se sajícími selaty v dlouhotrvajícím experimentu (cca jeden rok) se zvýšil počet narozených selat o 4,3%, počet odstavených selat byl vyšší o 4,6%. Uvedené výsledky měly efekt pro snížení spotřeby léků na odchované sele o 24% a u prasnic o 20,5%. Velký vliv má ionizovaný vzduch na dojnice, u kterých se zvýšila produkce mléka o 3,9%. Byl zjištěn pozitivní vliv na kvalitu mléka, zejména na mikrobiologické ukazatele. Při konstantní teplotě 25°C se snížil celkový počet mikroorganismů o 83,1% a počet samostatných buněk o 10,6%. Obsah coli-bakterií nebyl nijak ovlivněn. V chemickém složení mléka se zvýšil obsah tuku o 1,7%, laktózy o 0,3% a celkové sušiny o 1,2%. Naopak se snížil obsah bílkovin o 0,3%. [15]

Vyšší koncentrace iontů má také příznivé účinky na růst rostlin. U mladých rostlin se dá pozorovat zvýšený metabolismus, a to především ve spotřebě oxidu uhličitého a při syntéze cytochromů. Při snížené koncentraci iontů zhruba na 50 $iontů/cm^3$ dochází k radikálnímu zpomalení až zastavení vývoje rostlin. Takto malé koncentrace přispívají k růstu plísní. [11]

1.5 Ionizátory

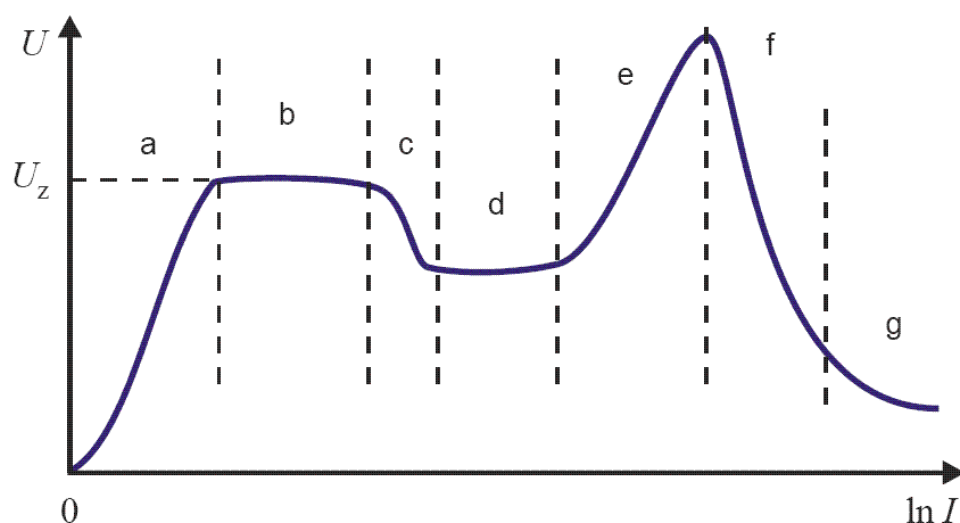
Ionizátory se dělí podle způsobu dodání ionizační energie. To má vliv na výkon a stabilitu celého systému. Velkou roli hraje spotřeba, a to do jaké míry ionizátor ovlivňuje okolní prostředí jinými zářeními nebo částicemi.

Hydrodynamické ionizátory: Fungují na základě Lenardova efektu. Vytváří záporně nabitý aerosol v podobě mikrokapek. Do této skupiny lze zařadit především fontány. Z měření vyplývá, že do této skupiny zřejmě nepatří zvlhčovače vzduchu s takzvaným ultrazvukovým systémem. Prodejci sice uvádí ionizaci ovzduší, ale nikde neuvádí množství vyprodukovaných záporných iontů, tím pádem neuvádí ani jejich velikost.

Z předešlé kapitoly vyplývá, že na naše zdraví mají vliv ionty malé, zatímco ionty střední a velké zde mají funkci především čištění vzduchu od prachových a aerosolových částic. [2]

Ionizátory založené na vodivosti vzduchu dělíme podle toho, v jaké oblasti volt-ampérové charakteristiky pro vodivost plynu pracují. Na obr. 1.2 je znázorněn průběh vodivosti plynu. Ionizátory pracují v oblasti b) a c).

- a) Nesamostatný výboj
- b) Townsendův temný výboj
- c) Korónový výboj
- d) Doutnavý výboj
- e) Anomální elektrický výboj
- f) Jiskrový výboj
- g) Obloukový výboj



Obr. č 1.2 volt-ampérová charakteristika pro vodivost plynu [24]

Townsendův temný výboj patří mezi samostatné výboje. Ke své existenci již nepotřebuje vnější ionizační činidlo. Bylo dosaženo zápalného napětí, kdy jsou elektrony urychlovány vnějším elektrickým polem a jsou schopny tvořit další iontové páry. Proud u tohoto typu výboje dosahuje hodnot cca 10^{-9}A až 10^{-6}A . Nejsou zde zaznamatelné světelné projevy, ale pouze akustické projevy v podobě syčení, šumění a slabého prskání.

Korónový výboj je takový druh elektrického výboje, který se projevuje slabou světélkující obalovou vrstvou kolem potenciálové elektrody – korónou. Hodnota proudu se při korónovém výboji pohybuje přibližně kolem 10^{-6}A až 10^{-5}A . Vznik je podmíněn existencí nehomogenního elektrického pole, které dosahuje značných intenzit v blízkosti elektrod ($E = 10^5\text{ V/m}$). Probíhá zde tedy velmi silná primární emise elektronů. V prostoru mezi elektrodami je intenzita pole poměrně malá. Lze zaznamenat projevy záření ve viditelném spektru a také silnější akustické projevy v podobě šumění, sršení a prskání. Jsou známy různé typy korónových výbojů. [24]

Další výboje jsou již z hlediska vzdušných iontů nepodstatné a nedají se využít pro konstrukci ionizátorů. Doutnavý výboj vzniká při nízkém tlaku, proto se nedá využít pro ionizátory. Zbylé výboje pracují s vysokým napětím, které by mohlo způsobit škody, jak na majetku tak na lidském organismus.

Ionizátory elektrofluviální: První, kdo tento ionizátor zkonstruoval a v praxi použil, byl v r. 1925 A. P. Sokolov. Dokonalejší ventilátor opatřený „elektrofluviální lustrem“ vyrobil již r. 1928 A. N. Čiževskij. Funguje na principu tichého výboje mezi elektrodami. Kde potenciálový spád má za následek urychlení iontů, které mechanismem nárazové ionizace ionizují ovzduší v dané lokalitě. Základem je zdroj vysokého napětí VN a to 3 – 7 kV a 2 elektrody. Zdroj VN je konstruován jako kaskádový napěťový násobič. Systém tvoří lanka s hroty, kdy je lanko koaxiální kabel napojený na zdroj VN. Na koaxiálním kabelu jsou umístěny hroty ve vzdálenosti 0,7 – 1,1 m od sebe. Zdroj VN má při napětí 7 kV a proudu 25 μ A odběr 5 Wh za den. Ionty se šíří do okolí pouze přirozeným prouděním vzduchu. Tento systém se využívá např. v hospodářství k ionizaci vzduchu pro stáje. Je určen pro velké plochy. Nevýhoda systému spočívá v tom, že zároveň vytváří škodlivý ozón i oxidy dusíku a také vytváří elektromagnetické pulsní pole. [12]

Ionizátory s korónovým výbojem: Zdrojem je korónový výboj, který vzniká mezi dvěma elektrodami s rozdílnými rozměry. Nejčastěji je konstruován s elektrodou jehlovou a-nebo tvořenou uhlíkovým vláknem. Výhodou je, že zde vznikají pouze stopová množství ozónu a oxidu dusíku. Problém je s údržbou, a to hlavně u hrotové konstrukce. Hrot se zanáší nečistotami z ovzduší a časem se otupí, čímž klesá produkce iontů. Z tohoto důvodu se používá lepší konstrukce s tenkými drátky. [12]

Ultrafialové ionizátory: Zdrojem je rtuťová výbojka. Kromě rtuťové výbojky obsahuje i selektivní elektrodu a ventilátor pro šíření iontů. Tyto ionizátory mají sice velký výkon, ale zároveň produkují UV záření a také ozón plus oxidy dusíku. Ultrafialový ionizátor se využívá ve zdravotnictví, pro dezinfekci operačních sálů. [15]

Radioaktivní ionizátory: Využívají jako zdroj ionizační energii β záření trícia, přičemž toto záření má poměrně nízkou energetickou úroveň. Jsou užívány pouze k experimentálním účelům. Na trhu se tyto ionizátory neprosadily. [15]

1.6 Faktory ovlivňující koncentraci vzdušných iontů v budovách

Koncentrace vzdušných iontů v budovách je ovlivněna mnoha faktory a to od koncentrací iontů ve vnějším prostředí, která je ovlivněna meteorologickými vlivy a obecnou čistotou vzduchu. Čistota vzduchu se změnou lokality se mění, což dokazuje Tab. 1.4

Název prostoru	Koncentrace malých záporných iontů [iontů/cm ³]
vzduch na ulici ve městě	100 - 500
vzduch v lese nebo u moře	1 000 – 5 000
vzduch u vodopádů	10 000 - 50 000
vzduch v jeskyních	5 000 – 5 0000

Tab. č. 1.4 koncentrace vzdušných iontů v závislosti na místě[17]

V interiérech budov je koncentrace iontů silně ovlivněna použitými materiály, bytovými doplňky, vzduchotechnikou a vlivem chování člověka. Ze stavebního hlediska mají největší vliv využití stavební materiály a způsob cirkulace vzduchu.[17]

1.7 Vliv stavebních konstrukcí na koncentrace iontů v interiéru

Elektrické pole v interiéru je značně ovlivněno typem stavební konstrukce. Tradiční cihlové zdivo a dřevěné konstrukce mají na dobu života iontů, celkem příznivý dopad. Vně takové stavby má zdivo stejný elektrický náboj jako Země, tedy záporný. Z toho plyne, že ze záporně nabitých iontů se nedeponují na stěnách, ale jsou odpuzovány. V moderních stavbách ze železobetonu se kolem místností vytváří Faradayova klec, která odstíní přirozené elektrické pole Země. Z historie jsou známy moderní stavby, ve kterých se lehké záporné ionty, vůbec nevyskytovaly. Odstínění budovy má, přímý důsledek na unipolární koeficient. S rostoucím odstíněním stoupá i unipolární koeficient. V přirozeném elektrickém poli je celkový náboj člověka kladný, což má za důsledek vdechování převážně záporných iontů, zatím co v odstíněném prostředí mají lidé přibližně nulový náboj, tím se vyrovnává počet vdechovaných záporných a kladných iontů, což není pro lidský organismus ideální.

Některé materiály, z nichž jsou vyrobeny domy, mohou být zdrojem vzdušných iontů, obsahují-li ve zvýšené míře radioaktivní látky. Zvýšená radiace může být také spojena s umístěním domu. V takových případech může být koncentrace vzdušných iontů uvnitř budovy i větší než ve venkovním prostředí. Otázka je, do jaké míry je prospěšná radiace z hlediska ionizace vzduchu pro lidský organismus a do jaké míry člověku již škodí. [13]

1.8 Vliv permitivity a povrchového odporu na koncentrace iontů

Na koncentraci vzdušných iontů v místnostech mají vliv veškeré povrchy, se kterými přichází masa vnitřního vzduchu do kontaktu. Na velikosti této plochy záleží, kolik iontů na ní zanikne. Pokud je povrch drsný a nerovný, velikost kontaktního povrchu je logicky větší a pravděpodobnost zániku iontů, se zvyšuje. Tato plocha může být extrémní tehdy, pokud je povrch porézní. Zánik iontů jedné polaridy je vždy větší na površích opačně nabitých.

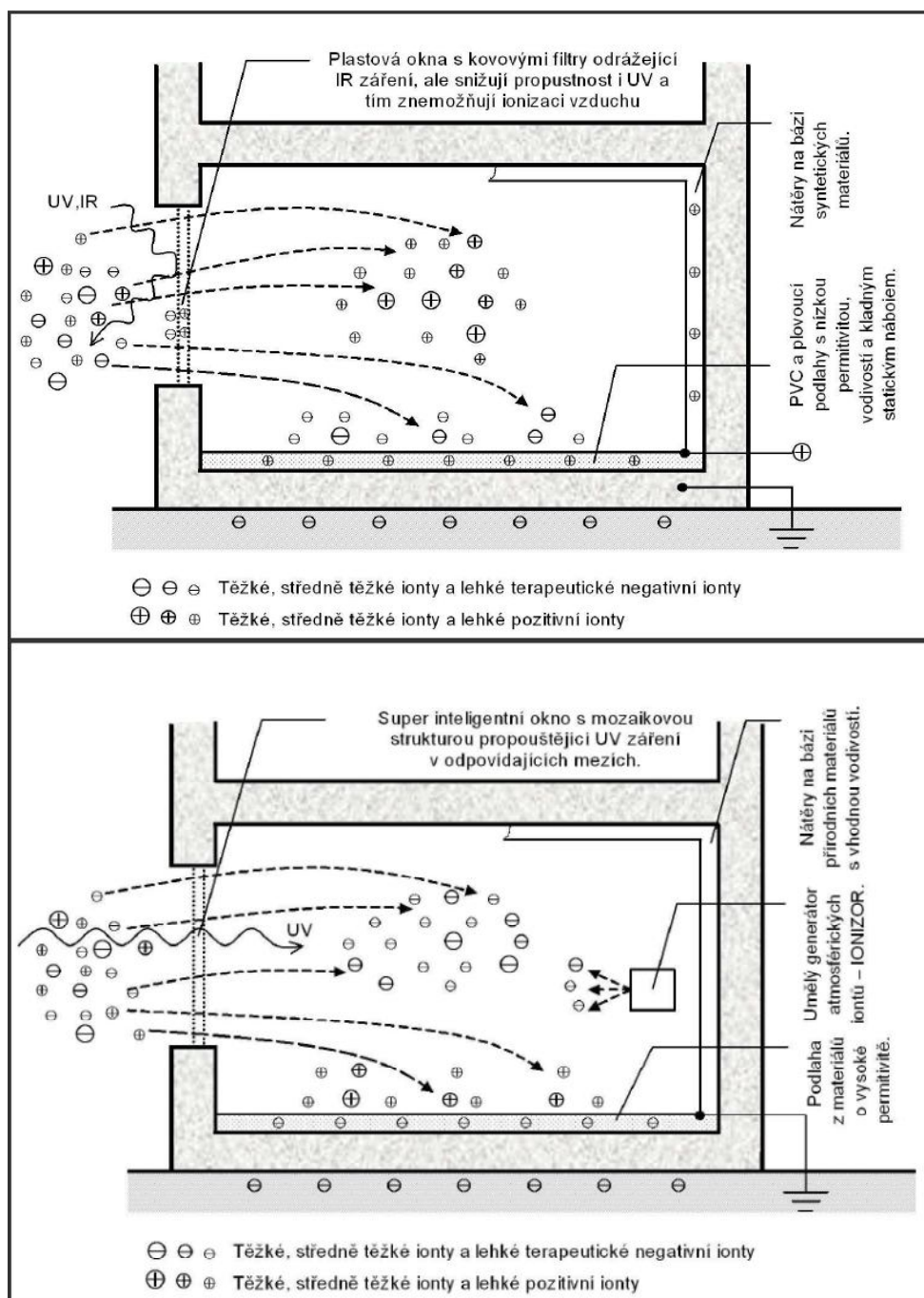
Třeme-li o sebe dva dielektrické materiály s rozdílnou permitivitou, pak materiál o vyšší permitivitě se nabíjí kladně a materiál o nižší permitivitě se nabíjí záporně. Dielektrické materiály s nízkou permitivitou mají zpravidla vysoký povrchový odpor (např. polyetylén má permitivitu 2,2 až 2,5 s povrchový odporem $10^{14} \Omega \cdot m^{-2}$). Takové materiály mohou snadno získat velký plošný náboj a tím velký potenciál. Naopak dielektrické materiály s vyšší permitivitou mívají leckdy nižší svodový odpor (lidská kůže má permitivitu 8 až 10 a povrchový odpor $10^8 \Omega \cdot m^{-2}$). Takový materiál se nabíjí méně v důsledku trvalého svodu náboje k zemi. K elektrizaci povrchu objektu může dojít i deponováním iontů určité polaridy z okolí. O výskytu a udržení náboje pak rozhoduje povrchový odpor objektu, možnost svodu náboje do země a intenzita tvorby elektrického náboje.

Relativní permitivita prostředí ovlivňuje iontové pole v uzavřených interiérech. Z teorie vyplývá, to že pokud chceme dosáhnout příznivého elektroiontového klimatu, je nutné místnost vybavit materiály o vysoké permitivitě viz. Tab. 1.5 [5]

Relativní permitivita vybraných látek měřená při frekvenci 100 Hz		
Látka	ϵ_r	Poznámka
Dřevo	2,04 – 7,3	Podle druhu dřeva
Křemen tavený	3,8	
Křemík	11,7	
Kyslík	1,0055	
Mramor	7,0 – 8,5	
Papír	3,5	
Plexisklo	3,4	
Polystyrén pěnový	1,03	
Porcelán	5,5 – 6,5	
PVC	3,4 – 4,0	
Sklo	3,8 – 19	Podle druhu skla
Vakuum	1,0	
Voda	81,6	Při teplotě 20 °C
Vzduch	1,00059	

Tab. č. 1.5 hodnoty relativní permitivity u vybraných látek[9]

Při použití umělých materiálů s nízkou permitivitou menší než 5, jako jsou podlahové krytiny z PVC a polyetyleny, nebo čalounění a koberce ze syntetických materiálů spolu se syntetickými nátěry stěn, se vytvoří povrch, který není schopen převzít záporný náboj. Použití dielektrika, které se nemůže dobře polarizovat vlivem malé elektrické vodivosti a nízké permitivity, pak vede k tomu, že tyto materiály nabíjejí a vytváří se na nich silná elektrostatická pole. Ten to elektrostatický náboj se ještě zvětšuje pohybem a třením při chůzi osob nebo při pohybu prachových částic po povrchu. [6]



Obr. č. 1.2 nevhodné a správné řešení obytných prostor s ohledem na elektroiontové mikroklima[6]

Pohyb iontů je zobrazen na obr. 1.2 z pohybu je vidět, že doba života záporného iontu je zde velmi krátká. Záporné ionty rychle rekombinují na stěnách a podlaze uvnitř místnosti. V takovém prostředí nelze udržet příznivé elektroiontové klima na požadované úrovni a to mnohdy i přes umělou ionizaci vzduchu. [12]

2 MĚŘENÍ ELEKTROIONTOVÉHO MIKROKLIMATU

Zatím nebyl, vypracován žádný přesný postup měření ani normy, které by stanovovaly počty iontů v prostředí. Nejčastěji používaná metoda měří počty iontů v dýchací zóně. Pro stojícího člověka je průměrná výška 165 ± 5 cm a pro sedícího 110 cm. Hodnoty, které jsou doporučovány, byly stanoveny z měření v čistém ovzduší v lese. Minimální hodnoty malých záporných iontů byly stanoveny na 250 ± 50 v cm^3 a optimální počet 1250 ± 250 v cm^3 . Pro psychicky náročné práce je třeba optimální hodnotu zvýšit na 2250 ± 250 v cm^3 , tato hodnota se týká např. kosmických lodí. Důležitý faktor je koeficient unipolarity, který by se měl v ideálním případě pohybovat okolo 1. [13]

2.1 Optoelektronická diferenční metoda

Měření spočívá ve srovnání dvou měření odrazivosti provedených následně za sebou. Měří se odraz od měděné koule, na kterou dopadá zdroj bodového světla. Jako první se změří intenzita odraženého světla bez iontů, kdy na měděnou kouli není přiveden žádný náboj. V druhém měření se na kouli přivede náboj, který přitáhne ionty. Z rozdílu naměřených hodnot lze určit celkový náboj iontů na elektrodě. Z náboje a geometrických rozměrů elektrody lze vyhodnotit koncentraci vzdušných iontů. [14]

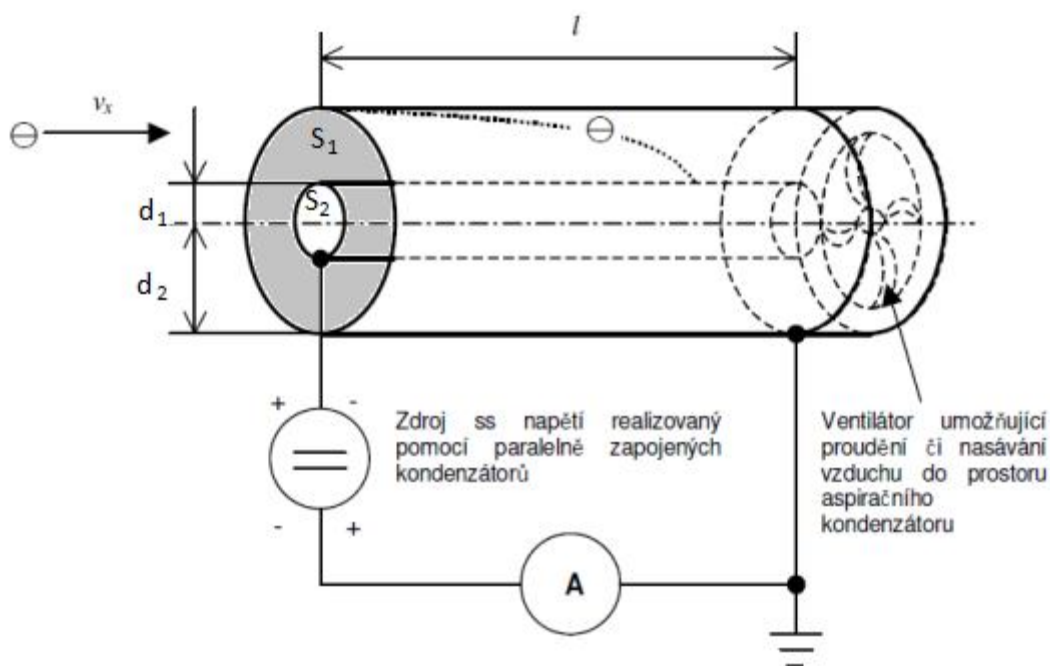
2.2 Měření aspiračním kondenzátorem

Nejčastěji se využívá právě tato metoda především proto, že můžeme měřit

koncentrace lehkých, středních a těžkých iontů a také jejich polaritu. Metoda využívá stejnosměrné, ale nastavitelné elektrické pole a elektrometr pro měření malých proudů, vznikajících dopadem iontů na elektrodu kondenzátoru. Známé množství zkoumaného vzduchu (M – objemový průtok vzduchu aspiračním kondenzátorem) prochází válcovým kondenzátorem, na kterém je stejnosměrné polarizační napětí U (proměnné od 0 do 500 V). Elektrické pole působí na vzdušné ionty, a ty jsou elektrostatickými silami přitahovány k elektrodám. Dopadem iontů na elektrody protéká obvodem elektrometru malý proud I . Koncentrace iontů jedné polarity je úměrná velikosti tohoto proudu podle vztahu

$$n = \frac{1}{M \cdot e} \cdot \left(1 - U \cdot \frac{dI}{dU}\right) \quad (2.1)$$

$$M = (S_1 - S_2) \cdot v_x \quad (2.2)$$



Obr. č. 2.1 princip měření s aspiračním kondenzátorem[2]

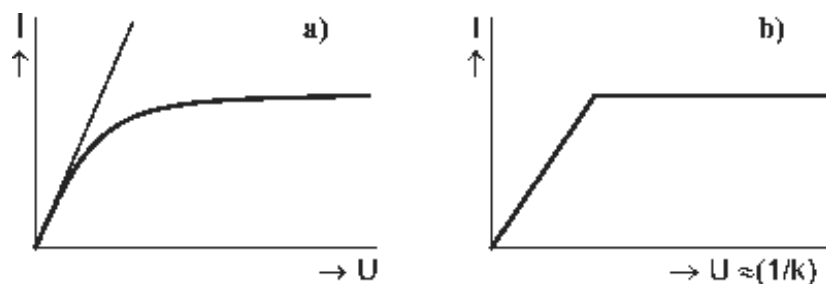
Pro saturevanou oblast tzv. saturační charakteristiky bude výraz dI/dU nulový a měřená koncentrace iontů všech pohyblivostí bude úměrná měřenému proudu $n=I/M \cdot e$. Kolektor kondenzátoru nebude sbírat ionty s nižší pohyblivostí než je minimální

pohyblivost daná vztahem. [6]

$$k_m = \frac{M \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi \cdot l \cdot U} = \frac{M}{4 \pi \cdot C \cdot U} \quad (2.3)$$

Měření pomocí aspiračního kondenzátoru

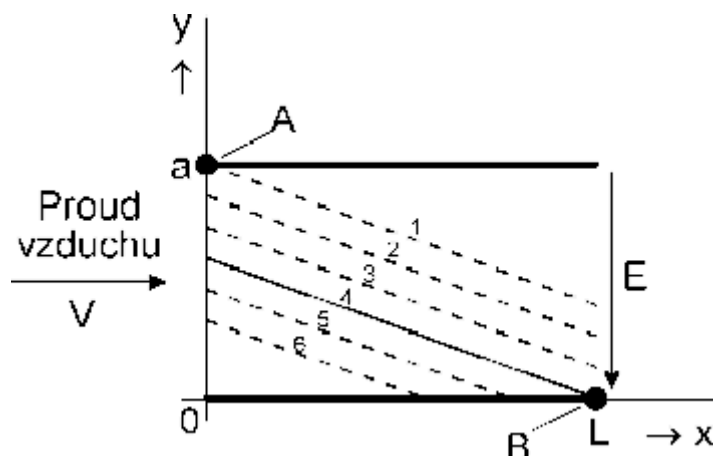
Hlavní výhoda aspirační metody, je v naměřené A–V charakteristice, která je na obr. 7.2 b) Charakteristika získaná rozptylovou metodou v klidném prostředí má průběh na obr. 7.2 a) Přechod z ohmického průběhu přes polonasycený stav k saturaci je u této soustavy zaoblený. K určení vodivosti musíme znát sklon charakteristiky v oblasti ohmického proudu. U rozptylové soustavy nastane ohmický průběh závislosti proudu pouze v oblasti nulového napětí pro měření nepohyblivého vzduchu. Již při malých napětích je patrný ohyb charakteristiky. Přesnou hodnotu nelze zcela přesně určit, proto se stanovuje jako tečna v patě křivky. A–V charakteristika u aspiračního kondenzátoru, nebo-li saturační charakteristika, má charakter lomené křivky, znázorněné na obr. 7.2 b) Je nutno dodat, že průběh platí jen pro vzdušné ionty jediné pohyblivosti k .



Obr. č. 2.2 a) A–V saturační charakteristika měřená rozptylovou metodou při klidném vzduchu,
b) A–V saturační charakteristika měřená aspiračním kondenzátorem[6]

U aspirační metody měření prochází vzduch obsahující ionty válcovým kondenzátorem s elektrickým polem viz. obr. 7.3 Ionty vstupují do kondenzátoru,

přičemž na ně působí dvě síly, které jsou vzájemně na sobě kolmé. První síla je vyvolaná ventilátorem, kde je proud vzduchu souběžný s elektrodami kondenzátoru a druhá síla vzniká působením elektrického pole. Ze známých sil lze vypočítat dráhy iontů. Měřením proudu kondenzátorem lze získat dostatečně přesná data vodivostních a ionizačních konstant v závislosti na podmínkách experimentu.



Obr. č. 2.3 trajektorie iontů procházející kondenzátorem za přítomnosti elektrického pole.[6]

Rychlost průtoku vzduchu proudící směrem x je v s toho plyne rovnice pohybu iontů podél tohoto směru

$$\frac{dx}{dt} = v \quad \text{a} \quad x = n \cdot t + x_0 \quad \text{kde} \quad x_0 = \text{konst.} \quad (2.4, 2.5)$$

Vzdušné ionty se v elektrickém poli s intenzitou E pohybují difuzní rychlostí označovanou jako pohyblivost iontů k ve směru y podle vztahu.

$$\frac{dy}{dt} = k \cdot E \quad y = k \cdot E \cdot t + y_0 \quad \text{kde} \quad y_0 = \text{konst.} \quad (2.6, 2.7)$$

Úpravou těchto rovnic obdržíme rovnici pro pohyblivost iontů

Z této rovnice vyplývá, že ionty se pohybují podél přímek, skloněných v jistém úhlu k směru proudění, jak již bylo naznačeno na obr. 2.3

Experimentální podmínky pro zachycení všech iontů vstupujících do aspiračního kondenzátoru tak mohou být snadno odvozeny. Úhel sklonu musí odpovídat drahám iontů tak, aby byly rovnoběžné s úhlopříčkou vedenou z bodu A do bodu B . Okrajové podmínky teda jsou.

$$y = 0 \text{ pro } x = 0$$

$$y = a \text{ pro } x = L$$

Pokud budou splněny výše uvedené podmínky, všechny ionty, které vstoupí do kondenzátoru, budou zachyceny. Za podmínky.

$$k_m = \frac{a.v}{E.L} \quad (2.8)$$

Použitím napětí mezi elektrodami $U = a.E$ a objemového průtoku vzduchu $M=a.b.v$ obdržíme.

$$k_m = \frac{M.a}{b.U.L} \quad (2.9)$$

Kde b je šířka desky kondenzátoru.

Pokud zavedeme parametr, označený C , který se vztahuje k rozměrům a kapacitě aspiračního kondenzátoru vzorcem.

$$C = \frac{2\pi.\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.10)$$

Bude mezní pohyblivost k_m pro zachycení iontů dána vzorcem.

$$k_m = \frac{M}{4.\pi.C.U} \quad (2.11)$$

Rozměr k_m je $cm^2/V.s$. Z toho plyne, že pro daný rozměr kondenzátoru a pro dané podmínky budou zachyceny všechny ionty, které mají pohyblivost větší nebo rovnu pohyblivosti k_m . Pro jiné tvary kondenzátorů platí obdobné vztahy i úvahy. Konečné výsledky jsou stejné a to jak s ohledem na formulované zákonitosti tak i s ohledem na omezení dané mezní pohyblivostí za předpokladu, že C je skutečnou kapacitou kondenzátoru. Speciálně pro běžně užívaný válcový kondenzátor platí

$$k_m = \frac{M}{4.\pi.C.U} = \frac{M.\ln \frac{r_2}{r_1}}{2.\pi.L.U} \quad (2.12)$$

Přičemž kapacita válcového kondenzátoru je dána vzorcem

$$C = \frac{l}{2.\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.13)$$

Pro měření iontů metodou aspiračního kondenzátoru existuje několik možností měření. Za přítomnosti pouze jednoho druhu iontů dané pohyblivosti má saturační charakteristika tvar, který je zobrazen na obr. 7.2 b) Rostoucí část reprezentuje vztah

$$i = M \cdot e \cdot n \cdot \frac{k}{k_m} \quad (2.14)$$

i_s (saturace) nastane pokud $k_m = k$, kde teprve dojde ke zlomu charakteristiky. Poloha bodu zlomu charakteristiky definuje pohyblivost iontů.

Pokud se v měřeném prostoru vyskytuje několik druhů iontů s různou pohyblivostí zároveň, odpovídá počet iontů s různou pohyblivostí, počtu zlomů v charakteristice. Na obr. 7.4 je znázorněná charakteristika pro tři druhy iontů s různou pohyblivostí. Rozdělení iontů podle jejich množství respektive podle pohyblivosti se nazývá "iontové spektrum".

V běžných prostředích se vyskytuje spojitě rozdělení iontů s různými pohyblivostmi. Pro iontové spektrum platí vzorec

$$\frac{dn}{dk} = f(k) \quad (2.15)$$

Při měření koncentrace iontů s určitou pohyblivostí k metodou aspiračního kondenzátoru, lze měřený proud i popsat vztahem.

$$i = M \cdot e \cdot \frac{1}{k_m} \int_0^{k_m} k \cdot f(k) \cdot dk + M \cdot e \cdot \int_{k_m}^{\infty} f(k) \cdot dk \quad (2.16)$$

Pro všechny ionty s pohyblivostí $k > k_m$ nastává saturace, zatímco z iontů s pohyblivostí $k < k_m$ je zachycen pouze zlomek k/k_m .

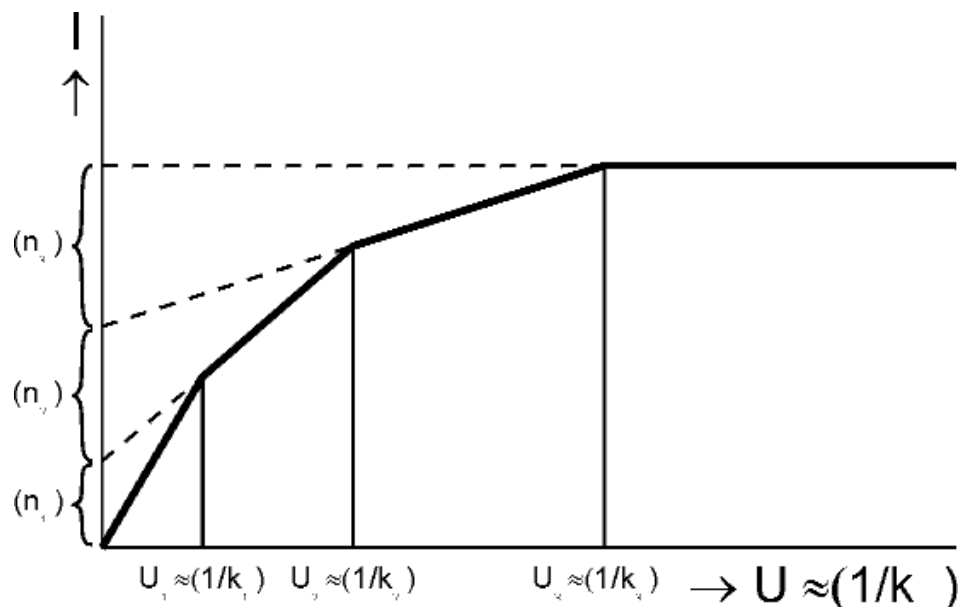
Po derivaci saturační charakteristiky

$$\frac{di}{dV} = \frac{di}{dk_m} \cdot \frac{dk_m}{dV} = -\frac{M \cdot e}{k_m^2} \cdot \int_0^{k_m} k \cdot f(k) \cdot dk \cdot \frac{d.k_m}{dV} \quad (2.17)$$

je možné vyjádřit derivaci mezní pohyblivosti podle napětí derivováním vztahu 2.11.

$$\frac{dk_m}{dU} = -\frac{4\pi.C}{M} \cdot k_m^2 \quad (2.18)$$

$$\frac{di}{dU} = 4\pi.C.e. \int_0^{k_m} k.f(k).dk \quad (2.19)$$



Obr. č. 2.4 charakteristika aspiračního kondenzátoru pro ionty s hustotami n_1, n_2, n_3 a pohyblivostmi k_1, k_2 a k_3 [6]

Druhá derivace saturační charakteristiky je.

$$\frac{d^2i}{dU^2} = -\frac{e.M^2}{4\pi.C.U^3} \cdot f(k) \quad (2.20)$$

Po zavedení substituce $\frac{i}{e.M} = Z$ lze získat vztah pro počet iontů zachycených za sekundu v objemu vzduchu v cm^3 .

$$f(k) = -\frac{4\pi.C.U^3}{M} \cdot \frac{d^2Z}{dU} \quad (2.21)$$

Použitím vztahu pro počet iontů dn_{km} pohyblivosti ležící mezi k_m a k_m+dk_m a po vynechání indexu k_m , bude vztah pro změnu koncentrace iontů v závislosti na napětí na aspiračním kondenzátoru následující.

$$dn = U \cdot \frac{d^2Z}{dU^2} \cdot dU \quad (2.22)$$

Ze vztahů (2.16) a (2.17) jde odvodit, že.

$$\int_{k_m}^{\infty} f(k) \cdot dk = \frac{i}{e \cdot M} - \frac{U}{e \cdot M} \cdot \frac{di}{dU} = Z - U \cdot \frac{dZ}{dU} \quad (2.23)$$

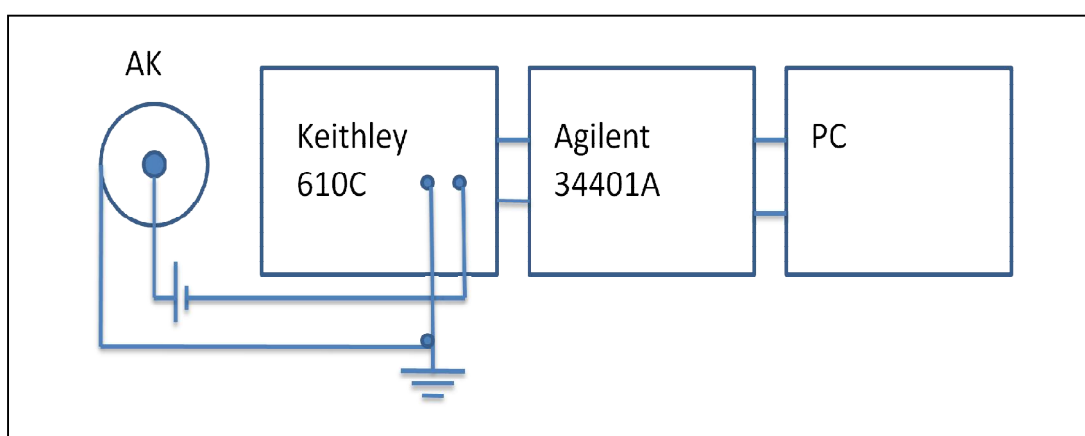
Pokud U vyneseme na osu x a Z na osu y , pravá strana rovnice (2.23) bude představovat výsek tečnou na ose Z . Následkem toho, v této charakteristice, úsek OP na ose Z přímo udává celkový počet iontů s pohyblivostí $k \geq k_m$ kde k_m je vypočtena z odpovídající hodnoty U .

$$OP = \int_{k_m}^{\infty} f(k) \cdot dk \quad (2.24)$$

Pro základní analýzu iontového spektra slouží rovnice (2.22), protože spojuje počet iontů určité oblasti se saturační charakteristikou. Jak to říká, že existenci iontů z daného pásma pohyblivosti, odpovídá určitý rozsah. Dá se předpokládat, že stupeň zakřivení saturační charakteristiky je přímo úměrný odpovídajícímu počtu iontů s danou pohyblivostí. Pro výpočet druhé derivace je nutné změřit alespoň tři body saturační charakteristiky. Na základě sklonu charakteristiky je možné rozdělit ionty s různou pohyblivostí k_m . [6]

3 POSTUP MĚŘENÍ

Pro měření bylo použito zapojení na obr. č. 3.1. Na aspirační kondenzátor je přivedeno napětí pomocí kondenzátoru, který zde slouží jako zdroj stejnosměrného napětí. Keithley 610C je zapojený jako picoamper-meter. Agilent 34401A měří napětí z analogového výstupu picoamper-meteru a následně hodnoty napětí přeposílá do programu Agilent VEE Pro.



Obr. č. 3.1 schéma zapojení měřicí soustavy

Samotné měření probíhá následovně:

1. Zapnutí picoamper-metru (je nutné, aby se zahřál na pracovní teplotu cca 15 min)
2. Kalibrace picoamper-metru
3. Nabití kondenzátoru
4. Zapojení dle schématu
5. Zastínění vstupu AK (měření svodových proudů)
6. Odkrytí vstupu AK a zapnutí ventilátoru (12 V pro rychlost průtok 3,2m/s)
7. Měření $I_{\text{svodový}} + I_{\text{iontový}}$
8. Přepočet na koncentraci iontů/cm³

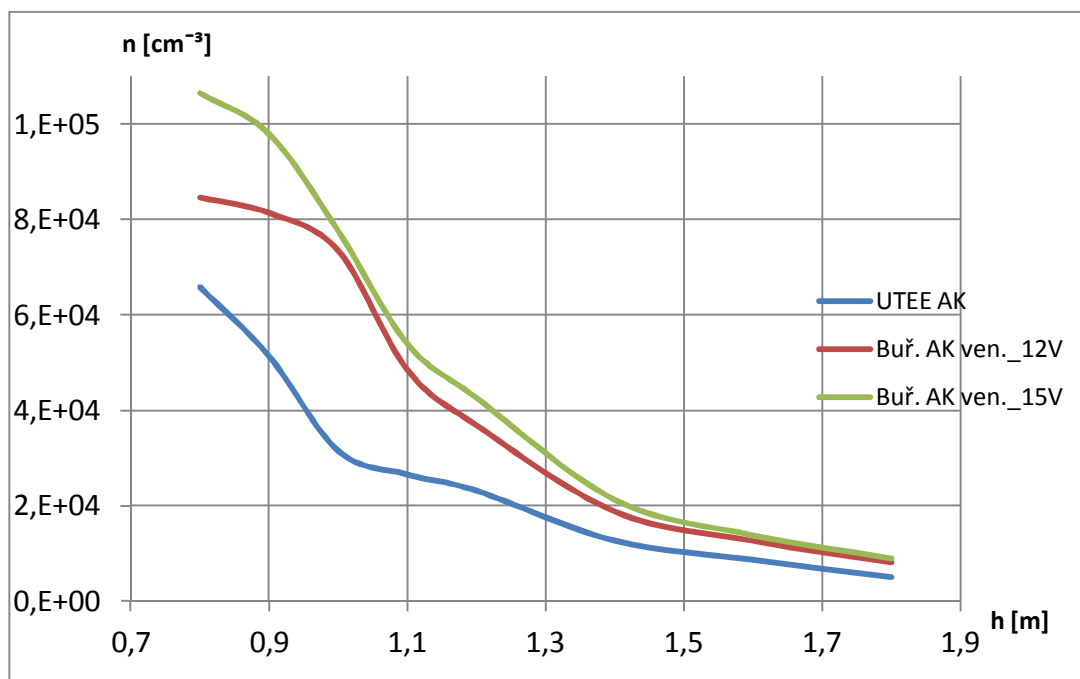
Pro měření byl využit program Agilent VEE Rro 9.3. Program slouží k zápisu naměřených hodnot a k uložení dat do excelu. Na obr. č. 3.1 je znázorněné zapojení měřicího programu.

4 POROVNÁNÍ ASPIRAČNÍCH KONDENZÁTORŮ

Měření probíhalo na Ústavu teoretické a experimentální elektrotechniky ve Faradayově kleci. Tím bylo zabráněno nežádoucím rušivým vlivům, které by ovlivnily měření a tím i výsledky daného měření. Zajímavá je také úvaha nad reprodukovatelností měření koncentrace. Každý aspirační kondenzátor (AK) má totiž jiné rozměry a z toho plynoucí odlišné konstanty, které mají velký vliv na vypočítané koncentrace. Tento vliv samozřejmě není jediný. Dále bych zmínil proudění vzduchu, které by mělo být čistě laminární. Koncentrace vzdušných iontů může být lokálně značně rozdílná, měření ve Faradayově kleci nám pomáhá vytvořit relativně snadno měřitelné iontové klima. Ionty jsou zde tvořeny pomocí ionizátoru, který vytváří lehké ionty. Jejich přesný počet je, ale neznámý a se vzdáleností se tato koncentrace mění. Neznáme vygenerovaný počet iontů, proto nelze kalibrovat dané AK. Můžeme pouze předpokládat na základě konstrukce a rozptylu naměřených hodnot, které zařízení je „důvěryhodnější“. Tento problém je teoreticky řešitelný pomocí prostředí se známou koncentrací iontů. To však nese značně komplikovaný problém, který zatím nikdo nevyřešil, a proto se výsledky značně liší v závislosti na tom, kdo a čím koncentraci iontů měřil.

4.1 Závislost koncentrace iontů na vzdálenosti od hrotového ionizéru

Byla měřena koncentrace záporných iontů v závislosti na vzdálenosti od ionizátoru viz graf č. 4.1. Na oba AK bylo přivedeno napětí 150 V, které teoreticky zachytí všechny malé záporné ionty vzniklé ionizací. Tato závislost se projevila jako exponenciálně klesající a to i přes to, že měření probíhalo ve Faradayově kleci, kde by teoreticky mělo být velice příznivé elektrické pole, protože stěny klece jsou uzemněny, mají tedy záporný potenciál. Z tohoto důvodu by zde měly být kladné ionty přitaženy ke stěnám a záporné ionty by se měly hromadit ve středu místnosti jako je tomu v jeskyních. Exponenciální pokles bych vysvětlil velkým množstvím iontů, které vznikají u hrotu ionizátoru, na kterém je vysoké kladné napětí v řádech tisíce voltů. Za hrotem je umístěn reflexní „plíšek“, na kterém je ještě o něco vyšší napětí než na hrotu, proto vzniká elektrické pole, které vytlačuje záporné ionty do prostoru, ale zároveň přitahuje velké množství kladných iontů a ty mohou po cestě v silně ionizovaném poli rekombinovat. Horší případ může nastat v případě, že se v místnosti nenachází příznivé elektrické pole. Záporné ionty vzniklé ionizací jsou malé vzdušné ionty, které mají velkou pohyblivost a tím i tendenci rychle zanikat.



Graf č. 4.1 závislost koncentrace záporných iontů na vzdálenosti od ionizátoru

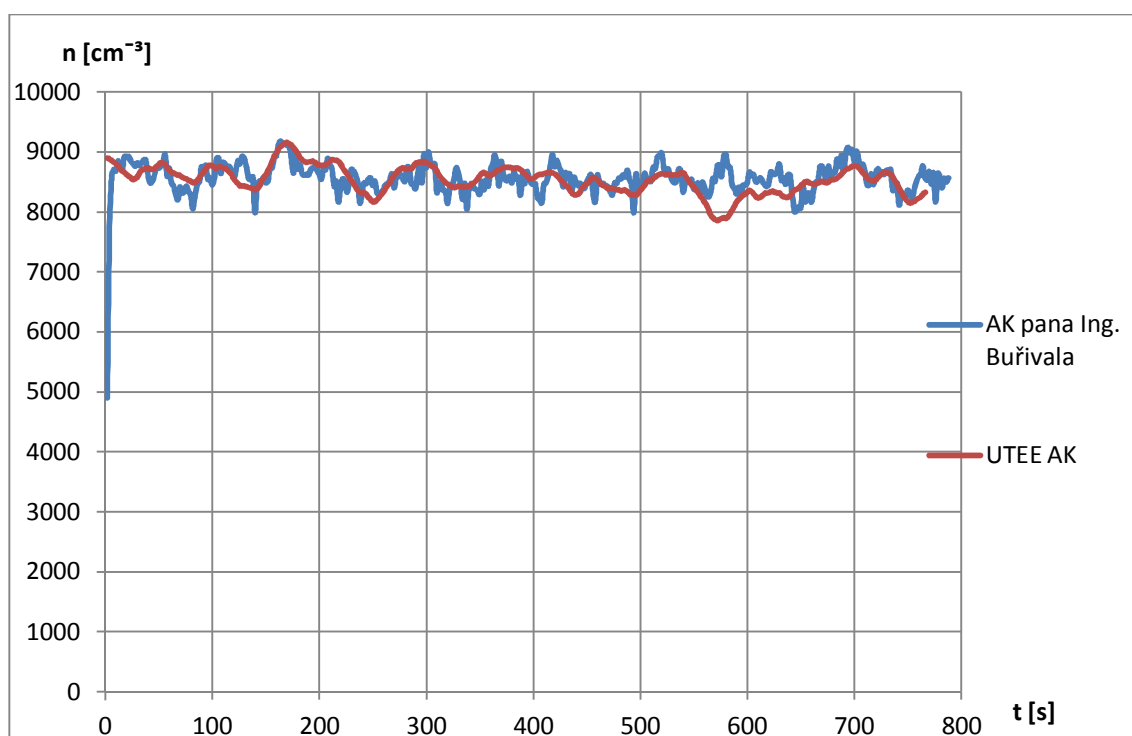
Při měření se také měnilo napětí na ventilátoru, tedy průtok vzduchu. Průtok vzduchu AK se mění v řádech desetin m/s při měření anemometrem při vstupu do AK. Pro napětí 15 V na ventilátoru byla naměřena rychlost proudění 3,3 m/s. Při 15 V na ventilátoru byl zjištěn větší rozptyl měřené koncentrace, kdy rozptyl byl v řádech tisíců iontů/cm³ a to především po přepnutí z klidového stavu do stavu proudění, kdy pro vyšší napětí na ventilátoru byl rozkmit měřené koncentrace větší než tomu bylo u napětí 12 V na ventilátoru. Tento jev se dá vysvětlit vznikem turbulentního proudění. Pro další měření se využívalo napětí 12V na ventilátoru, kdy bylo dosaženo menšího rozkmitu hodnot při spuštění měření.

vzdálenost ionizátoru [m]	UTEE n ₋ [cm ⁻³]	Buř. AK n ₋ [cm ⁻³]	
		Ven. 12V	Ven. 15V
0,8	65847	84546	106497
0,9	51319	81293	97916
1,0	31453	73387	77596
1,1	26519	48378	53952
1,2	23094	36807	42640
1,4	12625	18716	21305
1,6	8577	12571	13871
1,8	4988	8077	8996

Tab. č. 4.1 závislost koncentrace záporných iontů na vzdálenosti od hrotového ionizátoru

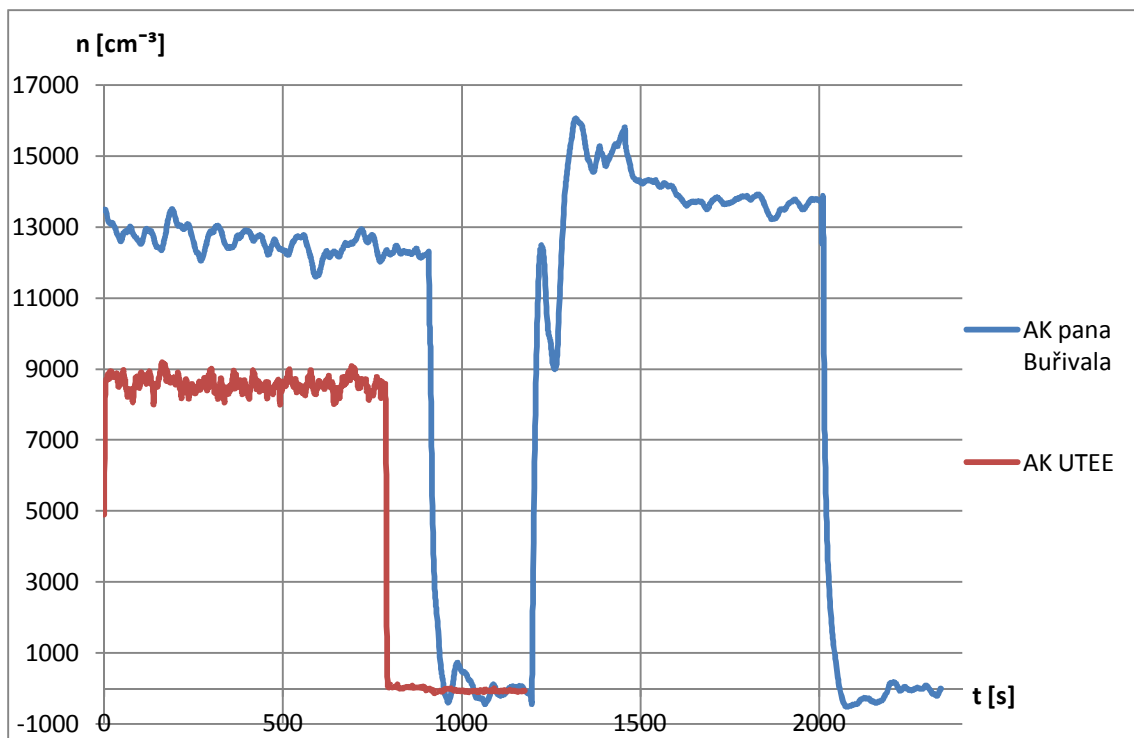
4.2 Srovnání AK UTEE a AK pana Buřivala

AK pana Ing. Buřivala vykazoval zhruba o 1,5 krát vyšší naměřenou koncentraci než AK vyrobený na UTEE. Pro srovnání a při vynásobení koeficientem 1,5 se průběhy značně podobají, což dokazuje graf č. 4.2



Graf č. 4.2 detailní průběh koncentrace v závislosti na čase pro vzdálenost 1,6 m od ionizátoru

Oba AK měly nastaveny stejnou vzorkovací rychlost, kdy po 2 sekundách zaznamenávaly koncentraci iontů. Z průběhu lze vyčíst, že AK UTEE rychleji reaguje na změny. Při dalších měřeních byl největší problém u AK pana Ing. Buřivala v počátečním rozkmitu měřených koncentracích iontů, které ustávalo zhruba po 1 až 2 minutách. Po tomto čase se oba průběhy značně podobají, i když se jejich hodnota liší jeden a půl krát. Tento rozdíl je patrný na grafu č. 4.3



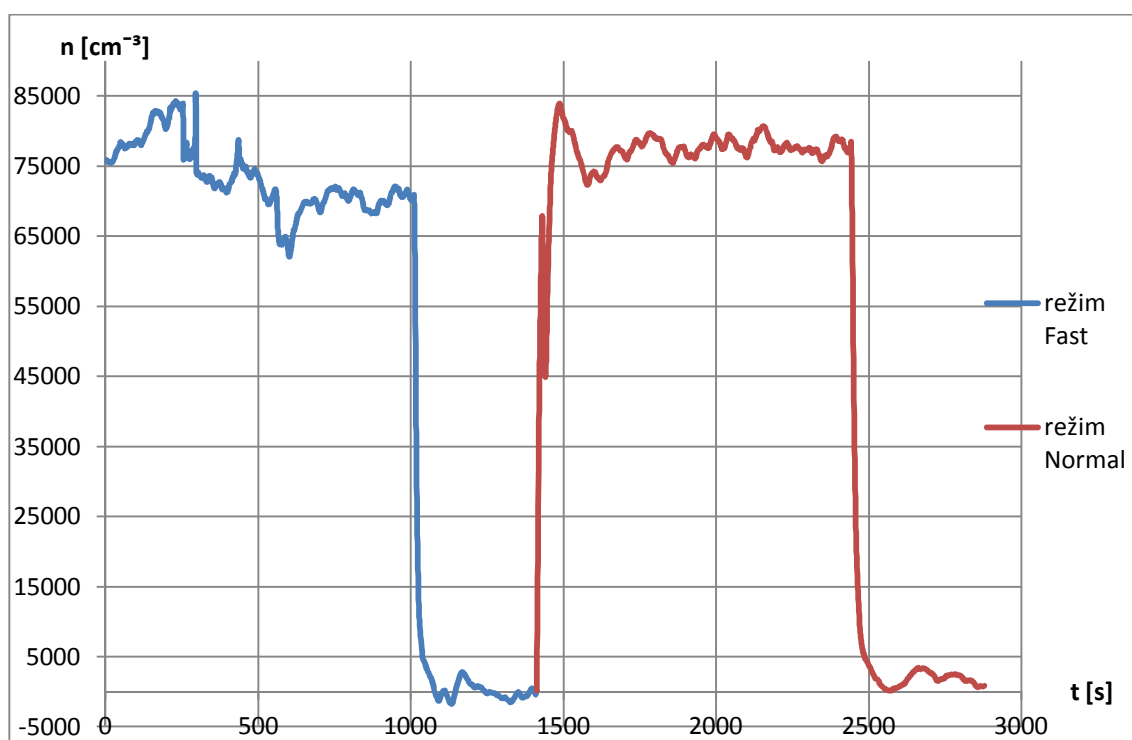
Graf č. 4.3 průběh koncentrace záporných iontů v závislosti na čase pro vzdálenost 1,4 m od ionizéru

První část grafu je pro napětí 12 V na ventilátoru a to do času 10^3 s. Od 10^3 s do $1,2 \cdot 10^3$ s ověřením svodových proudů, který se odečítá od naměřených hodnot. Při vyšších napětích na AK se svodový proud posune až do řádů 10^{-12} A, kde už by mohla vznikat značná chyba, pokud by nedošlo k odečtení od naměřených koncentrací. Od $1,2 \cdot 10^3$ do $2 \cdot 10^3$ s je zapnut ventilátor při napětí 15V. Z grafu lze vyčíst značný počáteční rozkmit hodnot před ustálením měřené koncentrace. Z tohoto měření vyplývá, že je vhodnější přivádět na ventilátor napětí 12V.

4.3 Měření v režimu FAST a NORMAL

Režim Fast a Normal se od sebe liší rychlostí reakce na změnu vstupních hodnot. Režim Fast reaguje rychleji na změny vstupních hodnot, na rozdíl od režimu Normal. Rychlost reakce u vstupu je podmíněna změnou kapacity měřicí soustavy.

Měření probíhalo ve vzdálenosti 1m od hrotového ionizátoru s napětím 150V na AK. Toto napětí již zajišťuje zachycení všech iontů, které vytváří daný ionizátor. Keithley 610C, který zde funguje jako předzesilovač, má dva režimy měření FAST a NORMAL. Srovnání je vidět na grafu č. 4.4



Graf č. 4.4 měření koncentrace iontů v režimu FAST a NORMAL

Režim FAST je v první části grafu a to do času 10^3 s, kdy první část je změřena při zapnutém ventilátoru a druhá část při vypnutém ventilátoru. Od času 10^3 do $2,5 \cdot 10^3$ je předzesilovač v režimu NORMAL. Při srovnání obou průběhů je vidět, že v režimu NORMAL je průběh spojitější. Ustálení u obou režimů bylo srovnatelné a to po dvou minutách, kdy oba průběhy začaly oscilovat kolem rovnoběžné čáry s časovou osou.

5 MĚŘENÉ ZDROJE IONTŮ

5.1 Hrotový ionizátor

jeho funkce je založena na tom, že rozdělení náboje (hustota náboje) není ve všech místech povrchu vodiče stejná. Největší hustota náboje je na hranách a hrotech nabitého vodiče. Vzhledem k velké hustotě náboje na hrotu nabitého vodiče je v okolí hrotu i velká intenzita elektrického pole, proto v okolí hrotu dochází k tzv. sršení. Tento jev můžeme vysvětlit tím, že vlivem velké intenzity dochází k deformaci elektrického pole. V okolí hrotu pak dochází k ionizaci vzduchu. Neutrální molekuly vzduchu se rozdělí na volné elektrony a kladné ionty. Kladné molekuly jsou přitaženy hrotem, zatímco záporné ionty a volné elektrony jsou odpuzovány, čímž vzniká iontový vítr. Měřený typ se již nevyrábí, a to z několika důvodů. Pracuje s napětím -1,3 kV. Napětí je přivedeno na hrot, který je dotykem přístupný a v neposlední řadě produkuje ozón. Účinnost hrotu se postupně snižuje a to především jeho otupením. I přesto tento typ produkuje až 80 000 iontů/cm³ ve vzdálenosti 50cm od ionizátoru, díky své jednoduché konstrukci a značnému napětí na hrotu.

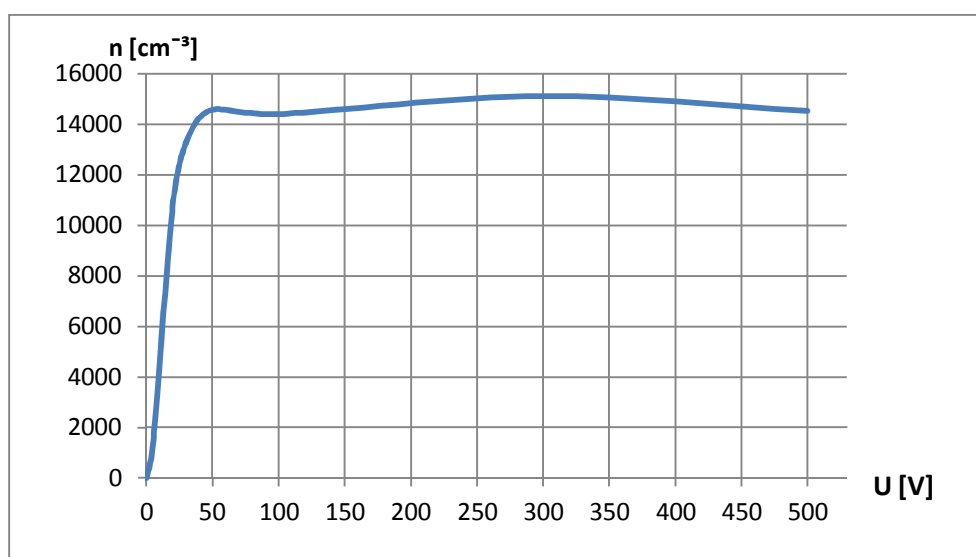


Obr. č. 5.1 elektrodové uspořádání hrotového ionizátoru

Na obr. č. 5.1 je vyfocen elektrodový systém ionizátoru. Mezi hrotem a druhou elektrodou je vzdálenost 12 mm na obr. č. 5.1 je zřetelný hrot a vpravo do něj druhá elektroda vytvořená zahnutým plíškem, z čehož vyplývá, že intenzita elektrického pole

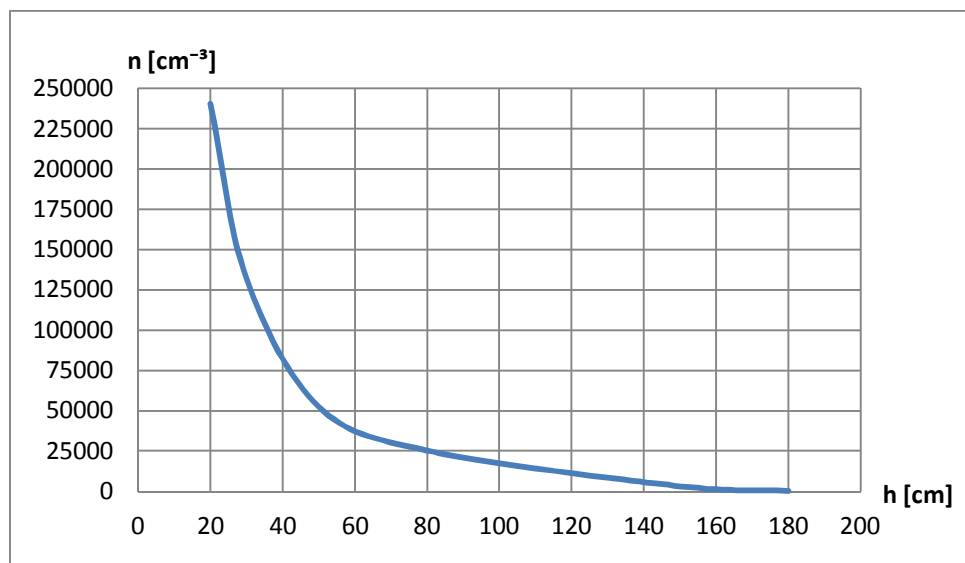
je 109,2 kV/m. Z této konstrukce je také zřejmé, že je ionizován pouze úzký pás vzduchu.

naměřené hodnoty jsou na grafu č. 5.1 a vyplývá z nich, že hrotový ionizátor produkuje lehké ionty. K saturaci křivky došlo již při 50 V. Při 50 V na AK jsou zachyceny všechny ionty s pohyblivostí $0,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ a vyšší. Ionty s touto pohyblivostí jsou lehké a mají příznivý vliv na člověka. Jako velká nevýhoda tohoto ionizátoru lze považovat nepříznivý vliv silného elektrického pole na prostředí, kde je využíván.



Graf č. 5.1 saturační křivka pro hrotový ionizátor ve vzdálenosti 1 m

Hrotový ionizátor je schopen ionizovat vzduch až do vzdálenosti 180 cm, kde koncentrace iontů klesla na 560 iontů/cm³ (viz. graf. č. 5.2), což odpovídá koncentraci iontů ve venkovních městských prostorech. Koncentrace 560 iontů/cm³ je pořád o jeden řád vyšší než je tomu v nevětraných budovách. Ve větších vzdálenostech je již koncentrace shodná s přirozenou koncentrací v budově. Koncentrace iontů v závislosti na vzdálenosti je značně ovlivněna povrchovými obklady a velkými elektrostatickými náboji. Velké elektrostatické náboje vznikají na CRT obrazovkách. Jsou to velmi účinné lapače záporných iontů. Na LCD ani na plazmových monitorech žádný elektrostatický náboj nevzniká.



Graf č. 5.2 koncentrace iontů v závislosti na vzdálenosti od hrotového ionizátoru při napětí 150 V na AK

Z hlediska bezpečnosti je hrotový ionizátor nevyhovující a to hlavně pro dotykem přístupný hrot, i když nepředstavuje přímou hrozbu. Nebezpečí spočívá v šoku, který člověk utrpí pokud dostane zásah elektrickým napětím. Hrotový ionizátor má poměrně složitou údržbu, která spočívá v nabroušení hrotu. Hrot se postupem času otupuje, a tím se může měnit i spektrum a množství iontů, které ionizátor vytváří. Hrotový ionizátor nedisponuje žádnou sběrnou elektrodou.

5.2 Sloupový ionizátor

Sloupový ionizátor viz. obr. 5.2, funguje na stejném principu jako hrotový ionizátor, s výjimkou toho, že hrot je nahrazen dvěma tenkými drátky. Tato inovace má hned několik výhod. Nedochází k otupení jako je tomu u hrotového ionizátoru. Údržba ionizační elektrody se zde provádí vysunutím vzpěry, která očistí drátky od nečistot. Toto vysunutí je znázorněno na obr. č. 5.2. Sloupový ionizátor pracuje s napětím 11,7 kV. Toto napětí je mezi drátem a sběrnými elektrodami, které pracují jako lapače prachu. Dva svislé drátky zde fungují jako zdroje iontů, kde vlivem silné deformace elektrického pole dochází k ionizaci vzduchu. Na sběrných elektrodách obr. 5.3 je připojeno záporné napětí, které extrahuje záporné ionty směrem od ionizátoru a zároveň působí díky svojí ploše jako lapač kladných iontů. Díky jeho zaobleným hranám také nedochází k sršení a další ionizaci vzduchu.

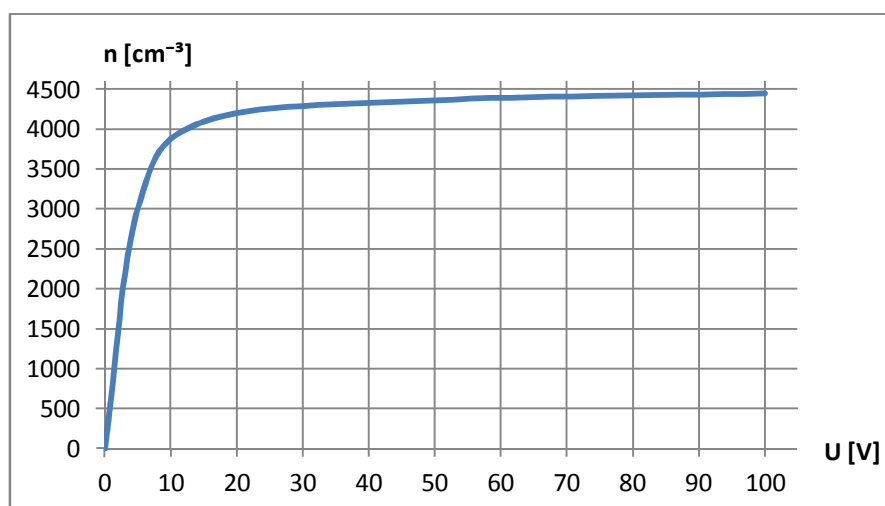


Obr. č. 5.2 sběrné elektrody sloupové ionizátoru [23]



Obr. č. 5.3 sloupový ionizátor s povysunutou sběrnou elektrodou [23]

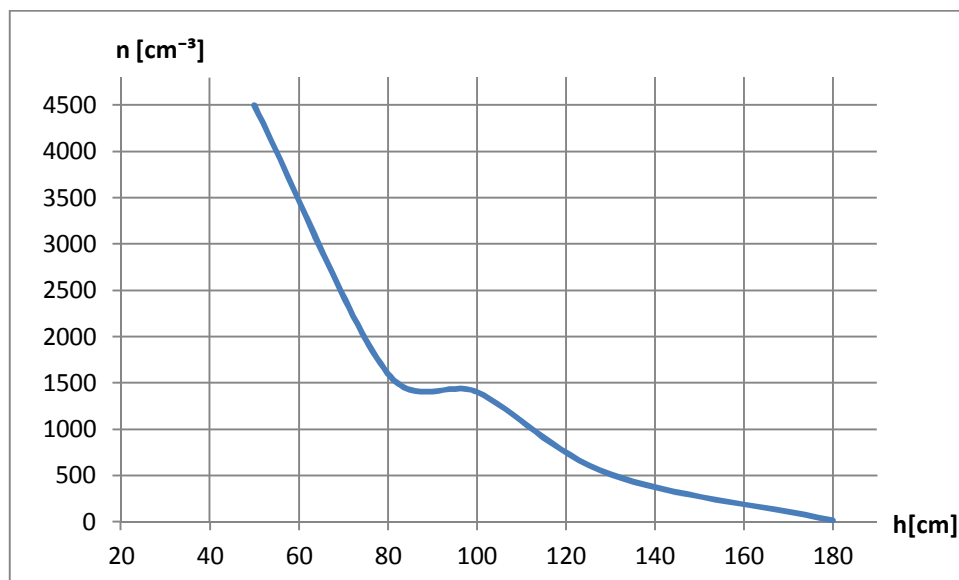
Z Naměřené saturační charakteristiky graf. 5.3 vyplývá, že sloupový ionizátor produkuje lehké ionty, které jsou zdraví prospěšné. K saturaci došlo již při přiložení 30 V na AK. Ve vzdálenosti 50 cm byla naměřena koncentrace malých záporných iontů 4500 iontů/cm^3 . Takto vysoké koncentrace se vyskytují pouze ve speciálních lokalitách, kterými jsou například speleoterapeutické jeskyně. Vysoké koncentrace iontů se mohou vyskytovat také před bouřkou, kdy koncentrace záporných iontů silně vzrůstá.



Graf 5.3 saturační křivka pro sloupový ionizátor pro vzdálenost 50 cm

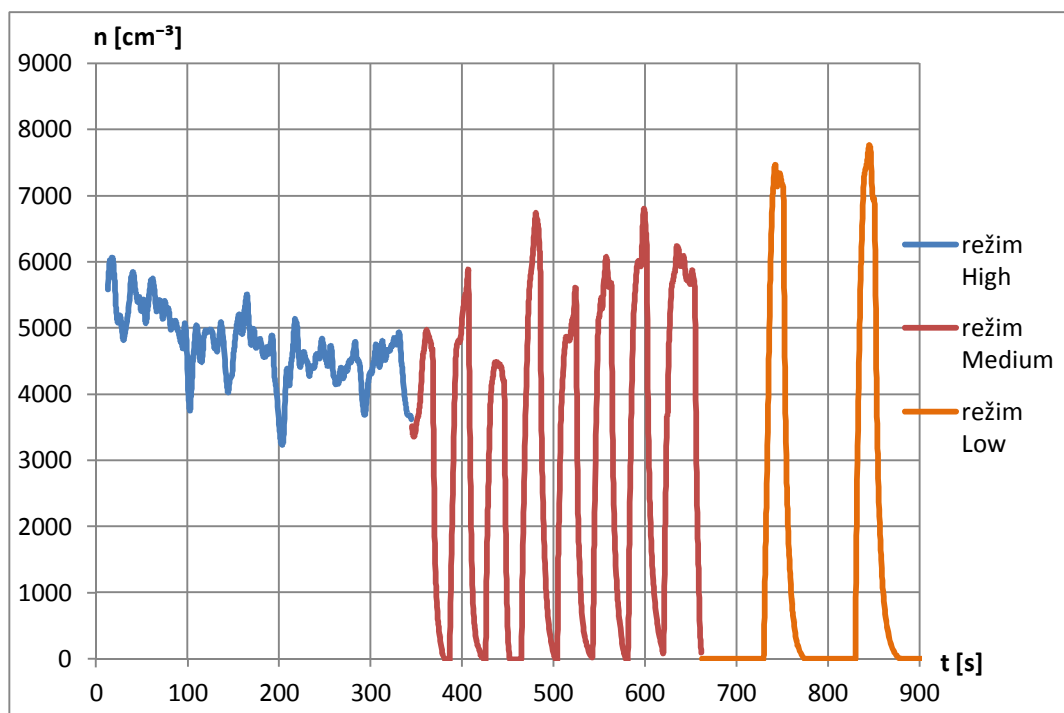
Stejně jako u ostatních ionizátorů, je závislost koncentrace iontů od ionizátoru exponenciálně klesající. Graf 5.4 nám dále říká, že ideální koncentrace iontů pro

člověka je ve vzdálenosti zhruba 1 m od ionizátoru. Otázkou však zůstává, zda je prospěšné se vystavovat silným elektrickým polím, které v dané lokalitě působí. Dosah všech ionizátorů je omezen. Velkou roli zde hraje proudění vzduchu a samozřejmě materiály využívané v dané lokalitě, především pak materiály použité na stěnách a podlaze, vliv má také prašnost prostředí.



Graf 5.4 koncentrace iontů v závislosti na vzdálenosti od ionizátoru při napětí 150 V na AK

Sloupový ionizátor je schopen pracovat ve čtyřech režimech. Jsou to režimy High, Medium, Low a Clean. Graf 5.5 znázorňuje jednotlivé naměřené průběhy pro tyto režimy, tj. závislosti koncentrace iontů na čase. V režimu High je v provoz ionizátoru kontinuální, kdy po celou dobu provozu produkuje záporné ionty. V režimu Medium pracuje ionizátor pulzně, kdy 20 sekund je bez napětí na elektrodách a 20 sekund pod napětím 11,7 kV. Z průběhu je možno vidět, že koncentrace iontů po 20 sekundách klesá až na nulu. V režimu Low pracuje opět pulzně, přičemž jeden cyklus trvá přibližně 100 sekund. Ne elektrody je připojeno napětí 20 sekund a 80 sekund je bez napětí. Všechny tři režimy pracují se stejným napětím. V režim Clean je zde pouze pro indikaci zaneseného filtru nebo poruše na zařízení. Při režimu Clean jsou elektrody odpojeny od napětí především z bezpečnostních důvodů.



Graf. 5.5 koncentrace iontů v režimech High, Medium a Low při napětí 150 V na AK

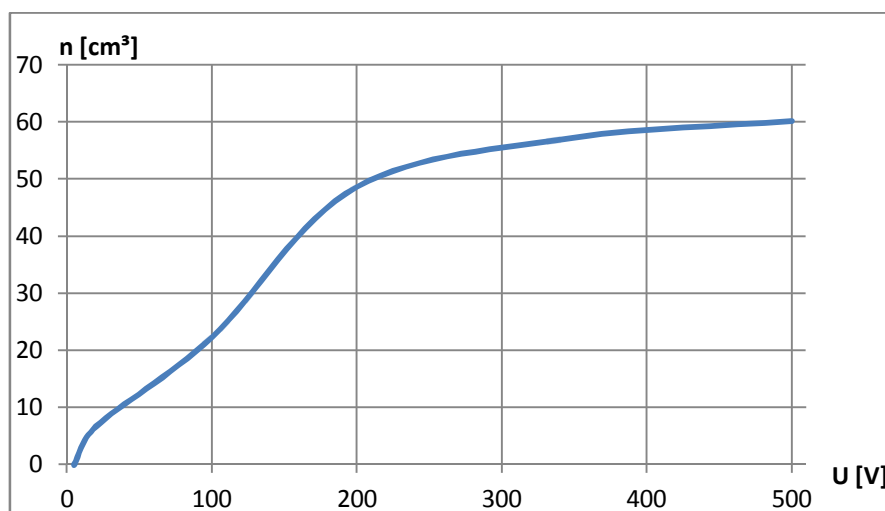
Vzhledem k tomu, že sloupový ionizátor pracuje s napětím 11,7 kV, proto se nedoporučuje ionizátor používat zároveň se zvlhčovačem vzduchu, kde vzniká riziko výboje. Výboj může dále vniknout nadměrným množstvím nečistot na sběrné elektrodě. Ionizátor produkuje mnohem větší počet iontů, než je schopen vyprodukovat hrotový ionizátor, i když je koncentrace iontů ve stejné menší vzdálenosti. Sloupový ionizátor je schopen ionizovat daleko větší objem vzduchu. Režimy Medium a Low pracují na pulsovém principu, což není pro lidský organismus ideální. Se stoupající frekvencí roste i škodlivost elektrického pole na člověka. Pulsové řešení není nejvhodnější pro lidský organismus. Mnohem vhodnější řešení by bylo snížit napětí na elektrodách. Sloupový ionizátor produkuje 0,005 ppm ozónu. Přičemž povolené množství ozónu je 0,05 ppm. Při zapnutém ionizátoru se nedoporučuje větrat, protože by docházelo k průniku kladných iontů z venkovního prostředí a zároveň by docházelo k extrakci záporných iontů do venkovního prostředí.

5.3 Ultrazvukový difuzér

Ultrazvukový difuzér není schopen generovat ionty ani záporné, ani kladné. Koncentrace, které byly naměřeny se pohybují v řádu desítek iontů/cm³, což odpovídá přirozené koncentraci vzdušných iontů v laboratoři, kde měření probíhalo. Měření proběhlo na dvou nezávislých ultrazvukových zvlhčovačích a ani jeden z nich nebyl schopen přímo produkovat vzdušné ionty viz obr. č.5.2.



Obr. č. 5.4 vlevo ultrazvukový difuzér, vpravo zvlhčovač vzduch s ionizací[26]

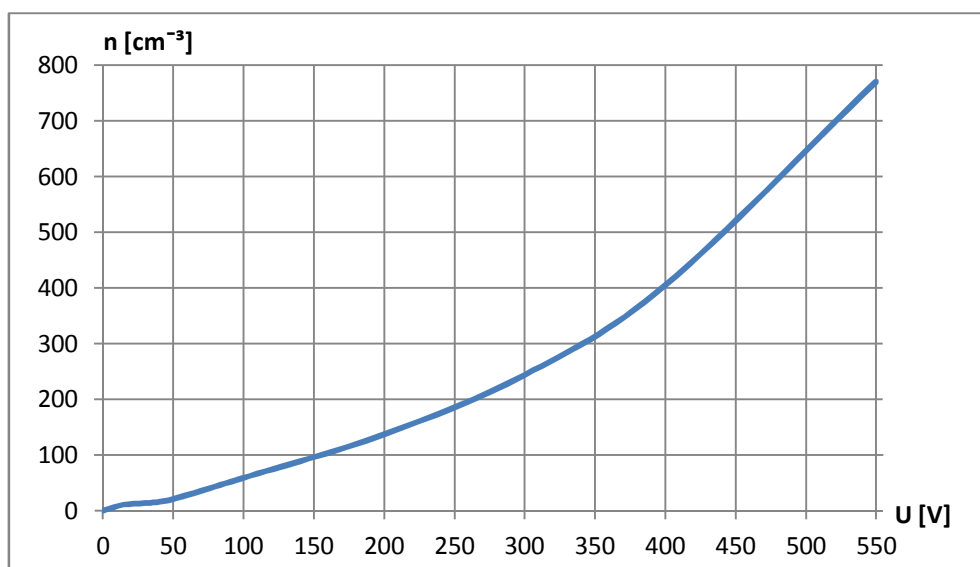


Graf č. 5.6 saturační křivka pro ultrazvukový difuzér

Saturační křivka, která je znázorněna na grafu č. 5.6 byla měřena při umístění přístroje přímo u ústí aspiračního kondenzátoru. Vzdálenost mezi difuzérem a aspiračním kondenzátorem byla 10 cm. Difuzér byl umístěn tak, aby vytvářená mlha přímo vstupovala do ústí aspiračního kondenzátoru, ale i přesto nebyl zaznamenán významný nárůst koncentrace iontů. Došlo pouze ke zvýšení svodového proudu v důsledku navlhnutí vzpěr. Naměřená koncentrace iontů pro napětí na sběrné elektrodě 550 V byla 62 iontů/cm³ a pro -550 V, kdy dochází k zachycení kladných iontů byla koncentrace 49 iontů/cm³. Reprodukovatelnost tohoto měření je velmi malá a hlavní činitel zde bude hrát koncentrace iontů v daném prostředí.

5.4 Plazmový ionizátor

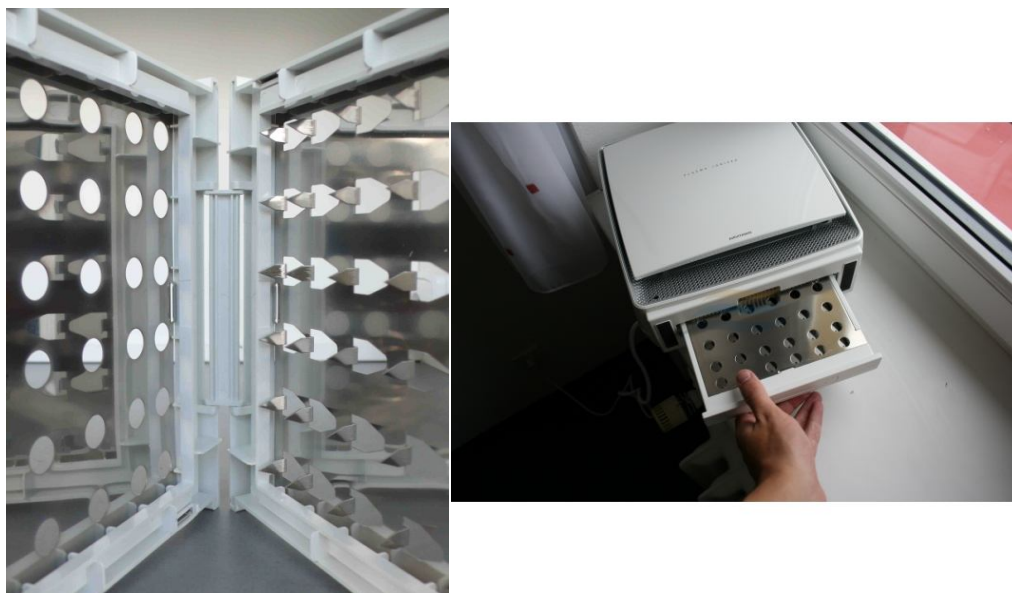
Plazmový ionizátor viz obr.5.5 disponuje dvěma režimy a to ionizačním, kdy by mělo docházet pouze k ionizaci vzduchu. Druhý z režimů je čistící, při kterém by měly být zachycovány kladné ionty. V ionizačním režimu je přivedeno napětí na uhlíkové vlákno, které ionizuje vzduch. Průběh ionizačního režimu je vykreslen na grafu č. 5.7, koncentrace iontů byla měřena v bezprostřední blízkosti od zdroje iontů. I přes vzdálenost pouhých 10 cm byla naměřená koncentrace maximálně 770 iontů/cm³. Koncentrace malých záporných iontů zachycených při napětí 50 V byla 20 iontů/cm³. Ze saturační křivky graf č. 5.7 vyplývá, že plazmový ionizátor produkuje především ionty s menší pohyblivostí, které se řadí mezi střední a těžké. Při napětí 550 V na AK ještě nedošlo k saturaci, z čehož plyne, že tento zdroj je spíše producentem středních a těžkých záporných iontů. Lehké ionty plazmový ionizátor takřka neprodukuje nebo jen v malém množství. Koncentrace pro napětí 50 V na AK byla 20 iontů/cm³. Saturační křivka pro ionizační režim byla měřena ve vzdálenosti 10 cm, protože koncentrace exponenciálně klesala a již ve vzdálenosti 50 cm byla koncentrace pouze v řádech desítek iontů a to pro napětí 550 V na AK.



Graf č. 5.7 saturační křivka pro ionizační režim ve vzdálenosti 10 cm od ionizátoru

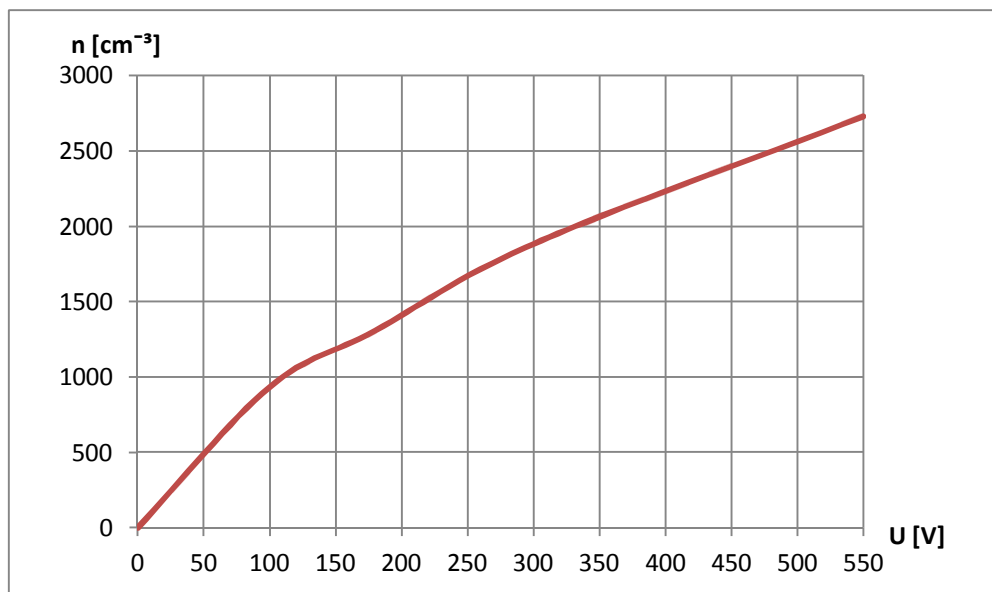
V režimu čištění je mezi elektrodami napětí 4,7 kV. Elektrody (které jsou zde hrotové) jsou zobrazeny na obr. č. 5.5, jde o rozložený stav ionizátoru, ve kterém se

provádí údržba, která spočívá v umytí elektrod. Elektrody s hroty slouží jako zdroj iontů a druhá děrovaná elektroda slouží jako lapač kladných iontů. V složeném stavu je mezi elektrodami potenciálový spád 5200 kV/m.



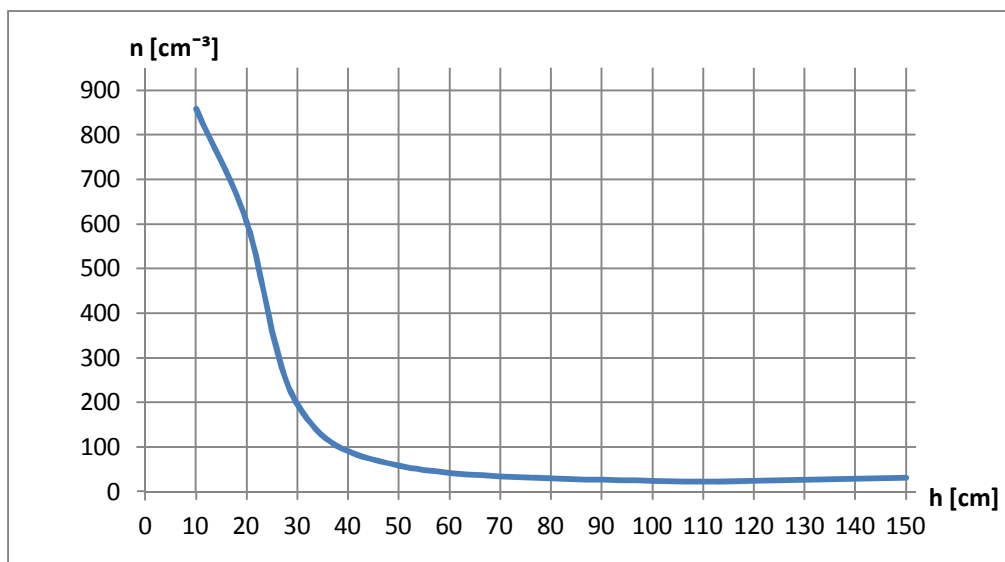
Obr. č. 5.5 vlevo jsou elektrody v rozloženém stavu a vpravo elektrody při zasouvání do plazmového ionizátoru

Ze saturační křivky graf. č. 5.8 vyplývá, že plazmový ionizátor produkuje malé a střední ionty, kdy ani při napětí 550 V na AK nedošlo k saturaci. Ve vzdálenosti 50 cm produkuje 500 iontů/cm³ s pohyblivostí 0,5 cm².V⁻¹s⁻¹. Ionty s touto pohyblivostí se dají považovat za zdravotně prospěšné. Plazmový ionizátor je ale především producent středně těžkých iontů. Produkce středně pohyblivých iontů je způsobena samotnou konstrukcí elektrod, kde nejsou dokonale ostré hrany, což má za následek produkci především středně pohyblivých iontů. Za středně pohyblivé ionty se dají považovat všechny ionty které byly zachyceny nad napětí 50 V na AK, což je 2200 iontů/cm³. Ionty s pohyblivostí nižší než 0,5 cm².V⁻¹s⁻¹ nepřispívají přímou cestou k lepšímu zdravotnímu stavu člověka, ale značně přispívají k čištění vzduchu, kde se vyskytují. Neutrální částice se na záporné ionty dále vážou, čímž stoupá hmotnost molekul. Těžké molekuly se po čase deponují na površích.



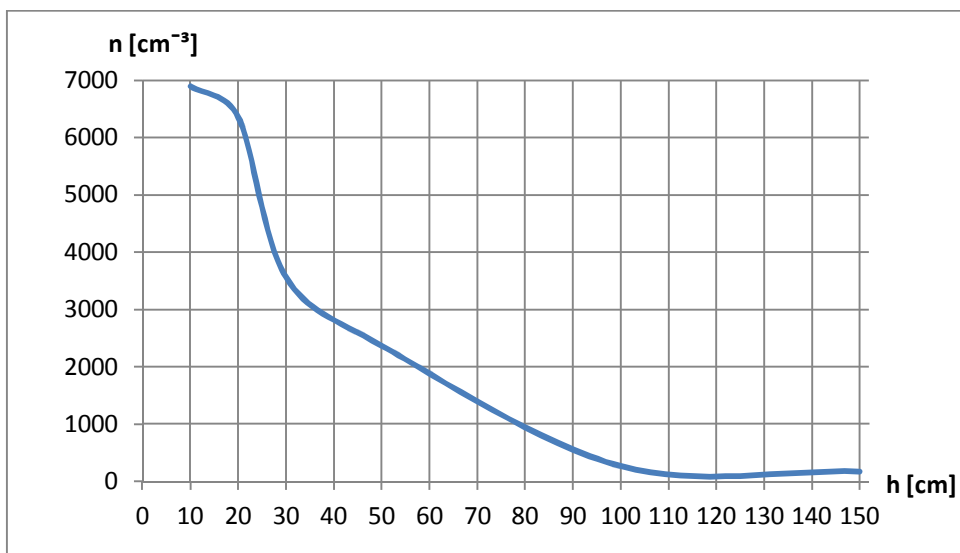
Graf č. 5.9 saturační křivka pro plazmový ionizátor ve vzdálenosti 50 cm

Koncentrace iontů v závislosti na vzdálenosti od ionizátoru pro režim ionizace je znázorněn na grafu č. 5.9. Z grafu vyplývá, že koncentrace iontů prudce klesá a již ve vzdálenosti 50 cm klesla koncentrace iontů na 60 iontů/cm³. Koncentrace iontového pozadí se také nachází v řádech desítek iontů/cm³. Účinnost ionizačního režimu je účinná zhruba 30 cm za podmínky, že ionizátor a detektor je ve stejné výšce.



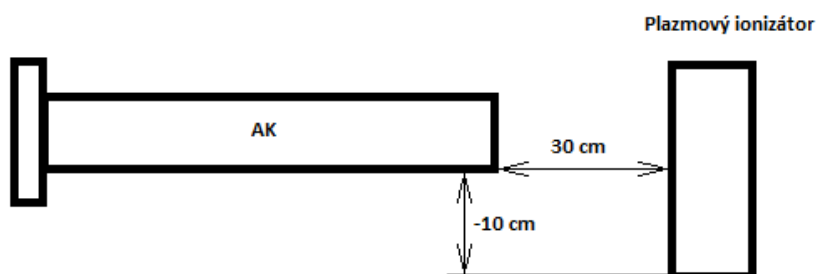
Graf č. 5.10 koncentrace iontů v režimu ionizace v závislosti na vzdálenosti od plazmového ionizátoru při napětí 550 V na AK

Koncentrace iontů pro režim čištění rychle klesá s rostoucí vzdáleností od plazmového ionizátoru, což je znázorněno na grafu č. 5.10. Z grafu dále vyplývá, že optimální koncentrace iontů je ve vzdálenosti 80 cm. Zde je koncentrace 1000 iontů/cm³, což odpovídá koncentraci iontů v přírodě. Plazmový ionizátor produkuje ionty především ze spodní části, kde jsou extrahovány do prostoru.



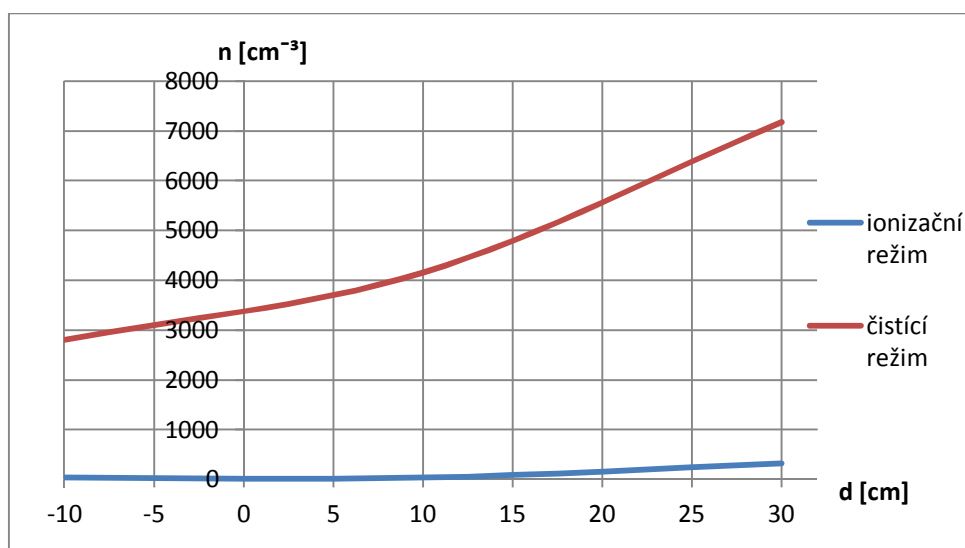
Graf č. 5.11 koncentrace iontů v režimu čištění v závislosti na vzdálenosti od plazmového ionizátoru při napětí 550 V na AK

Koncentrace iontů pro plazmový ionizátor se značně lišila v závislosti na rozdílu výšek od sebe AK a plazmového ionizátoru. Schéma použitého rozmístění je na obrázku č. 5.6, kdy vzdálenost zůstává konstantní a mění se poloha v horizontálním směru. Naměřená změna koncentrace iontů je vynesena v grafu č. 5.11.



Obr. 5.6 schéma rozmístění AK a plazmového ionizátoru d = -10 cm

Koncentrace iontů lineárně roste pro režim čištění, od koncentrace 2800 iontů/cm³ až po koncentraci 4200 iontů/cm³, což je způsobeno dvěma faktory. Zaprvé, ionty středně pohyblivé jsou klesají k podlaze vlastní vahou a za druhé proto, že podlaha z plastu má kladný náboj. Koncentrace vzrostla i pro režim ionizace, kdy v rozdílu výšky 30 cm vzrostla koncentrace iontů na 330 iontů/cm³, tedy z měření vyplývá, že přístroj ionizuje více v režimu čištění. Ideální umístění plazmového ionizátoru je v co nejvyšší pozici, aby ionty urazily co největší vzdálenost od ionizátoru. Ionty s takto prodlouženou dráhou mají větší pravděpodobnost navázat na sebe neutrální molekuly nebo rekombinovat s kladnými ionty, které jsou odpuzovány od podlahy, protože mají stejný kladný náboj jako podlaha. Tímto způsobem dojde ke snížení polétavých částic.



Graf č. 5.12 koncentrace iontů v závislosti na výšce plazmového ionizátoru

Údržba plazmového ionizátoru se provádí obdobně jako u sloupového ionizátoru. Elektrody se vysunou z ionizátoru a oťrou se suchým hadříkem. Další možností je použít saponát a vodu. V tomto případě se ale musí nechat elektrody vyschnout. K silnému zanášení elektrod dochází především v místnosti, kde se kouří nebo je zvýšená prašnost.

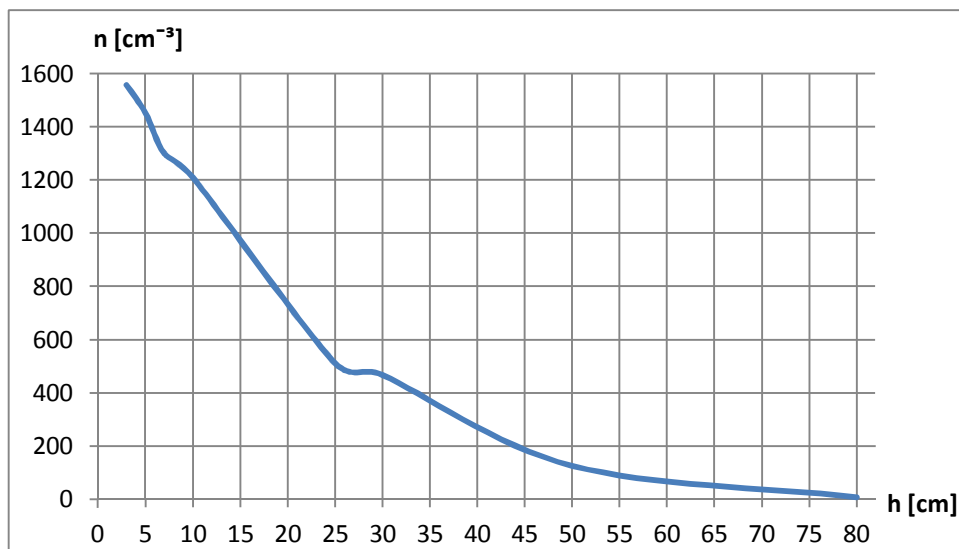
5.5 Ionizátor do lednice

Ionizátor do ledničky viz. obr.č. 5.7 pracuje v oblasti korónového výboje. Při pohledu na elektrody je zde viditelný výboj pouhým okem. Výboj je doprovázen akustickým šuměním. Při nádechu v blízkosti tohoto ionizátoru je zřetelný zápach ozónu. Samotný výrobce uvádí produkci ozónu jako jeho funkci. Z tohoto důvodu bych nedoporučoval využití ionizátoru jinde než v ledničce. Ionizátor je napájen ze 4 x C baterie. Přístroj je vybaven dvěma režimy LO a HI, kdy v režimu LO při zapnutí 30 minut nepřetržitě ionizuje a po 30 minutách se zapíná s intervalem 150sekund za hodinu. Režim HI funguje obdobně 30 minut nepřetržitě ionizace a poté se zapíná v intervalu 4 minuty za hodinu.



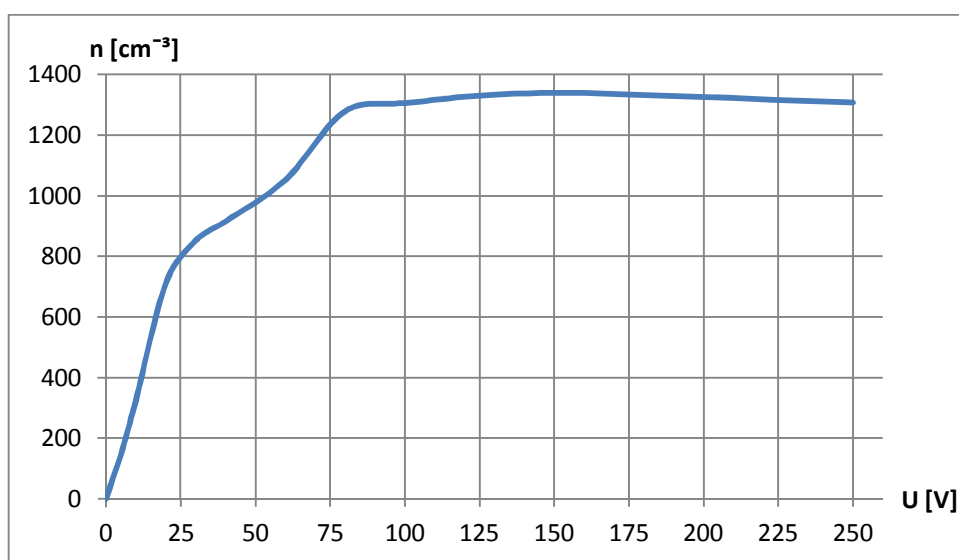
Obr. č. 5.7 ionizátor do lednice [25]

Pokles koncentrace iontů v závislosti na vzdálenosti od ionizátoru do ledničky je znázorněn na grafu 5.12. Koncentrace iontů byla 1550 iontů/cm^3 ve vzdálenosti 3 cm od ionizátoru. Z grafu vyplývá, že účinnost ledničkového ionizátoru je zhruba 50 cm, což je pro ledničku dostačující. Otázkou však je, jestli je koncentrace iontů udržitelná v prostorech ledničky. V laboratoři koncentrace iontů takřka okamžitě po vypnutí ionizátorů klesá na původní hladinu.



Graf č. 5.13 koncentrace iontů v závislosti na vzdálenosti od ionizátoru do lednice pro napětí 150 V

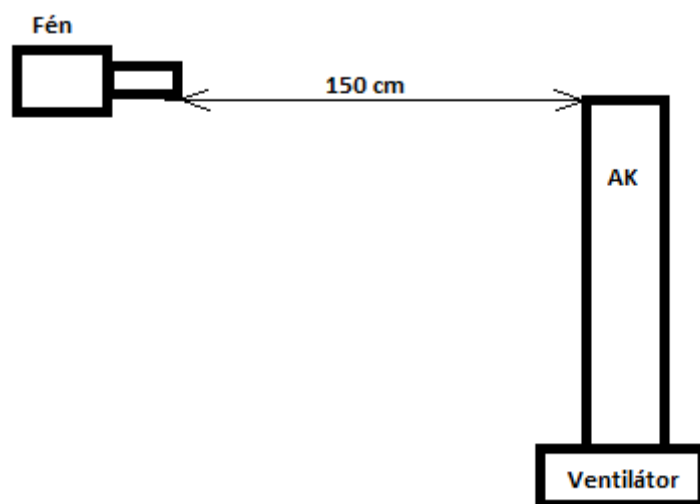
Ze saturační křivky graf č. 5.13 pro ionizátor do lednice vyplývá, že k saturaci došlo při napětí 80 V na AK. Při napětí 50 V na AK došlo k detekci 1000 iontů/cm³. Zbylých 250 iontů/cm³ bylo s pohyblivostí nižší než 0,5 cm².V⁻¹s⁻¹. Z toho plyne, že ionizátor do lednice produkuje především lehké záporné ionty s velkou pohyblivostí. Maximální koncentrace záporných iontů ve vzdálenosti 10 cm byla 1305 iontů/cm³.



Graf č. 5.14 saturační křivka pro ionizátor do lednice ve vzdálenost 10 cm

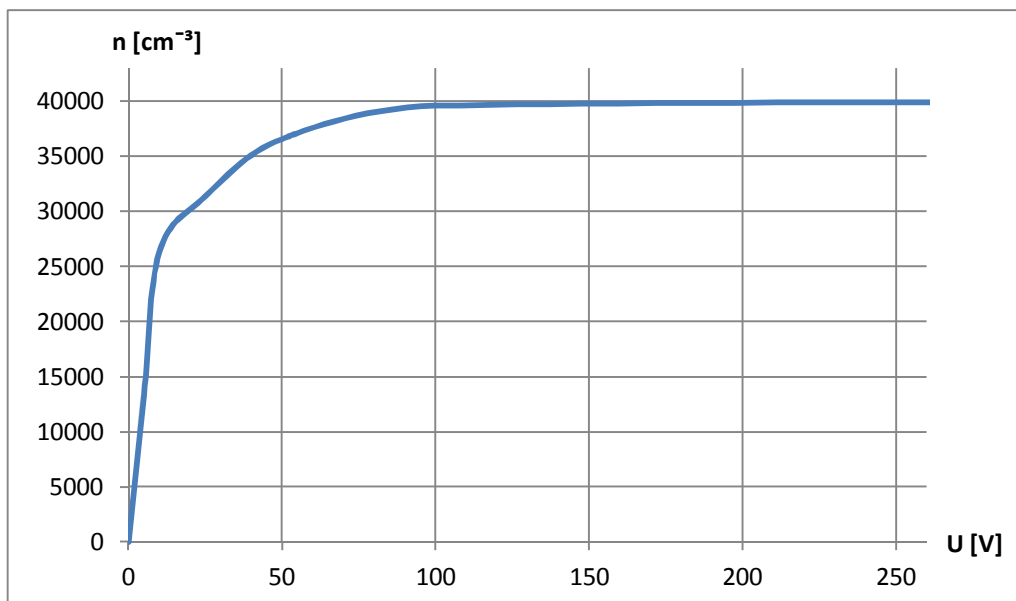
5.6 Fén s ionizátorem

Při měření koncentrace iontů pro fén bylo nutné, aby proud vzduchu vycházející z fénu neovlivňoval průtok vzduchu AK. Umístění AK a fénu je znázorněno na obrázku č. 5.8. Fén byl umístěn kolmo k AK, který byl ve vzdálenosti 1,5 m. Zdrojem iontů ve fénech je tenký drátek. Pracuje na stejném principu jako je tomu u sloupového ionizátoru. Dnes je již většina dražších a profesionálních fénů je již vybavena ionizátorem. Uživatelé vypovídají o tom, že jim vlasy tolik "neodstávají", což je způsobeno vybitím statického náboje, který se může ve vlasech vytvářet.



Obr. č. 5.8 grafické znázornění rozmístění fénu a AK

Spojením ionizátoru a proudícího vzduchu se pro koncentraci iontů ukázalo velice prospěšné. Koncentrace iontů v 1,5 m dosáhla 40 000 iontů/cm³, což je bezkonkurenčně nejvíce ze všech měřených zdrojů iontů. K saturaci došlo již při 100 V na AK viz graf č. 5.14. Z grafu dále vyplývá, že fén s ionizátorem vytváří především malé lehké ionty, kterých bylo naměřeno 31 000 iontů/cm³. Zbylých 9 000 iontů/cm³ bylo již se střední pohyblivostí.

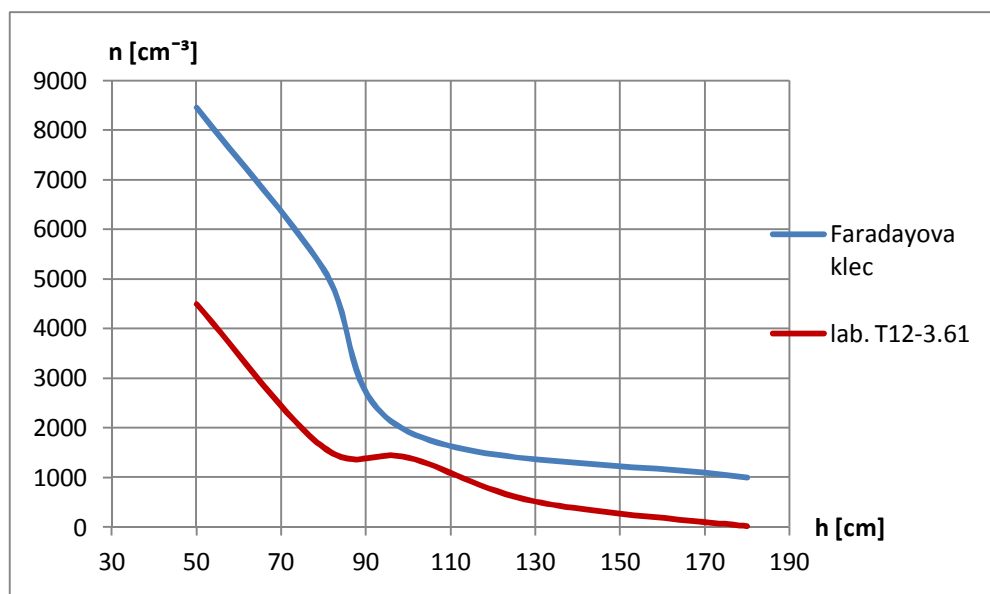


Graf č. 5.15 saturační křivka pro fén s ionizátorem ve vzdálenosti 150 cm

Koncentraci v závislosti na vzdálenosti od zdroje iontů se mi pro fén s ionizátorem nepodařilo změřit především proto, že proudící vzduch silně ovlivňoval proces měření. Chyba vznikala pohybem kondenzátoru použitého pro vytvoření napětí na elektrodách AK, který je umístěn v ústí AK, protože je připevněn tenkými drátky, je vlivem indukovaného napětí, obtížné získat věrohodné výsledky.

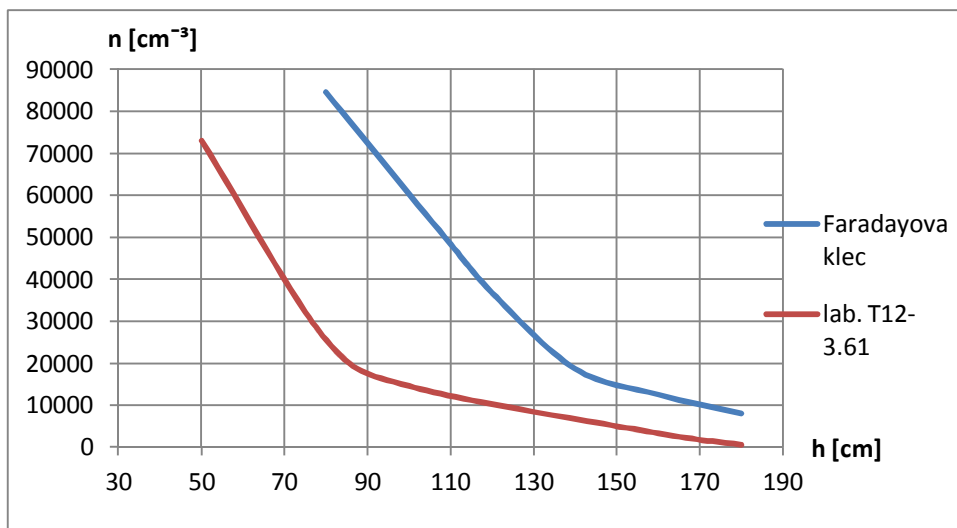
5.7 Vliv prostředí na koncentraci iontů

Měření probíhalo ve dvou rozdílných místnostech v laboratoři T12-3.61 a Faradayově kleci při srovnatelném tlaku, vlhkosti a teplotě, tyto rozdíly dále zanedbáváme, a to pro minimální vliv na uměle vytvořenou koncentraci iontů z ionizátoru. Přirozená koncentrace v obou laboratořích se pohybuje v řádech desítek iont/cm³. V laboratoři T10-3.61 je malá koncentrace iontů způsobena nevhodnými stavebními materiály- především vysokým povrchovým odporem. Ve Faradayově kleci není žádný příkon ionizační energie, proto je zde také velmi malá počáteční koncentrace vzdušných iontů. Napětí na vnitřní sběrné elektrodě bylo zvoleno 150 V. Při tomto napětí dochází k zachycení iontů s pohyblivostí $0,17 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ a vyšší. Ionty s pohyblivostí $0,17 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ a vyšší jsou považovány za ionty střední a lehké, přičemž ionty lehké jsou zachyceny všechny. První místností byla takzvaná Faradayova klec, která je kompletně od stíněná od vnějších vlivů a má především vodivý povrch stěn. Stěny jsou zde pokryty grafitovou barvou, tudíž jsou vodivé. Druhá místnost byla laboratoř v budově T10-3.61. Z grafu 5.1 a 5.2 jasně vyplývá vliv prostředí na koncentraci iontů. Pro ionizaci byly využity dva zdroje iontů a to sloupový a hrotový ionizátor. Z obou grafů vyplývá, že koncentrace exponenciálně klesá s rostoucí vzdáleností od zdroje iontů. Vyšší koncentrace byly naměřeny ve Faradayově kleci. Obě místnosti mají společné to, že takřka okamžitě po vypnutí ionizátoru klesá koncentrace iontů k původní koncentraci.



Graf č. 5.16 závislost koncentrace iontů na vzdálenosti od sloupového ionizátoru

Graf č. 5.1 ukazuje, jak je důležité, kde je ionizátor použit. Ve vzdálenosti 50 cm byla naměřena koncentrace 8000 iont/cm³ pro hrotový ionizátor, zatímco v laboratoři T10-3.61 pouze 4000 iont/cm³ pro sloupový ionizátor. Dvojnásobný rozdíl je způsoben jednak povrchovou úpravou ve Faradayově kleci, a také rozdílnými rozměry místností. Ve vzdálenosti 180 cm byla naměřena koncentrace iontů pro laboratoř T10-3.61 pouze 20 iont/cm³, což jasně naznačuje, že účinnost tohoto ionizátoru je zhruba 150 cm pro běžné prostředí bez speciální úpravy. S rostoucím povrchovým odporem a nízkou permitivitou se dá očekávat ještě nižší dosah iontového pole. Ve Faradayově kleci byla ve vzdálenosti 180 cm naměřena koncentrace 1000 iont/cm³, což odpovídá koncentraci iontů v přírodě.



Graf č. 5.17 závislost koncentrace iontů na vzdálenosti od hrotového ionizátoru

Koncentrace iontů pro hrotový ionizátor je o jeden řád vyšší než pro sloupový ionizátor. Účinnost hrotového ionizátoru je zhruba 180 cm pro běžné místnosti. Pro vzdálenost 100 cm byla naměřena koncentrace 15 000 iont/cm³ v laboratoři T10-3.61 a 60 000 iont/cm³ ve Faradayově kleci. Tento čtyřnásobný rozdíl jasně naznačuje, jak velký vliv má prostředí na uměle vytvořenou koncentraci iontů. Není důležité pouze čím ionty vytváříme, ale také, kde v jakém prostředí (místnosti) je vytváříme.

Z měření jasně vyplývá, že se jednoznačně nedá určit do jaké vzdálenosti ionty doputují. Tato vzdálenost se bude lišit v závislosti na prostředí, kde bude ionizátor využíván. Pokud se člověk bude snažit o ideální pobytové prostředí bude jednu z hlavních rolí hrát materiál, který zde bude využit.

5.8 Udržitelnost umělého iontového pole

Měření probíhalo v zasedací místnosti T10-4. 38 ve 4. patře, kde více než 24 h byly v provozu 4 ionizátory- sloupový ionizátor, plazmový ionizátor, hrotový ionizátor a ultrazvukový difuzér. Rozměry zasedací místnosti jsou výška 3 m, šířka 5,5 m a délka 12 m. Celkový objem zasedací místnosti je 198 m^3 . Koncentrace byla měřena ve výšce 80 cm od země a nejbližší ionizátor byl ve vzdálenosti 3 m. Koncentrace iontů po 24 hodinách stoupla z původních 20 iontů/cm^3 na 450 iontů/cm^3 , pro měření bylo využito napětí 150 V na AK. Po vypnutí ionizátorů začala koncentrace iontů v místnosti klesat. Pokles koncentrace iontů v závislosti na čase je znázorněn na grafu č. 5.18. O poklesu koncentrace iontů se do jisté míry přičinilo i samotné měření, kdy vzduch který prošel AK odevzdal svůj elektrický náboj. Průtok vzduchu je vypočítán v tabulce č. 5.1. Tabulka ukazuje, že za dobu měření proteklo AK $33,6 \text{ m}^3$. V klidovém stavu se člověk nadechne 16krát za minutu, přičemž mu projde přes plíce při každém nádechu přibližně $0,5 \text{ l}$ vzduchu. Aby člověk vydýchal $3,74 \text{ m}^3$, což je množství vzduchu, které prošlo AK za 5 minut, potřeboval by k tomu 74800 nádechů.

Rychlost proudění vzduchu na vstupu aspiračního kondenzátoru při napětí 12 V na ventilátoru je $v_x = 3,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

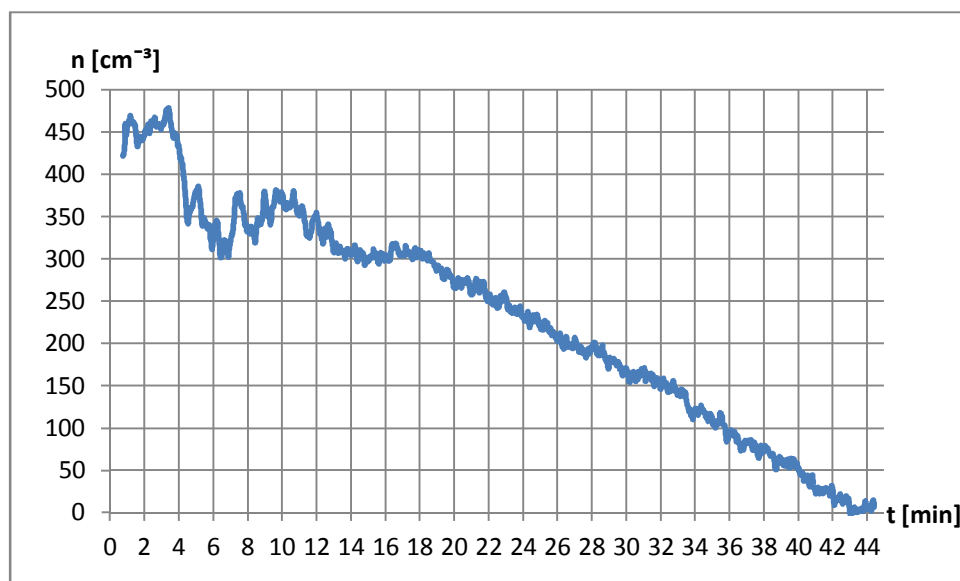
Průtok vzduchu aspiračním kondenzátorem

$$M = (r_2^2 - r_1^2) \cdot \pi \cdot v_x = (0,04^2 - 0,019^2) \cdot \pi \cdot 3,2 = 0,01245549 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

t [min]	5	10	15	20	25	30	35	40	45
V [m ³]	3,74	7,47	11,21	14,95	18,68	22,42	26,16	29,89	33,63

Tab. č. 5.1 průtok vzduchu AK v závislosti na čase

Koncentrace iontů postupně klesala po vypnutí ionizátorů. Na začátku měření byla koncentrace 450 iontů/cm^3 , což je mnohonásobně více než se v zasedací místnosti vyskytovalo před použitím ionizátorů. Koncentrace iontů klesla po 20 minutách pod úroveň 300 iontů/cm^3 a za tuto dobu prošlo přes AK takřka 15 m^3 vzduchu. Po 40 minutách koncentrace klesla pod úroveň 50 iontů/cm^3 a v čase nad 43 minut již byly průměrně detekovány jen zhruba desítky iontů/cm³.



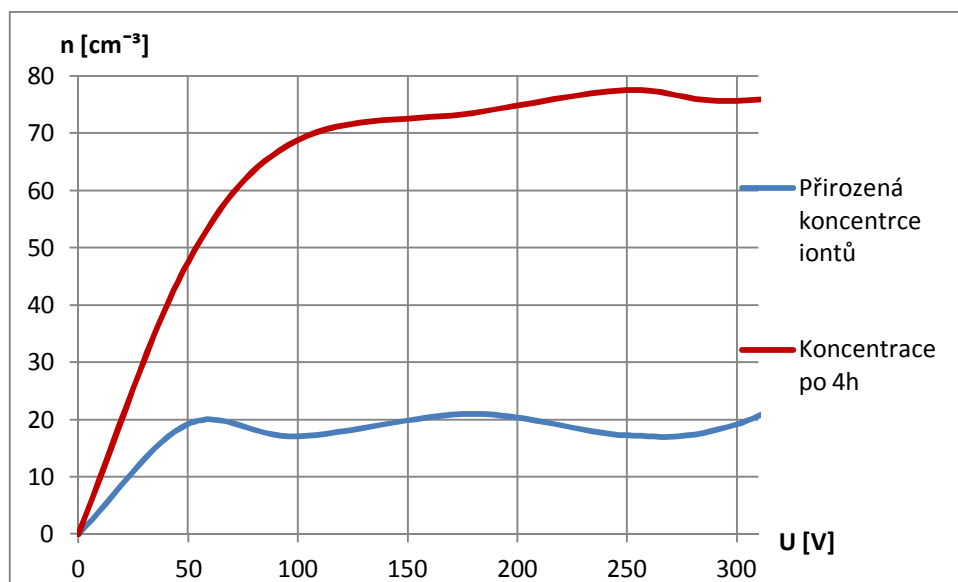
Graf č. 5.18 pokles uměle vytvořené koncentrace iontů v závislosti na čase

K ionizaci zasedací místnosti bylo zapotřebí více než 24 hodin čtyři ionizátory, a to bez jakéhokoliv přístupu osob. Zároveň se povedlo koncentraci iontů zvýšit z 20 iontů/cm³ na 450 iontů/cm³. S koncentrací iontů zde zároveň vzrostla koncentrace ozónu. V případě přítomnosti osob by koncentrace iontů zajisté také začala klesat, a to ne jen proto, že by ionty vdechovaly, ale především pro elektrostatický náboj, kterým osoby izolované od země disponují. Elektrostatický náboj na osobách vzrůstá hlavně v místech, kde je člověk izolován od země a to jak izolovanou obuví, tak i podlahovým krytím. Nevhodný elektrostatický náboj může dosáhnout hodnot až 15 kV, především pak v zimních měsících, kdy klesá relativní vlhkost prostředí.

5.9 Vliv aerosolových částic na koncentraci iontů

Vliv aerosolových částic může být přínosný, na druhou stranu však může mít i nežádoucí efekt. Žádoucí je zvýšení koncentrace malých záporných iontů. Nežádoucí, pokud dochází k rekombinaci záporných iontů a také pokud dochází ke spojování molekul do velkých shluků. Takové ionty nemají přínos pro lidský organizmus. Nejhojnější aerosolová částice je molekula nebo shluk molekul vody.

Vliv aerosolových částic jsem měřil v zasedací místnosti T10-4.38, kde 4 hodiny působil ultrazvukový difuzér bez přítomnosti osob. Ultrazvukový difuzér není schopen produkovat ionty ani záporné, ani kladné. "Mlha", která z něj vychází má neutrální náboj. Difuzér, i když přímo není schopen produkovat ionty, ale sekundárně působí na koncentrace iontů. Vodní aerosolové částice deponují na podlaze, mění její povrchový odpor a přispívají k vybití elektrostatického náboje. Vybití elektrostatického náboje přispívá k vyšším koncentracím iontů. Průběh koncentrace iontů po 4 hodinách zapnutého difuzéru je znázorněn na grafu č. 5.19. Difuzér byl umístěn 2 m od aspiračního kondenzátoru. AK byl natočen do volného prostoru a byl umístěn ve výšce 80 cm nad podlahou.

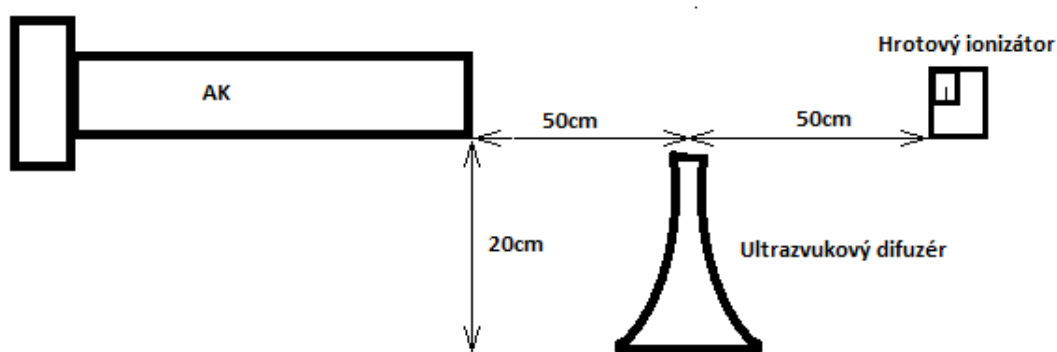


Graf č. 5.19 srovnání přirozené koncentrace iontů a koncentrace iontů po 4 h zapnutého difuzéru

Koncentrace před použitím ultrazvukového difuzéru byla 20 iontů/cm³. Při saturaci

po 4 hodinách působení difuzéru, se koncentrace zvýšila na 75 iontů/cm³. Koncentrace iontů vzrostla o 55 iontů/cm³. Takto malý vzrůst je zapříčiněn hlavně tím, že i když dojde k vyčištění vzduchu od ostatních aerosolových částic a snížení elektrostatického náboje podlahy, není zde elektrické pole, které se přirozeně vyskytuje ve venkovních prostorech, kde je potenciálový spád 110 až 130 V/m. Pokud v místnosti, kde není potenciálový spád vznikne kladný iont a volný elektron, je velká pravděpodobnost rekombinace kladného iontu a volného elektronu.

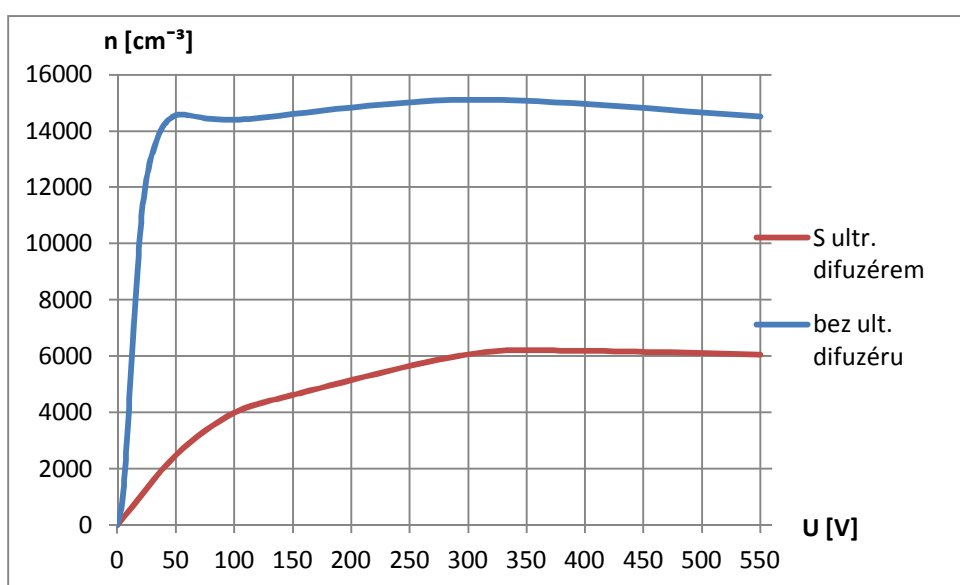
Obr. č. 5.9 znázorňuje rozmístění přístrojů, kdy byl sledován vliv aerosolových částic na proud iontů, který je vytvářen hrotovým ionizátorem. AK a Hrotový ionizátor byli na stejné úrovni a to ve výšce 80 cm. Ultrazvukový difuzér byl umístěn ve výšce 60 cm. Měření probíhalo v laboratoři T10-3.61.



Obr. č. 5.9 schéma rozmístění AK, ionizátoru a ult. difuzéru

Graf č 5.20 znázorňuje saturační křivku pro hrotový ionizátor, kdy první měření probíhalo bez použití ultrazvukového difuzéru a u druhého měření byl již ultrazvukový difuzér aktivní. K saturaci křivky bez ultrazvukového difuzéru došlo již při 50 V na AK. Všechny ionty vytvořené hrotovým ionizátorem se dají považovat za malé záporné ionty. Při zapnutí ultrazvukového difuzéru došlo k poklesu naměřené koncentrace iontů, kdy koncentrace poklesla z počátečních 14500 iontů/cm³ na koncentraci 6100 iontů/cm³. Tento úbytek mohl být zřejmě způsoben spojením neutrálních aerosolových

částic se zápornými ionty, které produkuje hrotový ionizátor. První část iontů, která se spojila do velkých shluků molekul podlehla gravitaci země nebo prošla AK, aniž by odevzdala svůj náboj. Druhá část iontů se také spojila s aerosolovými částicemi, avšak shluky molekul nebyly tak málo pohyblivé, aby podlehly gravitaci a mohly být přitaženy elektrickým polem v AK, kde odevzdaly svůj náboj. Třetí část iontů prošla bez toho, aniž by se spojila s aerosolovými částicemi. První část iontů byla zastoupena 8500 ionty/cm³. Druhá část iontů byla zastoupena 3500 iontů/cm³. Třetí část byla zastoupena 2500 ionty/cm³.



Graf č. 5.20 vliv aerosolových částic na saturační křivku hrotového ionizátoru

Z měření vyplývá, že ultrazvukový difuzér působí, jak pozitivně i když jen v malé míře tak i negativně na koncentrace iontů, ale vše závisí na tom kde a kdy bude využit. Ultrazvukový difuzér by se měl využívat tam, kde je koncentrace iontů na velmi malé úrovni a hlavně tam, kde je velký elektrostatický náboj, ať už vlivem podlahové krytiny, nebo třeba použitím nevhodného oblečení či obuví. Na druhé straně by se ultrazvukový difuzér neměl využívat tam, kde je koncentrace malých vzdušných iontů vysoká, v těchto případech by difuzér spíše působil nevhodně.

5.10 Koncentrace iontů v Císařské jeskyni

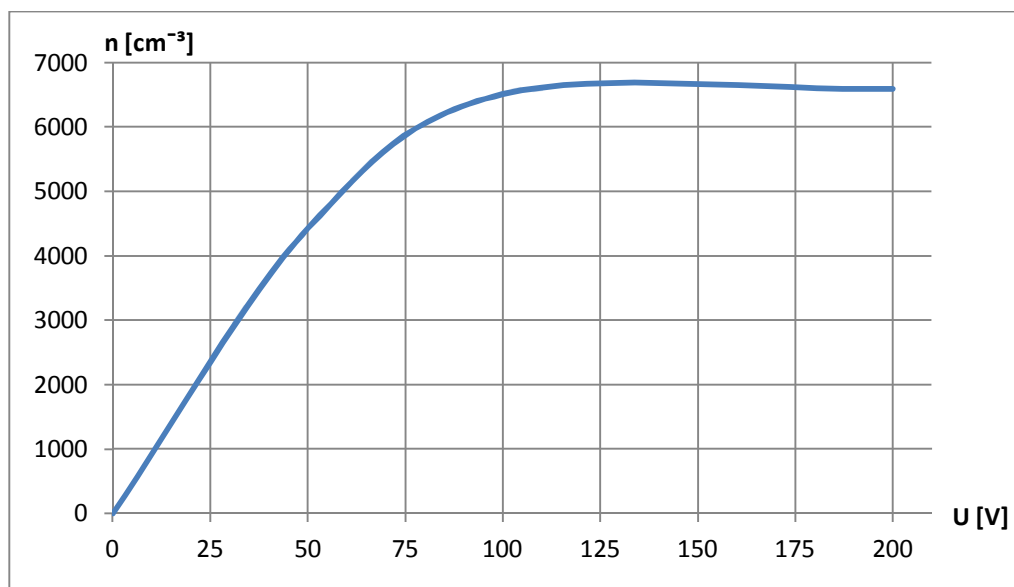
Císařská jeskyně leží v Ostrovském žlebu na severovýchodním okraji Ostrova u Macochy v Moravském krasu. První záznam pochází z roku 1748, kdy tam J. A. Nagel, prováděl průzkum. Roku 1804 získala jeskyně své jméno díky císaři Františku I. a císařovně Marii Terezii, kteří tuto jeskyni navštívili. Jeskyně několikrát změnila svůj název, až se vrátila k názvu Císařská. V roce 1997 byla jeskyně upravena pro speleoterapii. Jeskyně byla z větší části zatopena a i dnes je potřeba spodní vodu odčerpávat. Délka jeskyně je 250 m a je skoro 40 m pod povrchem krajiny. Jsou zde vybudovány betonové chodníčky, prostor pro spaní a prostor pro sportovní aktivitu. Takto upravené prostory jsou využívány pro speleoterapie, která funguje tak, že každý pracovní den pacienti navštěvují na 3,5 h jeskynní prostory, přičemž polovinu času stráví na lůžku odpočinkem a půlku času stráví tělesnou aktivitou pro zvýšení krevního průtoku. U speleoterapie se uvádí, že 34% pacientů nejméně rok nemusejí využívat žádné léky, tudíž se považují za vyléčené. Zhruba u 60% pacientů uvádí zlepšení zdravotního stavu a snížení používaných medikamentů o polovinu. Jeskyně má své specifické mikroklima, které napomáhá pacientům s respiračními poruchami a zároveň je příznivé pro vysoké koncentrace iontů.

Vysoké koncentrace iontů se zde vyskytují, protože povrch jeskyně je vodivý a zároveň disponuje záporným nábojem. V takovémto prostředí je většina kladných iontů přitahována k povrchu jeskyně, kde zanikají. Naopak záporné částice jsou od povrchu jeskyně odpuzovány. Významnou roli zde hraje radon 222, který dodává ionizační energii do systému. Radon jako takový, je inertní plyn s poločasem rozpadu 3,8 dnů. Radon zde vyvěrá přirozenou cestou. Vyvěrání radonu se může mírně lišit v závislosti na venkovním tlaku a teplotě. Koncentraci iontů prospívá i vysoká relativní vlhkost v jeskyních, která se zde pohybuje v rozmezí 90% - 98%. Takto vysoká relativní vlhkost má za následek takřka nulovou prašnost. Císařská jeskyně má ještě jednu výhodu, a to že má dva vstupy, přičemž jeden leží na úpatí svahu a druhý je "komín" vedoucí kolmo k povrchu země až na povrch. Dva vstupy jeskyně zastávají funkci přirozené ventilace, což zajišťuje dostatečný přívod kyslíku.

Samotné měření koncentrace iontů muselo proběhnout co nejrychleji, aby došlo k co nejmenšímu zkreslení naměřených hodnot. Při prvním měření v Císařské jeskyni v

roce 2011 se měření nezdařilo, protože prodleva mezi začátkem měření a vnesením přístrojů byla velká. Časová prodleva byla způsobena čekáním na získání přívodu 230 V. Při druhé návštěvě v roce 2013 byla celková doba měření zhruba 15 minut. Po dobu 15 minut byly změřeny 3 hodnoty koncentrace iontů- pro napětí na AK 50V, 100V a 200V. Hodnoty jsou vyneseny v grafu č. 5.21. Souběžně s měřením koncentrace probíhalo měření relativní vlhkosti, teploty a množství kyslíku O_2 . Relativní vlhkost zde byla 93,5%. Teplota v Císařské jeskyni byla 7,6 °C. Koncentrace O_2 zde byla 18,7%. Měření probíhalo ve výšce 80 cm od podlahy.

Saturační křivky viz graf č. 5.21 pro Císařskou jeskyni ukazuje, že k saturaci křivky došlo při 100 V na AK. Koncentrace malých záporných iontů zde byla 4400 iontů/cm³. K saturaci křivky došlo při 6500 iontů/cm³, z čehož plyne, že počet středně těžkých iontů zde byl zastoupen koncentrací 2100 iontů/cm³. Koncentrace lehkých záporných iontů zde převládá až dvojnásobně.



Graf č. 5.21 saturační křivka pro přirozenou koncentraci iontů v Císařské jeskyni

Relativní vlhkost, stabilní teplota, emanace radonu a vysoká koncentrace malých záporných iontů jsou faktory příznivě ovlivňující zdravotní stav pacientů, což je využíváno ve speleoterapii. Do jaké míry mají jednotlivé složky význam je jen těžko prokazatelné.

6 ZÁVĚR

Při měření ve Faradayově kleci na UTEE se ukázalo, že výsledná koncentrace iontů AK pana Ing. Buřivala a AK UTEE se lišily. Rozdíly naměřených koncentrací iontů nebyly nijak markantní a vždy se lišily jen v daném řádu. Koncentrace iontů změřené AK pana Ing. Buřivala vždy ukazovaly koncentraci iontů vyšší než AK vyrobený na UTEE. Porovnání měřených koncentrací proběhlo ještě před návštěvou pana Roubala v Praze, kde navštívil paní MUDr. Lajčíkovou, CSc. z Prahy, která se také zabývá měřeními vzdušných iontů. Při srovnání AK UTEE a AK paní MUDr. Lajčíkovou, CSc. se ukázalo, ona na měřila vyšší koncentrace než AK UTEE. Výsledky naznačují, že každý aspirační kondenzátor má jiné rozměry a z toho plynou jiné převodní konstanty. Mohou se tedy lišit i saturační křivky pro různé konstrukce AK, což je zřejmé už z teoretického úvodu. Pro měření koncentrace iontů nejsou stanoveny žádné postupy, směrnice nebo předpisy, v čemž vidím hlavní slabinu a rozdílnost výsledků měřených koncentrací. Na druhou stranu je nutné připomenout, že měření probíhá pro proudy v řádu pA, což je obtížné měření. Při porovnání výsledné koncentrace se výsledky vždy shodovaly v měřeném řádu, takže výsledné hodnoty koncentrací iontů jsou poměrně směrodatné. S tímto faktem je spojena i reprodukovatelnost měření.

Z měření ve Faradayově kleci na UTEE se ukázalo, že pro měření je výhodné používat proudění vzduchu, které odpovídá napájecímu napětí 12 V na použitém ventilátoru, tehdy docházelo k menšímu rozptylu naměřených hodnot. Menší rozptyl hodnot je způsoben snížením průtoku vzduchu, kdy při napájecím napětí 12 V na ventilátoru nedochází v takové míře k vířivému proudění, jako je tomu při napětí 15 V na ventilátoru. Při měření režimů u pA-metru Keithley 610C se ukázalo, že režimy Fast a Normal se od sebe nijak razantně nelišily. Při všech dalších měřeních byl využit režim Normal. Bylo to především proto, že pokud měření probíhalo v nestíněném prostoru, nedošlo vlivem rušení k velkým odchylkám, které by byly zaznamenány pokud by byl využit režim Fast.

Měření různých druhů iontů ukázalo, že pro vysoké koncentrace iontů není

nejdůležitější napětí na elektrodách, ale rozhodující je zde intenzita elektrického pole. Ionizátor hrotový, sloupový a plazmový pracují v oblasti temného výboje. Temný výboj nebo-li Townsendův výboj je samostatný výboj, který je charakteristický tím, že při něm nevzniká žádné světelné projevy, ale pouze určité akustické projevy, které byly v těchto případech dobře slyšitelné. Ledničkový ionizátor pracoval v oblasti korónového výboje. Při korónovém výboji je již viditelný i světelný projev. Nevýhoda korónového výboje je v tom, že při tomto druhu výboje již vzniká značné množství ozónu, který je pro lidský organismus nevhodný. Ze získaných poznatků vyplývá to, že pro domácí ionizátory by se měla intenzita elektrického pole nastavit tak, aby ionizátor pracoval v oblasti temného výboje, kdy nedochází k produkci ozónu, jehož koncentrace by překračovala hygienické normy. Měřené čtyři ionizátory mají jedno společné a to, že silně narušují elektrické pole v dané oblasti. Silné elektrické pole není pro lidský organismus vhodné, kdy s rostoucí frekvencí škodlivost elektrického pole vzrůstá. V pulzním režimu pracuje, jako jediný sloupový ionizátor, přičemž v režimu Med pracuje se střídou 1:1 a celková doba periody je 40 s. V režimu Low pracuje se střídou 1:5 a celá perioda má 100 s. Frekvence pro režim Medium je 25 mHz a 10 mHz pro režim Low.

Při měření koncentrace iontů u ultrazvukového difuzéru bylo zjištěno, že sám o sobě není schopen produkovat kladné ani záporné ionty. Je to již druhý ultrazvukový difuzér, u kterého se ukázalo, že není primárním zdrojem iontů. Ultrazvukový difuzér i přesto, že samotný není schopen produkovat ionty, přispívá ke zvýšení koncentraci iontů v interiérech, a to především tam, kde vznikají velké elektrostatické náboje. Ultrazvukový difuzér je schopen vytvářet aerosolovou "vodní mlhu", jejíž molekuly se dají považovat za kondenzační jádra, která nedisponují žádným nábojem. Taková kondenzační jádra mají schopnost na sebe vázat další částice včetně iontů. Z měření vyplývá, že ultrazvukový difuzér a ionizátor by neměl pracovat ve stejné místnosti.

Fén s ionizací se osvědčil jako dobrý nápad především tím, že sami uživatelé indikují rozdíl mezi fénem bez ionizace a s ionizací. Tento trend v péči o vlasy zajisté zůstane zachován a dá se předpokládat jeho další vzrůst.

Hlavními faktory, které ovlivňují koncentrace iontů v interiérech jsou použité materiály, elektrické pole, počet prachových částic a příkon ionizační energie v

místnosti.

Při 24 h ionizaci zasedací místnosti se povedlo zvýšit koncentraci z 20 iontů/cm³ na 450 iontů/cm³, což odpovídá koncentraci iontů ve venkovním městském prostředí. Koncentrace po vypnutí ionizátorů začala klesat a to po dobu zhruba 45 minut, kdy se dostala na svoji původní hladinu koncentrace. Značně podobný průběh koncentrace iontů se dá očekávat, pokud by do takto ionizované místnosti vstoupili lidé. Umělá ionizace zabrala více než 24 h pro vytvoření koncentrace 450 iontů/cm³, stejná koncentrace iontů se dá vytvořit zhruba 30 minutovým intenzivním větráním, pokud ve venkovních prostorech panují příznivé podmínky.

Měření v Císařské jeskyni prokázalo, že se zde vyskytuje velké množství malých záporných iontů a to až 4500 iontů/cm³. Při rozhovoru s primářem Slavíkem vyšlo najevo, že mají velmi dobré výsledky, co se týče vlivu speleoterapie na pacienty, kteří jsou zde zastoupeni výhradně dětmi od 4 do 18 let. Zarážející je to, že i když má speleoterapie velmi dobré výsledky, pacientů zde ubývá.

LITERATURA

- [1] JIRKA, Z. Speleoterapie: principy a zkušenosti. 1st ed. Olomouc : Univerzita Palackého, 2001. ISBN 80-244-0346-3.
- [2] SPURNÝ, Z. Atmosférická ionizace. 1st ed. Praha: Academia, 1985. ISBN TK-0226.378.
- [3] BĚHOUNEK, F. Atmosférická elektřina. Praha: Elektrotechnický svaz Československý, 1936. ISBN PK-II-0016.141.
- [4] DUFKA, J. Větrání a klimatizace domů a bytů. 2nd ed. Praha: Array, 2005. ISBN 80-247-1144-3.
- [5] Buřival, Z. BIOKLIMATICKÉ PROSTŘEDÍ BUDOV, 2000. UMAD.
http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/A_26.pdf (accessed Nov 17, 2010).
- [6] Bartušek, K. Měření spektrálních charakteristik iontových polí, 2001. elektrorevue.
<http://www.elektrorevue.cz/clanky/01038/index.htm> (accessed Dec 08, 2010).
- [7] Bartušek, K.; Fiala, P.; Jirků, T.; Kadlecová, E. Experiments of Accuracy Air Ion Field Measurement, 2008. Progress In Electromagnetics Research Symposium.
<http://www.piers.org/piersonline/download.php?file=MDcwNDE4MTAzNzUzfFZvbDNObzhQYWdlMTMzMHRvMTMzMzMy5wZGY=> (accessed Nov 14, 2010).
- [8] Lazorka, M. Měření vlastností vzdušných iontů – bakalářská práce. Brno, 2011. 55s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Špinka. FEKT VUT v Brně
- [9] Stručné základy TEORIE BOUREK, 2004. Virtuální trpaslík.
<http://www.astronomie.cz/download/strucne-zaklady-teorie-bourek.pdf> (accessed Oct 27, 2010).
- [10] Přehled elektromagnetického záření, 2007. FyzWeb.
<http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=109> (accessed Oct 11, 2010).
- [11] JELÍNEK, A.; DEDINA, M.; DOLEJŠ, J.; TOUFAR, O. Zpráva pro jednání technické pracovní skupiny (TPS) v Seville o nových snižujících technologiích ověřených v ČR pro intenzivní chovy hospodářských zvířat, 2007. Eagri.
http://eagri.cz/public/web/pub/b2/9/32/32404_24838_StudieBATproSevilla.pdf (accessed July 10, 2010).
- [12] Syndrom nemocných budov, 2007. Zelené úřadování.
<http://zeleneuradovani.cz/content/File/sbs.pdf> (accessed Oct 09, 2010).
- [13] Jokl, M. MIKROKLIMA V INTERIÉRU BUDOV S RŮZNOU MATERIÁLNĚ-TECHNICKOU ZÁKLADNOU, 2009. HELUZ.
http://www.heluz.sk/pdf/clanky/mikroklima_jokl.pdf (accessed Oct 19, 2010).
- [14] Zoltán, S. Jaderná energetika v pracích mladé generace, 2006. Český svaz vědecko technických společností. <http://www.csvts.cz/cns/mikulas/sborniky/2006.pdf> (accessed Oct 29, 2010).
- [15] Dolejší, J. STUDIE Snížení produkce amoniaku ionizací vzduchu při výkrmu prasat, 2008.

- Eagri. http://eagri.cz/public/web/file/32383/Studie_IONIZACE_MZe.doc (accessed Jan 12, 2010).
- [16] Orr, D. Elektrická pole, 2002. skola.jozjan. http://skola.jozjan.net/eko/Prednaska7_8.doc (accessed Sept 10, 2010).
- [17] PONČÍK, V. Sledování koncentrace vzdušných iontů, 2008. Vysoké učení technické v Brně. https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp_id=23833&fid=5&rok=&typ=1&jazyk=&text=iont&hl_klic_slova=1&hl_abstrakt=0&hl_nazev=0&hl_autor=0&str=1 (accessed Nov 18, 2010).
- [18] Bálek, R. Iondop, 2007. Aldebaran. <http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/> (accessed Nov 23, 2010).
- [19] Buřival, Z. BIOKLIMATICKÉ PROSTŘEDÍ BUDOV, 2000. UMAD. http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/A_26.pdf (accessed Nov 17, 2010).
- [20] Knoblochová, A. Čističky vzduchu - důležité informace, 2004. Čistý vzduch. <http://www.cistylvzduch.cz/cisticky-vzduchu-informace/> (accessed Feb 23, 2011).
- [21] BUŘIVAL, Z. osobní sdělení, Problematika měření vzdušných iontů. 2013,
- [22] ROUBAL, Z. osobní sdělení, Výpočet mezní pohyblivosti iontů. 2011
- [23] Čistička vzduchu. kasa. <http://www.kasa.cz/cisticka-vzduchu-ionic-care-triton-x6-perlet-bila-bila/> (accessed April 20, 2013).
- [24] Burbaki, N. Elektrické výboje v plynech, 2005. PowerWiki. http://www.powerwiki.cz/wiki/OOEEE_Vyboje (accessed Feb 10, 2013).
- [25] Ionic-CARE XJ-100 ionizační čistič a osvěžovač pro lednice. globalcare. <http://www.globalcare.cz/p/ionic-care-xj-100-ionizacni-cistic-a-osvezovac-pro-lednice-211> (accessed May 20, 2013).
- [26] STEBA. <http://www.steba.cz/zvlhcovace-vzduchu/52-zvlhcovac-vzduchu-steba-lb-5> (accessed May 11, 2013).

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AK	aspirační kondenzátor
$UTEE$	ústav teoretické a experimentální elektrotechniky
C	[F] kapacita
e	[C] jednotkový náboj $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C
E_{AK}	[V.cm ⁻¹] intenzita el. pole uvnitř válcového aspiračního kondenzátoru
$f(k)$	[-] spektrální funkce iontů
i	[A] Elektrický proud
i_s	[A] Saturační proud
K	[cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹] pohyblivost iontu
k_m	[cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹] mezní (kritická) pohyblivost iontů
l	[cm] délka vnitřní elektrody potažmo celého AK
M	[cm ³ .s ⁻¹] objemová rychlost vzduchu AK
n	[cm ⁻³] koncentrace iontů
n_+	[cm ⁻³] koncentrace kladných iontů
n_-	[cm ⁻³] koncentrace záporných iontů
p_u	[-] koeficient unipolarity iontů
r	[cm] poloměr vnitřní elektrody
t	[s] čas
U	[V] napětí
S	[cm ²] plocha
w	[kJ/mol] ionizační energie
m	[kg] hmotnost
v	[m/s] rychlost
λ	[m] vlnová délka
C_v	[m/s] rychlost světla $C_v = 299\,792\,458$ m/s

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I.	měřicí program VEE pro
Příloha II.	naměřené hodnoty ve formátu .xls

