

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ VZDUŠNÝCH IONTŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

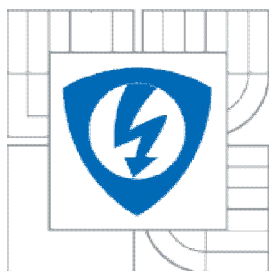
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN LAZORKA

BRNO 2011



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**

MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ VZDUŠNÝCH IONTŮ

AIR ION MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN LAZORKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ ŠPINKA

BRNO 2011

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Martin Lazorka
Bytem: Hustopeče, Okružní 7, 69301
Narozen/a (datum a místo): 17.6.1988, Hustopeče

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Jirí Háze, Ph.D.

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Měření vlastností vzdušných iontů
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jirí Špinka
Ústav: Ústav elektrotechnologií
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 2. 6. 2011

.....
Nabyvatel

.....
Autor

MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ VZDUŠNÝCH IONTŮ

Abstrakt:

Práce se zaměřuje na základní problematiku iontů, na proces ionizace a vliv iontů na organismy. Dále se zabývá kompenzací malých záporných iontů v pobytovém prostředí. Seznamuje s měřením koncentrace vzdušných iontů, především na měření pomocí aspiračního kondenzátoru, který se dnes nejčastěji pro měření iontových polí využívá. Měření se soustředí na koncentrace vzdušných iontů v budově VUT FEKT T-10, dále na změny koncentrace v závislosti na denním cyklu, větrání a koncentrace před výukou a po výuce.

Abstract:

This thesis focuses on the basic problems of ions and the ionization itself, what influence ions have to the organism. Further it examines compensation of small negative ions in the residential environment. Introduction to measurement of ion concentrations. First measurements with the aspiration capacitor which is now the most commonly used measurement of ion fields. Measurement is focused on the concentration of air ions in the building, VUT FEKT T-10, then the concentration changes depending on the daily cycle, ventilation and concentration before teaching and after teaching.

Klíčová slova:

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

Keywords:

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

Bibliografická citace díla:

Lazorka, M. *Měření vlastností vzdušných iontů* – bakalářská práce. Brno, 2011. 55s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Špinka. FEKT VUT v Brně

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. 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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 12. 12. 2010

.....

Martin Lazorka

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Špinkovi za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na bakalářskou práci. Za jeho trpělivost a vstřícný přístup při řešení problémů. Dále bych rád poděkoval Ing. Z. Buřivalovi, CSc. a Ing. Z. Roubalovi za ústní konzultace a objasnění některých nesrovnalostí v dané problematice.

Obsah

Úvod	6
1. Ionizace	7
2. Ionizační energie.....	9
3. Vliv meteorologických faktorů na koncentraci iontů v ovzduší	13
3.1. Kolísání koncentrace lehkých iontů ve venkovním ovzduší	14
4. Rozdělení iontů.....	15
5. Biologické účinky iontů.....	18
5.1. Mechanismus působení iontů na lidský organismus	19
5.2. Vliv ionizace vzduchu na organismy	20
6. Ionizátory	21
7. Faktory ovlivňující koncentraci vzdušných iontů v budovách.....	22
7.1 Vliv stavebních konstrukcí na koncentrace lehkých záporných iontů v interiéru.....	22
7.2. Vliv permitivity a povrchového odporu na koncentrace vzdušných iontů	23
8. Měření elektroiontového mikroklimatu	26
9. Postup měření elektroiontového mikroklimatu	33
9.1. Postup měření.....	33
9.2. Nejistoty typu B	35
9.3. Parametry aspiračního kondenzátoru	37
10. Vlastní měření	39
10.1. Závislost koncentrace vzdušných iontů na průběhu větrání místnosti.....	39
10.2. Změna koncentrace v závislosti na denním cyklu	41
10.3. Zjištěná koncentrace iontů před výukou a po výuce.....	43
10.4. Naměřené saturační křivky pro chodby, schodiště, vstupní halu a prostor u bufetu v budově T – 10.....	45
Závěr.....	49
Použitá literatura	51
Seznam použitých symbolů a značek.....	53
Seznam příloh	54
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek	55

Úvod

Problematika vzdušných iontů je aktuální téma. Touto problematikou se zabývají vědci už od poloviny 19 století. Bylo zjištěno, že absolutně čisté prostředí je pro lidský organizmus nevyhovující. Ionty nesporně ovlivňují zdraví člověka, a také přispívají k lepší náladě. Zatím nebylo objasněno, jakým mechanismem ionty působí na organizmus. Pro koncentrace vzdušných iontů nebyly dosud stanoveny žádné normy, které by stanovovaly koncentrace a ani postup měření, aby bylo možno reprodukovat změřené výsledky. Funkce vzdušných iontů nespočívá jen v ovlivňování zdraví člověka, ale i v čištění vzduchu, kdy se na nabitě částice váží částice aerosolu, které potom podléhají gravitaci nebo se deponují na jiné povrchy a tak nedojde k jejich vdechnutí. Nejběžnější využití malých záporných iontů je ve speleoterapiích, kde se přirozeně vyskytují ve velkých množstvích. Tyto léčebné procedury jsou vhodné pro pacienty s dýchacími problémy, konkrétně pro astmatiky a alergiky. Vzdušné ionty se využívají v laboratořích pro zvýšení vodivosti vzduchu a to tam, kde je nežádoucí elektrostatický náboj, který může zničit citlivé součástky.

Práce je zaměřena na měření koncentrací vzdušných iontů, především na měření pomocí aspiračního kondenzátoru, a to proto, že tato metoda dovoluje měřit různé koncentrace iontů s různou pohyblivostí. Ostatní metody tohoto nejsou schopny. Vzhledem k tomu, že největší vliv na organizmy mají právě malé záporné ionty s velkou pohyblivostí, je tato metoda nejvhodnější.

1. Ionizace

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 (clusters), 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 k 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.

Aby se z neutrální molekuly plynu mohl uvolnit jeden elektron, musí být její elektronové sféře dodána jistá energie, která je označována jako ionizační energie I . Určitou silou se překonává elektrostatická síla mezi kladně nabitým jádrem a elektronem. Pro ionizaci kyslíku je nutno dodat energii $I = 12,1\text{eV}$. Pro ionizaci dusíku je to $I = 15,5\text{eV}$. 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 $W = 34\text{eV}$. 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 to 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.

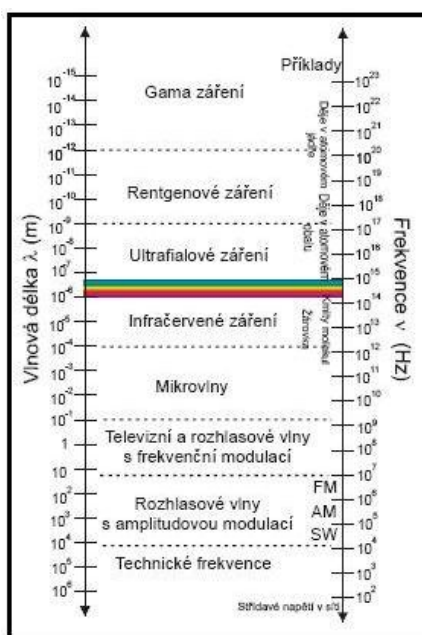
Při disociaci se molekula rozpadá na dvě i více elektricky neutrálních částic, nazývaných volnými radikály. Radikály jsou díky svému nepárovému elektronu velmi reaktivní a zúčastňují se reakcí v chemickém stádiu účinkového řetězce. Radikály jsou těžce detekovatelné, a to jednak pro jejich krátkou dobu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

2. Ionizační energie

Hlavní podíl na ionizaci vzduchu má kosmické záření a přirozená radiace země, až 95%. Ionizační energie může být atomům a molekulám dodána těmito způsoby:

Působení elektromagnetického záření

Mezi ionizační záření patří elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší než UV-C ($\lambda=280\text{nm}$), tj. rentgenové záření, γ záření a kosmické záření. Tato záření jsou významná, protože dobře reagují s hmotou. Jiné vlnové délky mají z tohoto hlediska význam menší až zanedbatelný. Důkaz tohoto záření 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.



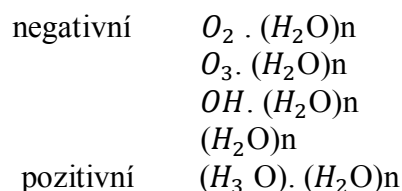
Obr. 2.1 Rozdělení vlnového a frekvenčního spektra[7]

Roztříštění vody (Lenardův efekt)

Při prudkém nárazu vodní kapky na překážku dochází k jejich rozprašování a tříštění. Část molekul vody odtrhnutých z povrchu vody nese záporný náboj, větší kapky nebo celá hmota vody se stává kladnou. Rozprašováním vody je vnášen do vzduchu záporný prostorový náboj. Tento záporně nabitý aerosol obohacuje vzduch zápornými ionty. Největší množství záporných iontů vzniká při rozprašování destilované vody a naopak, s rostoucí koncentrací elektrolytů množství klesá. Tento poznatek je důležitý při tvorbě ionizačních zařízení. [13]

Působením elektrického pole

Zeměkoule je svým způsobem velký kulový kondenzátor, jehož vnitřní elektrodou je vodivý povrch země. Povrch země má negativní náboj o velikosti $0,5 \cdot 10^6 \text{C}$. Druhá elektroda je tvořena ionosférou, která disponuje relativně vysokou vodivostí, protože je silně ionizovaná. Mezi povrchem země a ionosférou je potenciálový spád cca $0,4 \text{MV}$. Za běžných podmínek (pěkného počasí) je to asi $120 - 130 \text{V.m}^{-1}$ v malé nadmořské výšce, s rostoucí nadmořskou výškou stoupá toto napětí až na 200V.m^{-1} . V blízkosti země dochází k urychlení již existujících vzdušných iontů a to do takové míry, že jejich kinetická energie je natolik velká, aby při neelastické srážce s neutrální molekulou vzduchu docházelo k nárazové ionizaci. Dusík je v atmosféře zastoupen 78% a kyslík jen 21%, je tedy asi čtyřikrát větší pravděpodobnost ionizace dusíku. Tímto způsobem vzniká kladný ion dusíku a volný elektron, který se přednostně váže na molekuly kyslíku a vody. Jejich nejčastější podoba je následující:



Tento proces probíhá v čase řádově 10^{-6}s . Srážky s molekulami neutrálních plynů za normálních teplot neovlivňují existenci iontů. Pokud však dojde ke srážce dvou odlišně nabitých iontů, dochází z velké pravděpodobnosti ke vzniku neutrálních molekul (rekombinaci). [10]

Rogerův efekt

Prudké víření pevných částic prachu, písku či krystalků ledu obsažených ve vzduchu způsobuje také určitou ionizaci vzduchu. [16]

Ionizace elektrickým výbojem

Elektrické výboje se částečně podílejí na ionizaci ovzduší. Při průchodu výboje vzduchem dochází podél jeho dráhy k primární i sekundární ionizaci. Primární ionizace probíhá uvnitř kanálu výboje vlivem intenzivního elektrického proudu. Sekundární ionizace, která je vyvolaná elektromagnetickým zářením, především tvrdým UV zářením. Každou sekundu proběhne v zemské atmosféře průměrně 117 výbojů, tedy $3,69 \cdot 10^9$ výbojů za rok. Přínos tohoto zdroje, není nijak významný, neboť si musíme uvědomit, že objem, který je tímto způsobem ionizován, je velmi malý. Pro přiblížení si lze představit typicky válec o délce 0,5 – 2 km, i s množstvím rozvětvených kanálů o průměru několik milimetrů až centimetrů, pro sekundární ionizaci až několik decimetrů.[6]

Ionizace plamenem

Sám osobě je plamen 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]

Ionizace radioaktivními částicemi α a β

Tyto částice jsou vysoko energetickými částicemi, které mají kinetickou energii až několik MeV, její dosah v atmosféře je okolo 10cm, přičemž záření 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 nejvíce přispívá k ionizaci atmosféry. [2]

3. Vliv meteorologických faktorů na koncentraci iontů v ovzduší

Atmosférický tlak má na množství záporných iontů vliv. Při poklesu tlaku počet lehkých záporných iontů vzrůstá. Pokud tlak naopak roste, počet lehkých záporných iontů klesá. Ten to jev je vysvětlován zvýšením proudění plynů ze zemského nitra, zvyšuje se emance radioaktivních látek. To vede ke zvýšené produkci iontových párů. Pokles tlaku je často provázen srážkami, déšť má za následek čištění vzduchu. Padající voda má tu vlastnost, že na sebe dokáže vázat aerosolové nečistoty, které často vedou k vytvoření velkých iontů. Částečnou roli tu zde hraje Lenardův efekt a také to, že se srážkami, se silně vzrůstá relativní vzdušná vlhkost. Na druhou stranu mají srážky také negativní vliv na iontové klima. Vrstva vody, která dopadne na zem, zabraňuje úniku radioaktivních emanací z nitra země. Pospádu deště a sněhu klesne obsah iontů v ovzduší. Při bouřce dochází k tomu, že mraky mají zápornější náboj, než země z toho plyne, že záporné ionty jsou odpuzovány elektrostatickou silou k povrchu Země.

Dalším důležitým faktorem, který má vliv na počet malých iontů, je teplota prostředí. Měřením bylo zjištěno, že ze stoupající teplotou roste počet malých iontů.

Vlhkost je dalším faktorem, který ovlivňuje počet malých záporných iontů. Vzdušná vlhkost je definovaná jako množství vodních par ve vzduchu. Tyto atomy vody se spojují s malými ionty a vznikají ionty střední a velké. To znamená, že se vzrůstající vlhkostí klesá počet malých iontů. V letních obdobích, za teplého počasí, začíná koncentrace lehkých iontů klesat, za předpokladu, že relativní vlhkost přesáhne hranici 70%. [9]

Posledním meteorologickým faktorem je proudění vzduchu. Proudění ovlivňuje elektrické poměry v ovzduší v určitých oblastech. Prouděním se přemisťuje masa vzduchu ze vzdálených oblastí, případně ze spodních vrstev atmosféry do velkých výšek. Vane-li vítr z pevniny, počty malých iontů vstoupají, pokud však vítr vane z moře a oceánů, počty iontů klesají. Hlavní příčinou je opět vlhkost vzduchu, která je nad mořskou, či oceánskou hladinou mnohem vyšší. I rychlost proudění zde hraje svoji roli. Při rychlosti větru nad 5 m/s se začíná zvedat kladně nabitý prach který, se váže s malými ionty. [3]

3.1. Kolísání koncentrace lehkých iontů ve venkovním ovzduší

Během dne, měsíce či roku dochází k periodickému kolísání koncentrace malých vzdušných iontů na všech místech na zemi. Maxima obou polarit byla naměřena v 6:00 ráno a minima v 12:00 až 14:00. Pro roční kolísání byla zjištěna maxima zpravidla v období místního léta, tj. u nás v červnu a červenci. Minima pak v období místní zimy, u nás v prosinci a lednu. Zimní minima mohou být způsobena spalováním nekvalitních paliv a to především na vesnicích, což způsobuje zánik malých vzdušných iontů. U silně znečištěného ovzduší se rozdíly mezi maximy a minimy denního a ročního kolísání koncentrace iontů ztrácí a kolísání je zde nepatrné. Vliv na koncentraci vzdušných iontů má také měsíc. Maxima byla naměřena vždy v období úplňku. Příčina těchto měsíčních kolísání není dosud jednoznačně vysvětlena. [9]

4. Rozdělení iontů

Ionty lze dělit podle polarity na kladné a záporné. Kladným iontům jeden elektron z valenční vrstvy chybí zatím co 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 $[cm^2.V^{-1}.s^{-1}]$, zároveň udává rychlost v poli jednotkové intenzity. Koncentrace iontů v jednotce objemu plynu udává polární vodivost plynů podle vztahu.

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

n = počet iontů v cm^3 $[cm^3]$

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

e = jednotkový elementární náboj $[C]$

Nejnámější rozdělení je podle dvou na sobě nezávisle pracujících vědců a to U. Hörraka H. Israël zabývající se problematikou vzdušných iontů. Dali konečnou podobu rozdělení iontů v závislosti na zmiňované pohyblivosti a atomovém poloměru; (v tab. 1., 2., a dále uváděn průměr d). [10]

Druh iontů	$k [cm^2.V^{-1}.s^{-1}]$	$d [nm]$
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. 4.1 Rozdělení iontů dle U. Hörraka [5]

Druh iontů	$k [cm^2.V^{-1}.s^{-1}]$	$d [nm]$
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. 4.2 Rozdělení iontů dle H. Israëla [5]

Touto problematikou se zabývali i další vědci, přičemž každý z nich uvádí toto rozdělení odlišně, to dokazuje tabulka 4.3

Ionty	lehké ($\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	střední ($\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	těžké ($\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
Cefras	1,0 - 1,5	-	-
Čiževskij	1,0 - 2,0	0,01 (Polock)	0,0001 (Langevin)
Grandjean	0,5 - 2,0	0,001 - 0,1	menší než 0,001
Kähler	1,0 - 2,0	0,01 (Polock)	
Langevin	-	-	0,0001
Minch	1,0 - 2,0	0,001 - 1,0	0,00025 - 0,001
Polock	-	0,01	-
Rejnet	0,5 - nekonečno 0,05 - nekonečno**	0,005 - 0,5	0,00 - 0,005 0,00 - 0,0005***
Spurný	0,5	0,01	0,0001****

* rozměr pohyblivosti ($\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) je dán definicí:
rychlost pohybu iontu ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) v elektrostatickém poli o intenzitě 1 ($\text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$),
tj. ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1} / \text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$)

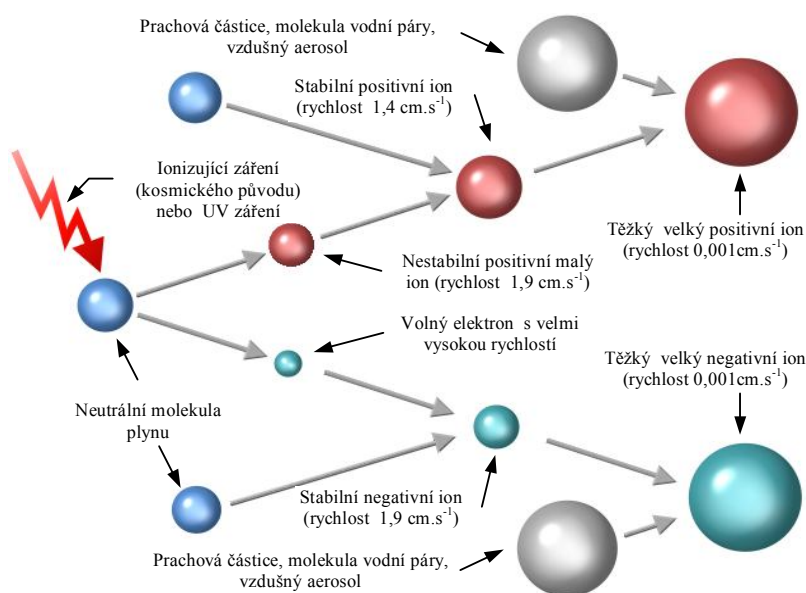
** rozšířená oblast lehkých iontů

*** ultratěžké ionty

**** střední hodnoty

Tab. 4.3 Rozdělení vzdušných iontů dle Cefrase, Čiževskijho a dalších [10]

Typická hodnota pohyblivosti pro záporné lehké ionty je v rozmezí $(1 \div 3) \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ s průměrem $d \leq 1,32 \text{ nm}$. 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 velikosti 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 ve neznečištěném okolním prostředí a z tohoto důvodu jsou pak vhodné pro navrhované moderní pobytové prostory. Skupina *Langevinových iontů* se vyznačuje pohyblivostí kolem $(1 \div 3) \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ a iontovým průměrem v rozmezí $(50 \div 144) \text{ nm}$.



Obr. 4.1 Schéma vzniku ionizovaných částic.[14]

Poslední skupinou jsou *těžké*, resp. *ultra těžké ionty*. Ty vznikají spojením nečistot v podobě mikroskopického aerosolu či prachových částíček, 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 molekulami a hodí se tak 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

$$P = \frac{n^+}{n^-} \quad (2)$$

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. [2]

5. Biologické účinky iontů

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

- a) Vliv na dýchací ústrojí – vysoká koncentrace lehkých záporných iontů dělá vzduch dýchatelnějším (vzduch se nám zdá lehký příjemný) nasávaný 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 periferii 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, velmi silný a mnohostranný nervový hormon, ovlivňující imunitní systém a metabolické jevy v celém organismu. Zvláště se soustřeďuje na přenos nervových impulsů a je ve značném množství ve spodním mozku, kde hraje důležitou roli při tvorbě spánku a celkové nálady člověka (Krueger, Reed 1976). Vysoká hladina serotoninu vyvolává tachykardii, drážděním hladkých svalů vyvolává zvýšení krevního tlaku, křeče, průdušky vedoucí až k astmatickému záchvatu, zvýšení střevní peristaltiky, zvýšení bolestivosti popálených tkání a zvýšenou agresivitu (Krüger et al. 1963).
- e) Vliv na tělní pokožku – záporné ionty příznivě ovlivňují krevní kožní cirkulaci, a tak snižují povrchovou tělesnou teplotu, je i menší náchylnost kůže i organismu k sekundárním infekcím. [8]

5.1. Mechanismus působení iontů na lidský organismus

Není dosud přesně objasněno, jakým mechanismem působí ionty na lidský organismus. Je několik teorií. Vycházejí z dlouholetých lékařských a hygienických výzkumů prováděných na celém světě. Následující hypotézy jsou především pro 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 (=difuze) do krve, jíž 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 plyne 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.[15]

5.2. Vliv ionizace vzduchu na organismy

Z účinků, které jsou známy 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. [10]

Další pokusy se provádí především na chovném dobytku. Např. prasata ve výkrmu během experimentu trvajícím 126 dní měli větší přírůstek živé hmotnosti o 1,8%. Prasnice 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 ve snížení spotřeby léků na odchované sele o 24% a u prasníc 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%. [12]

6. Ionizátory

Ionizátory se dělí podle způsobu provádění ionizace. 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 i fontány.

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, tento 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 lana s hroty, lano je 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, v hospodářství k ionizaci vzduchu pro stáje, je určen pro velké plochy. Nevýhoda tohoto systému spočívá v tom, že zároveň vytváří škodlivý ozón a oxidy dusíku, a také vytváří elektromagnetické pulsní pole. [9]

Ionizátory s korónovým výbojem: Zdrojem je korónový výboj, který vzniká u dvou elektrod s rozdílnými rozměry. Nejčastěji je konstruován, jako jehla nebo uhlíkové vlákno. Výhoda je, že zde vznikají, pouze stopová množství ozónu a oxidu dusíku. Problém je s údržbou, hlavně u hrotové konstrukce. Hrot se zanáší nečistotami z ovzduší a časem se tupí, tím klesá produkce iontů. Proto se používá konstrukce s tenkými drátky. [9]

Ultrafialové ionizátory: Zdrojem je rtuťová výbojka. Krom toho obsahuje i selektivní elektrodu a ventilátor pro šíření iontů. Tyto ionizátory mají sice velký výkon, ale zároveň produkují UV záření, ozón a oxidy dusíku. [12]

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. [12]

7. Faktory ovlivňující koncentraci vzdušných iontů v budovách

Koncentrace vzdušných iontů v budovách je ovlivněna mnoha faktory zejména koncentrace iontů ve vnějším prostředí, která je ovlivněna meteorologickými vlivy a obecnou čistotou vzduchu. Čistota vzduchu se se změnou lokality mění, což dokazuje Tab. 7.1

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. 7.1 Koncentrace vzdušných iontů v závislosti na místě[17]

V interiérových oblastech je koncentrace ovlivněna použitými materiály, bytovými doplňky, vzduchotechnikou a vlivem chování člověka. Ze stavebního hlediska jsou, nejvíce zásadní využití stavební materiály a způsob cirkulace vzduchu.[17]

7.1 Vliv stavebních konstrukcí na koncentrace lehkých záporných iontů v interiéru

Elektrické pole v interiéru je značně ovlivněno typem stavební konstrukce. Tradiční cihlové zdivo a dřevěné konstrukce mají na dobu života iontů, příznivý dopad. Vně takové stavby má zdivo stejný elektrický náboj jako Země, tedy záporný. Z toho plyne, že se záporně nabití ionty 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 má 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. [10]

7.2. Vliv permitivity a povrchového odporu na koncentrace vzdušných 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 větší a pravděpodobnost zániku iontů, se zvyšuje. Tato plocha může být extrémní tehdy, pokud je povrch porézní. Zánik iontů jedné polaritě je větší na površích opačně nabitých.

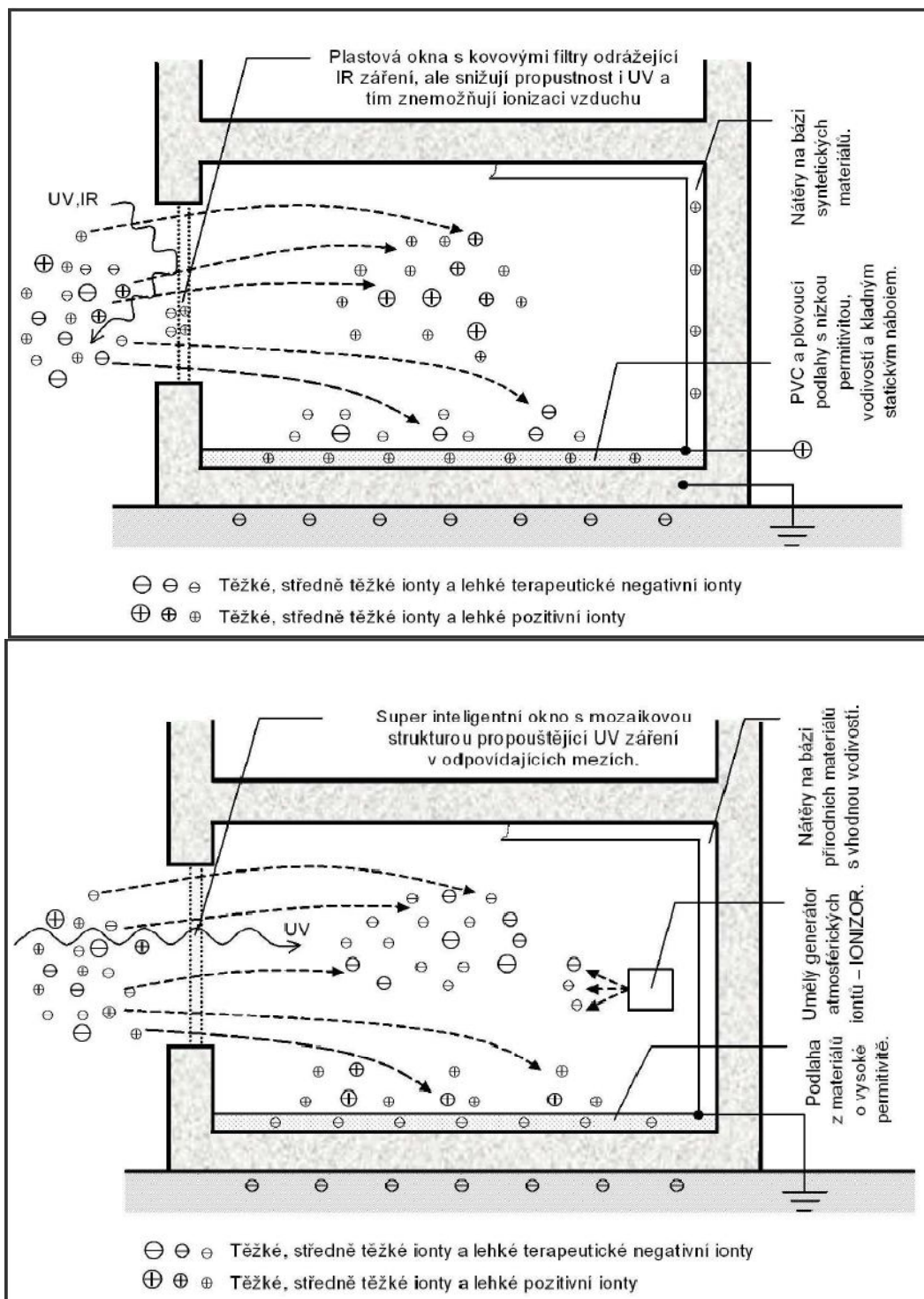
Třeme-li o sebe dva dielektrické materiály s rozdílnou permitivitou, pak materiál o vyšší permitivitě se nabíjí kladně a materiál o nižší permitivitě se nabíjí záporně. Dielektrické materiály s nízkou permitivitou mají zpravidla vysoký povrchový odpor (např. polyetylén má permitivitu 2,2 až 2,5 s povrchový 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 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 polaritě z okolí. O výskytu a udržení náboje rozhoduje povrchový odpor objektu, možnost svodu náboje do země a intenzita tvorby elektrického náboje.

Relativní permitivita prostředí poskytuje obraz o iontovém poli v uzavřených interiérech. Z teorie vyplývá, to že pokud chceme dosáhnout příznivého elektroiontového klimatu, je nutné místnost vybavit materiály o vysoké permitivitě viz. Tab. 7.2

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. 7.2 Hodnoty relativní permitivity u vybraných látek[9]

Při použití umělých materiálů s nízkou permitivitou menší než 5, jako jsou podlahové krytiny z PVC a polyetylen, 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 se tyto materiály nabíjejí a vytváří se na nich silné elektrostatické pole. Ten to elektrostatický náboj se ještě zvětšuje pohybem a třením při chůzi osob nebo při pohybu prachových částic po podlaze. [5]



Obr. 7.1 Nevhodné a správné řešení pobytových prostor s ohledem na elektroiontové mikroklima[5]

Pohyb iontů je zobrazen na obr. 7.1 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. [9]

8. 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. [10]

Optoelektronická diferenční metoda

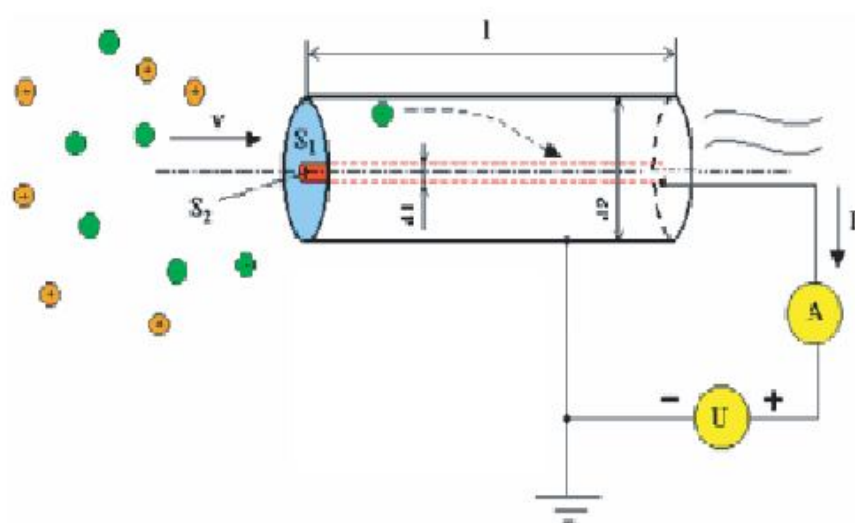
Měření spočívá ve srovnání dvou měření odrazivosti provedených následně za sebou. Měří se odraz od měděné koule, na kterou dopadá zdroj bodového světla. Jako první se změří intenzita odraženého světla bez iontů, kdy na měděnou kouli není přiveden žádný náboj. V druhém měření se na kouli přivede náboj, 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. [11]

Měření aspiračním kondenzátorem

Dnes se nejčastěji využívá právě tato metoda a to především proto, že můžeme měřit koncentrace lehkých, středních a těžkých iontů a také jejich polaritu. Metoda využívá proměnné 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 polarizační napětí U (proměnné od 0 do 500 V). Elektrické pole působí na vzdušné ionty, a ty budou 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

$$n = \frac{1}{M \cdot e} \cdot (1 - U \cdot \frac{dI}{dU}) \quad (3)$$

$$M = (S_1 - S_2) \cdot v \quad (4)$$



Obr. 8.1 Princip měření s aspiračním kondenzátorem[2]

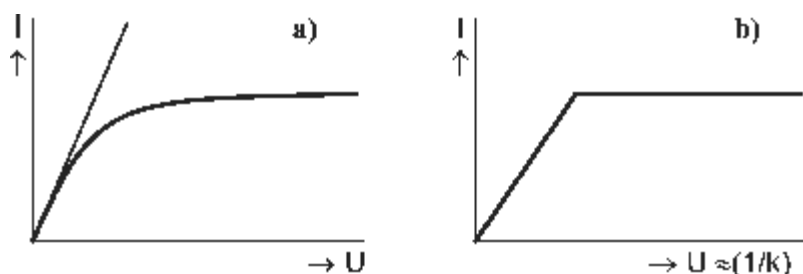
Pro saturovanou oblast saturační charakteristiky bude výraz dI/dU nulový a měřená koncentrace iontů všech pohyblivostí bude úměrná měřenému proudu $n=I/M \cdot e$. Kolektor kondenzátoru nebude sbírat ionty s nižší pohyblivostí než je minimální pohyblivost daná vztahem. [4]

$$k_m = \frac{M \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot U} = \frac{M}{4 \cdot \pi \cdot C \cdot U} \quad (5)$$

Měření pomocí aspiračního kondenzátoru

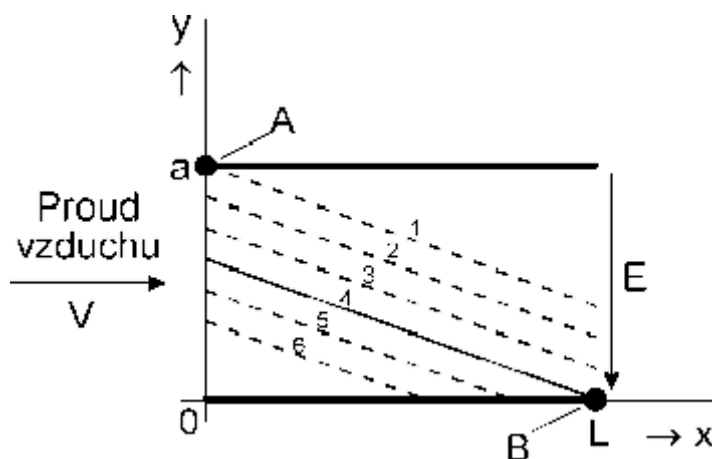
Hlavní výhoda aspirační metody, je v A–V charakteristice, která je na obr. 8.2 b) Charakteristika získaná rozptylovou metodou v klidném prostředí má průběh na obr. 8.2 b) Přechod z ohmického sklonu přes polonasycený k saturaci je u této soustavy zakulacený. K určení vodivosti musíme znát sklon charakteristiky v oblasti ohmického proudu. U rozptylové soustavy je ohmický proud pouze v oblasti nulového napětí při měření ve statickém vzduchu. Již při malých napětích je patrný ohyb charakteristiky. Přesná hodnota

nelze 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. 8.2 b) Je nutno dodat, že průběh platí jen pro vzdušné ionty jediné pohyblivosti k .



Obr. 8.2 a) A–V charakteristika měřená rozptylovou metodou při klidném vzduchu, b) A–V charakteristika měřená aspiračním kondenzátorem

U aspirační metody prochází vzduch obsahující ionty válcovým kondenzátorem s elektrickým polem, obr. 8.3. Ionty vstupují do kondenzátoru, přičemž na ně působí dvě síly, které jsou vzájemně na sobě kolmé. První síla je proud vzduchu souběžný s elektrodou kondenzátoru a druhá 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. 8.3 Trajektorie iontů procházející kondenzátorem za přítomnosti elektrického pole.

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

$$\frac{dx}{dt} = v \quad \text{a} \quad x = n \cdot t + x_0 \quad \text{kde} \quad x_0 = \text{konst.} \quad (6, 7)$$

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

$$\frac{dy}{dt} = k \cdot E \quad y = k \cdot E \cdot t + y_0 \quad y_0 = \text{konst.} \quad (8, 9)$$

Úpravou rovnic obdržíme rovnici pohyblivosti iontů 8:

Z této rovnice vyplývá, že ionty se pohybují podél přímek nakloněných v jistém úhlu k směru proudění, jak již bylo naznačeno v obr. 8.3.

Experimentální podmínky pro zachycení všech iontů vstupujících do aspiračního kondenzátoru mohou být snadno odvozeny. Úhel sklonu musí odpovídat drahám iontů tak, aby byla paralelní k úhlopříčce od bodu A k bodu B . Musí být zajištěny následující okrajové podmínky:

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

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

Pokud budou splněny výše uvedené podmínky, všechny ionty, které vstoupí do kondenzátoru, budou zachyceny za podmínky:

$$k_m = \frac{a \cdot v}{E \cdot L} \quad (10)$$

Dosažením napětí mezi elektrody $U = a \cdot E$ a objemového průtoku vzduchu $M = a \cdot b \cdot v$ obdržíme:

$$k_m = \frac{M \cdot a}{b \cdot U \cdot L} \quad (11)$$

Kde b je šířka desky.

Pokud zavedeme parametr, označení C , který se vztahuje k rozměrům a kapacitě aspiračního kondenzátoru vzorcem:

$$C = \frac{F}{4 \cdot \pi \cdot a} \quad (12)$$

Bude mezní pohyblivost k_m pro zachycení iontů dána vztahem:

$$k_m = \frac{M}{4 \cdot \pi \cdot C \cdot U} \quad (13)$$

Rozměr k_m je $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$. 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 pohyblivosti za předpokladu, že C je skutečnou kapacitou kondenzátoru. Speciálně pro běžně užívaný válcový kondenzátor platí:

$$k_m = \frac{M}{4 \cdot \pi \cdot C \cdot U} = \frac{M \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot U} \quad (14)$$

Kapacita válcového kondenzátoru je dána vztahem:

$$C = \frac{l}{2 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (15)$$

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. 8.2 b) Rostoucí část reprezentuje vztah:

$$i = M \cdot e \cdot n \cdot \frac{k}{k_m} \quad (16)$$

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

Pokud se v měřeném prostoru vyskytuje několik druhů iontů zároveň s různou pohyblivostí, počet iontů s různou pohyblivostí, odpovídá počtu zlomů v charakteristice. Na obr. 8.4 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:

$$\frac{dn}{dk} = f(k) \quad (17)$$

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

$$i = M \cdot e \cdot \frac{1}{k_m} \int_0^{k_m} k \cdot f(k) \cdot dk + M \cdot e \cdot \int_{k_m}^{\infty} f(k) \cdot dk \quad (18)$$

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 .

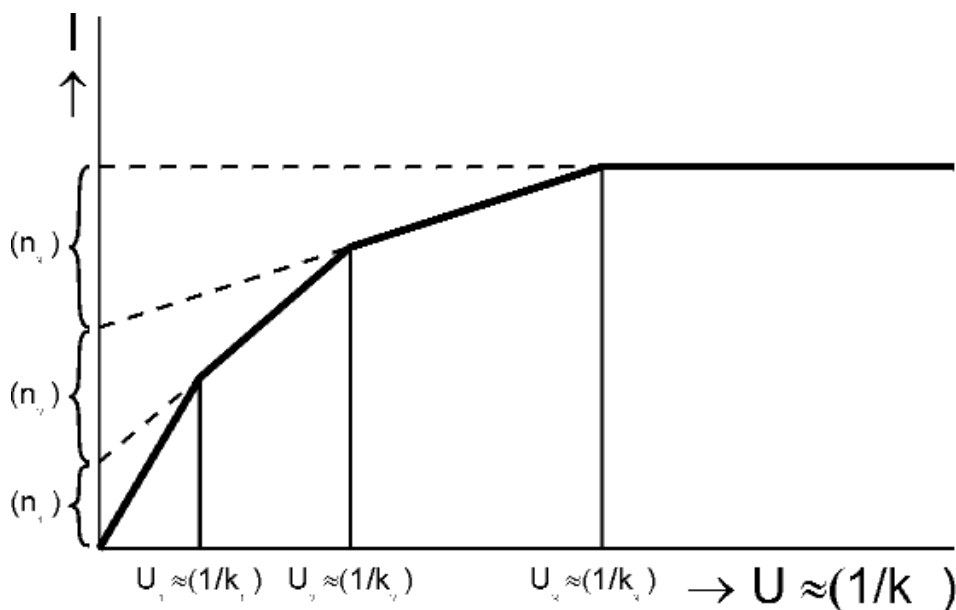
Po derivaci saturační charakteristiky:

$$\frac{di}{dV} = \frac{di}{dk_m} \cdot \frac{dk_m}{dV} = -\frac{M \cdot e}{k_m^2} \cdot \int_0^{k_m} k \cdot f(k) \cdot dk \cdot \frac{dk_m}{dV} \quad (19)$$

je možné vyjádřit derivaci mezní pohyblivosti podle napětí derivováním vztahu 13

$$\frac{dk_m}{dU} = -\frac{4 \cdot \pi \cdot C}{M} \cdot k_m^2 \quad (20)$$

$$\frac{di}{dU} = 4 \cdot \pi \cdot C \cdot e \cdot \int_0^{k_m} k \cdot f(k) \cdot dk \quad (21)$$



Obr. 8.4 Charakteristika aspiračního kondenzátoru pro ionty s hustotami n_1, n_2, n_3 a pohyblivostmi k_1, k_2 a k_3

Druhá derivace saturační charakteristiky je:

$$\frac{d^2 i}{dU^2} = -\frac{e \cdot M^2}{4 \cdot \pi \cdot C \cdot U^3} \cdot f(k) \quad (22)$$

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

$$f(k) = -\frac{4.\pi.C.U^3}{M} \cdot \frac{d^2Z}{dU} \quad (23)$$

Použitím vztahu pro počet iontů dn_{k_m} 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:

$$dn = U \cdot \frac{d^2Z}{dU^2} \cdot dU \quad (24)$$

Ze vztahů (18) a (19) jde odvodit, že.

$$\int_{k_m}^{\infty} f(k) \cdot dk = \frac{i}{e.M} - \frac{U}{e.M} \cdot \frac{di}{dU} = Z - U \cdot \frac{dZ}{dU} \quad (25)$$

Pokud U vyneseme na osu x a Z na osu y, pravá strana rovnice (25) 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 .

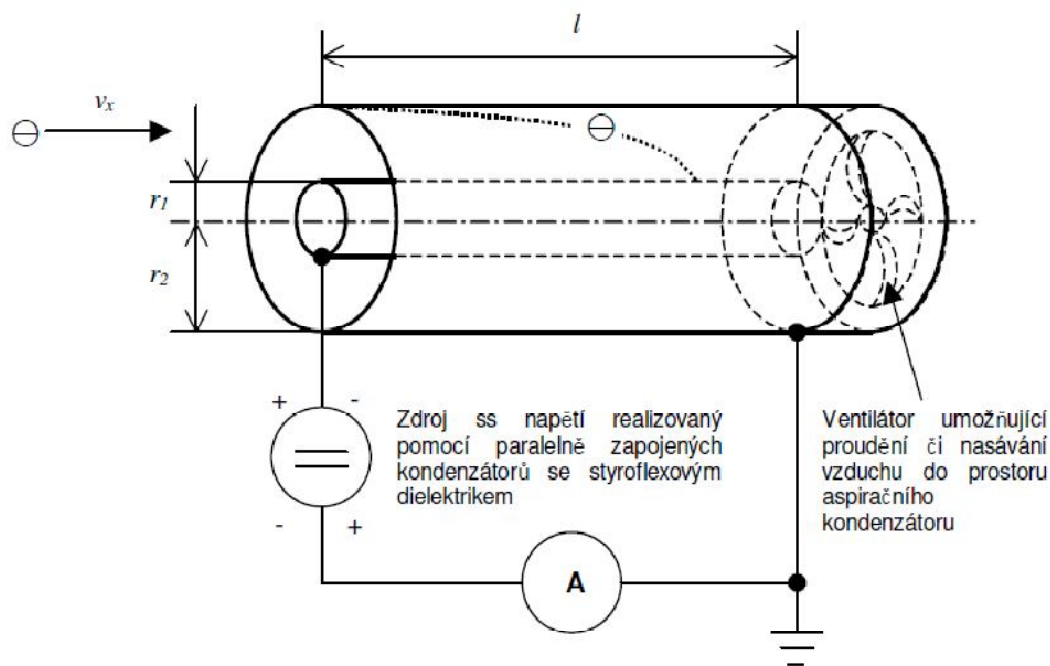
$$OP = \int_{k_m}^{\infty} f(k) \cdot dk \quad (26)$$

Pro základní analýzu iontového spektra slouží rovnice (24), protože spojuje počet iontů určité oblasti se saturační charakteristikou. Říká, že existenci iontů z daného pásma pohyblivosti, odpovídá určitý paměťový 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 . [4]

9. Postup měření elektroiontového mikroklimatu

9.1. Postup měření

1. Zapnout přístroj a nechat žhavit cca 15minut. Po uběhnutí této doby je nutná kalibrace. Zkratování vstupní svorky. Přepínače přepnout do polohy „zero centr“ postupně doladit na nulu až do rozsahu 10^{-14} . Centrování nuly se provádí před každým měřením.
2. Uzavření vstupu aspiračního kondenzátoru vhodnou ucpávkou (záštitou) pro zabránění vstupu iontů, které se nachází v blízkosti vstupu aspiračního kondenzátoru. Na vstupu aspiračního kondenzátoru dochází k takzvanému okrajovému jevu, kdy se elektrické pole uzavírá i přes vnější prostor, takže měření je vždy zatíženo chybou.
3. Po provedení kalibrace a uzavření záštitou vstupu začít měření svodového proudu, který se vlivem vnějších parametrů (vlhkost, teplota, tlak) mění. Svodový proud je způsoben vzpěrami, které drží kolektorovou elektrodu uprostřed aspiračního kondenzátoru. Vzpěry jsou vyrobeny z teflonu, aby se dosáhlo co nejmenšího svodového proudu. Povrchový odpor teflonu se pohybuje v řádech vyšších než $10^{10}\Omega$ a vnitřní odpor má vyšší než $10^{13}\Omega\cdot\text{cm}$. Vnitřní odpor je závislý na teplotě a frekvenci, která zde nehraje žádnou roli, pro teflon je tento odpor takřka neměnný. Povrchový odpor je závislý na vlhkosti vzduchu a aerosolových částicích obsažených ve vzduchu, které mohou deponovat na vzpěrách. U aerosolových částic se odpor v závislosti na čase radikálně nemění, problém nastává u relativní vlhkosti, a to především v prostorech s velkou relativní vlhkostí, jako jsou jeskyně nebo v blízkosti vodopádů, kde může relativní vlhkost dosahovat 90% až 98%. Tato měření se musí provádět, co nejrychleji jinak dochází k velkým chybám měření. Ing. Z. Buřival, CSc., popisoval toto měření v jeskyních, kdy se maximálně 20minut měřilo a minimálně 60minut sušilo přístrojové vybavení.[18] I tak je měření zatíženo velkou chybou, a to právě na základě svodových proudů vlivem vzpěr.



Obr. 9.9.1 Zapojení aspiračního kondenzátoru[4]

4. Odstranění záštity, zapnutí větráku, který vhání vzduch do aspiračního kondenzátoru. Větrák musí být umístěn tak, aby proudící vzduch prošel nejdříve aspiračním kondenzátorem a až poté větrákem. Jak je tomu na obr. 9.1
5. Jako zdroj napětí se zde využívá speciální styroflexový kondenzátor s velkým vnitřním odporem a kapacitou $470\mu\text{F}$. Postupně se z tohoto zdroje připojí napětí 50V, 100V, 200V, 300V, 400V, 500V a 600V. Pro měření záporných iontů se na katodu připojují kladná napětí, pro měření kladných iontů se na katodu připojí záporná napětí. Při 600V ještě nemusí dojít k nasycení proudu kondenzátoru, což záleží na typu iontů (tedy i na jejich pohyblivosti), které se v daném prostředí nachází.

9.2. Nejistoty typu B

Měření koncentrace vzdušných iontů je založeno na principu průchodu velmi malých proudů mezi anodou a katodou aspiračního kondenzátoru, přičemž katoda je tvořena vnitřní válcovou plochou a slouží jako sběrná elektroda aspiračního kondenzátoru. Velikost měřených proudů se pohybuje v rozmezí 10^{-9} A až 10^{-14} A. Takto malé proudy se měří jen obtížně, a proto je nutné dodržovat určité zásady.

Vodič, který spojuje katodu a pikoampérmetr, by měl mít co nejmenší kapacitu, z tohoto důvodu je nevhodné používat stíněný vodič. Kapacita stíněného vodiče se pohybuje od 110 až po 410 pF/m. Je důležité si uvědomit, že kapacita aspiračního kondenzátoru je přibližně 50pF. Přívodní vodič by neměl mít větší kapacitu než samotný aspirační kondenzátor. Neměl by být zbytečně dlouhý. Na každém vodiči se indukuje napětí, které způsobuje zkreslení. Je nutné, aby se při měření vůbec nepohyboval, protože pak dochází ke zkreslení výsledků.

U samotného měření by měl být co nejvíce omezen pohyb osob a také počet osob. Každá osoba by měla být co nejlépe uzemněná, aby zbytečně nevznikalo zbytečně rušivé elektrické pole, které má velký vliv na samotné měření. Na kladně nabitých objektech v okolí měřicího systému může docházet k nežádoucí rekombinaci záporných iontů, což způsobí chyby měření a také může docházet k ovlivnění měřicího přístroje, v případě pokud není měřicí soustava dobře uzemněná. Měření se stává obtížné v prostorech, kde materiály stěn a podlahy mají vysoký povrchový a vnitřní odpor a malou permitivitu. Zde dochází k snadnému polarizování dielektrických částic použitého materiálu a ke vzniku elektrostatického náboje na stěnách.

Chyba může nastat i vlivem změn průtoku vzduchu a to hlavně v místech, kde je průvan nebo vítr. Měření těchto změn je velmi obtížné, protože často dochází k nárazovým změnám, což silně ovlivňuje, až znemožňuje měření. Samotný průtok vzduchu se změní před samotným měřením a vychází se z předpokladu, že se jeho hodnota nebude v závislosti na čase podstatně měnit. Měření průtoku vzduchu během měření koncentrace je nemožné, protože měřením průtoku vzduchu by docházelo k deponování záporných iontů na anemometru, kterým se provádí měření rychlosti proudění vzduchu. S prouděním vzduchu souvisí další problém na vstupu aspiračního kondenzátoru. Zde totiž nejsou vektory elektrického pole a vektor síly proudění vzduchu na sebe kolmé. To má za následek

zachycování těch iontů na okraji elektrody, které by podle rovnice mezní pohyblivosti neměly být zachyceny.

Homogenita elektrického pole uvnitř kondenzátoru je také velice důležitá z tohoto důvodu by měl být povrch kondenzátoru co nejhladší a neměly by, zde být ostré hrany nebo výstupky, které mohou způsobit nehomogenitu elektrického pole a tím ionizaci, korónovým výbojem. Vzpěry v aspiračním kondenzátoru také ovlivňují homogenitu elektrického pole. Vlivem elektrického pole dochází k jejich polarizaci a ke změně vnitřního elektrického pole.

Při měření koncentrace vzdušných iontů, dochází k odevzdání elektronu vytvářejícího záporný náboj iontu na sběrnou katodu. Tímto způsobem dochází k rekombinaci iontů a vzniku neutrálních molekul. Vlastním měřením dochází ke zkreslení výsledků, pokud není použit takový přídavný zdroj ionizace vzduchu, který vytvoří více iontů, nežli při měření zrekombinuje. Tento problém souvisí s rozměry místnosti, ve které se měření provádí, a s dobou měření. Pokud měření trvá takovou dobu, že aspiračním kondenzátorem projde veškerý vzduch v dané místnosti, dá se předpokládat, že může dojít k zrekombinování většiny iontů v dané místnosti.

9.3. Parametry aspiračního kondenzátoru

Parametry (kapacita, homogenita elektrického pole, izolační odpor) aspiračního kondenzátoru se odvíjí od délky, průměru vnitřní a vnější elektrody a od průtoku vzduchu aspiračním kondenzátorem. Vliv na parametry mají i vnitřní vzpěry. Pro další úvahy s nimi však nepočítáme. Vzpěry by měly mít co největší R_p a R_v , musí se navrhnout tak, aby co nejméně ovlivňovaly uvedené parametry a nenarušovaly homogenitu elektrického pole ani homogenitu proudění vzduchu (požadujeme laminární proudění).

Rozměry použitého aspiračního kondenzátoru – obr. 9.1

Celková délka aspiračního kondenzátoru $l = 595 \text{ mm}$

Poloměr katody $r_1 = 19 \text{ mm}$

Poloměr anody $r_2 = 40 \text{ mm}$

Průtok vzduchu – měření průtoku se provádí anemometrem, na vstupu aspiračního kondenzátoru. Průtok vzduchu byl po celou dobu měření konstantní, což zajišťoval ventilátor a regulovatelný zdroj 0V – 25V, který byl vždy nastaven na 12V.

Rychlost proudění vzduchu na vstupu aspiračního kondenzátoru:

$$v_x = 3,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průtok vzduchu aspiračním kondenzátorem:

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

Kapacita aspiračního kondenzátoru – kapacitu aspiračního kondenzátoru považujeme za konstantní. I když se kapacita může měnit v závislosti na teplotě, vlhkosti a tlaku vzduchu, změny zanedbáváme.

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85419 \cdot 10^{-12} \cdot 1,00054 \cdot 0,595}{\ln \frac{0,04}{0,019}} = 4,4887 \cdot 10^{-11} \text{ F} = 44,887 \text{ pF}$$

Mezní pohyblivost – určuje, které ionty projdou aspiračním kondenzátorem bez toho, aniž by odevzdaly svůj náboj, a které budou zachyceny na stěnách kondenzátoru. Pro napětí 50V platí, že jsou to všechny ionty s vyšší pohyblivostí než je $0,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, které budou zachyceny.

$$k_m = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot M}{C \cdot U} = \frac{8,85419 \cdot 10^{-12} \cdot 1,00054 \cdot 0,01245578}{4,4887 \cdot 10^{-11} \cdot 50} = 4,9167 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1} \\ = 0,4917 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$U_{AK} [\text{V}]$	$k_m [\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}]$
600	0,04
500	0,05
400	0,06
300	0,08
200	0,12
100	0,25
50	0,50

Tab. 9.9.1 Rozdělení pohyblivosti v závislosti na napětí mezi elektrodami aspiračního kondenzátoru

Z tab. 9.1 vyplývá, že aspirační kondenzátor, na kterém jsem prováděl veškerá měření, měří lehké a střední seskupení iontů. Pro měření velkých seskupení iontů je potřeba zvýšit napětí, nebo snížit průtok vzduchu aspiračním kondenzátorem. Za malé ionty se považují ionty s vyšší pohyblivostí než je $0,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Z toho plyne, že při napětí na elektrodách aspiračního kondenzátoru 50V jsou zachyceny pouze malá seskupení iontů, která se dají považovat za zdraví prospěšné.

10. Vlastní měření

10.1. Závislost koncentrace vzdušných iontů na průběhu větrání místnosti

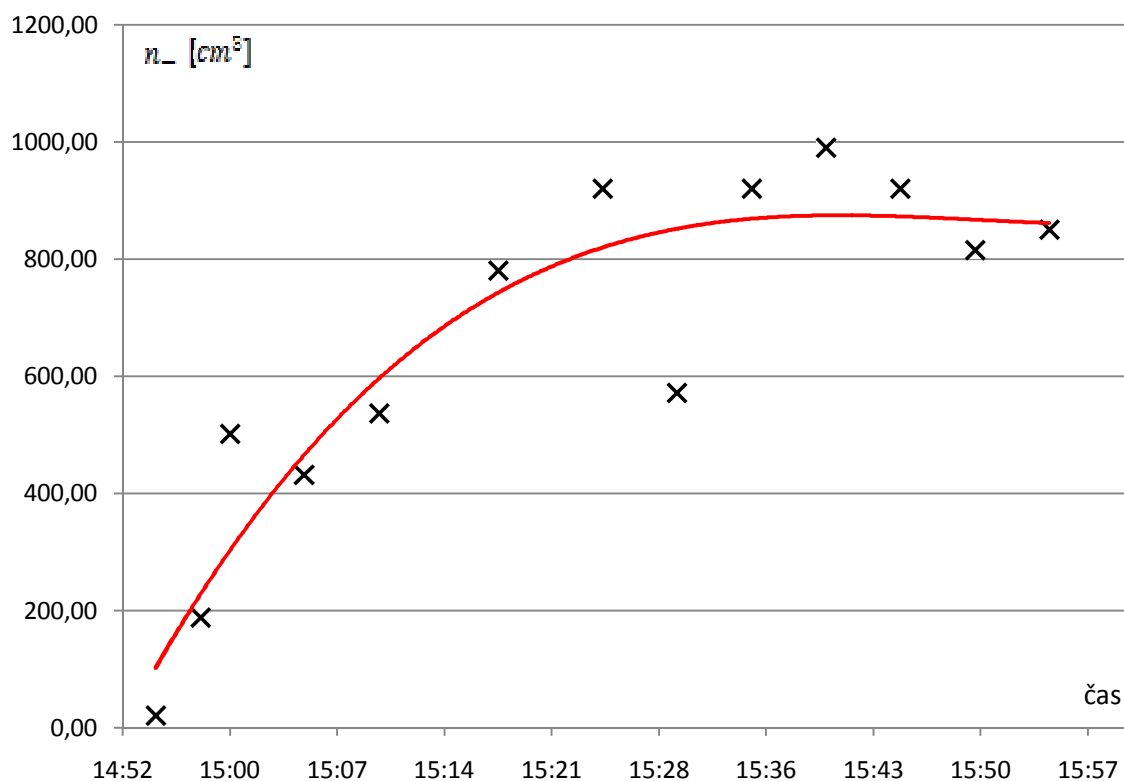
Měření bylo provedeno v místnosti N 1.22 objektu Technická 10, tato počítačová učebna má rozměry (6x3x15)m. Aspirační kondenzátor byl umístěn uprostřed učebny a svým vstupem směřován k tabuli, což je kolmo k oknům. V učebně se nachází 6 oken. Před měřením, zde probíhala od 9:00 do 13:00 výuka a bylo zapnuto všech 18 počítačů.

čas	I_{cel} [A]	I_{ion} [A]	n [cm^3]	ϕ [%]	t [°C]
14:55	5,10E-13	3,00E-14	20,92	31,1	27,8
14:58	7,50E-13	2,70E-13	188,26	20,8	22,8
15:00	1,20E-12	7,20E-13	502,02	22,2	21,8
15:05	1,10E-12	6,20E-13	432,29	23,0	19,4
15:10	1,25E-12	7,70E-13	536,88	23,3	19,1
15:18	1,60E-12	1,12E-12	780,92	27,1	17,0
15:25	1,80E-12	1,32E-12	920,37	29,5	16,2
15:30	1,30E-12	8,20E-13	571,74	27,2	16,3
15:35	1,80E-12	1,32E-12	920,37	27,3	16,4
15:40	1,90E-12	1,42E-12	990,09	30,6	15,3
15:45	1,80E-12	1,32E-12	920,37	30,3	14,1
15:50	1,65E-12	1,17E-12	815,78	28,2	14,3
15:55	1,70E-12	1,22E-12	850,64	29,0	13,7

U_{AK} [V]	300
I_{svod} [A]	4,80E-13
tlak [hPa]	984,8

Tab. 10.1 Závislost koncentrace, teploty a relativní vlhkosti na větrání místnosti

Měření probíhalo 27.4. 2011 od 14:55 do 15:55. Během měření se měnila koncentrace vzdušných iontů, relativní vlhkost a teplota, což je vidět z tab. 10.2 Tlak zůstal po celou dobu konstantní a to 984,8hPa.



Obr. 10.1 Závislost koncentrace vzdušných iontů na době větrání

Na začátku měření (nevětraná místnost) se koncentrace pro $= 300V$ pohybovala v řádech tj. 21iontů/ , po třech minutách intenzivního větrání šesti okny vzrostla koncentrace, na 188iontů/ . K nasycení místnosti ionty došlo po půl hodině, jak je vidět z grafu obr. 10.1. Poté byla průměrná koncentrace od 15:25 do 15:55 856 iontů/ . Výkyvy křivky, mohly být způsobeny prouděním vzduchu.

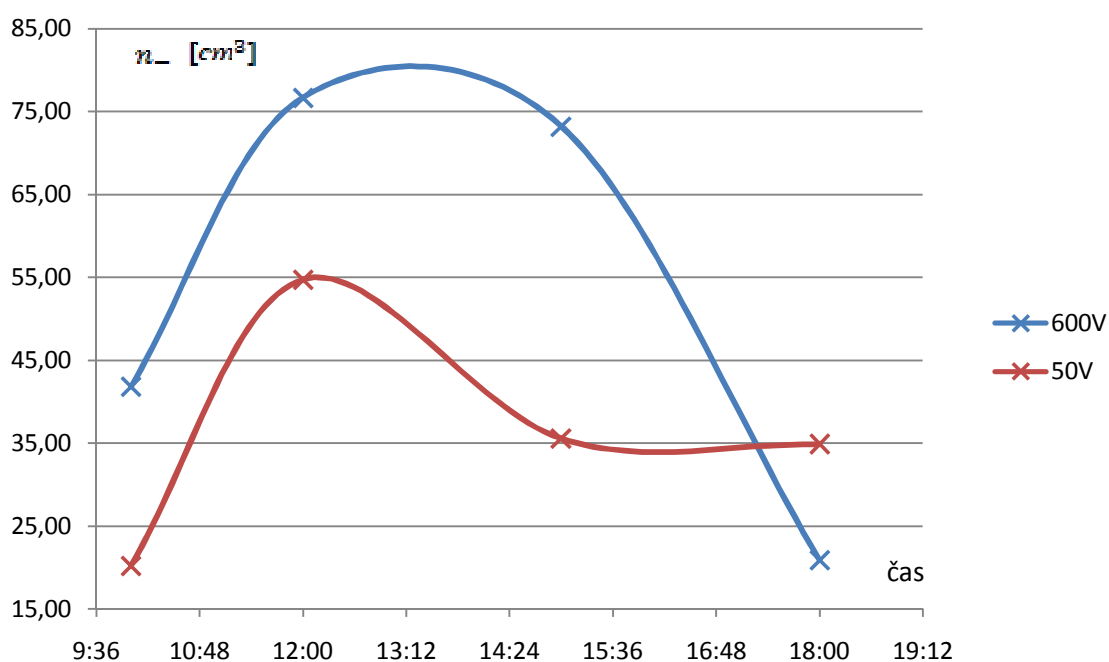
10.2. Změna koncentrace v závislosti na denním cyklu

Koncentrace vzdušných iontů, se během dne mění, toto kolísání je způsobeno mnoha faktory. Jeden z nejdůležitějších je příkon ionizační energie především pak UV složky slunečního spektra.

Měření probíhalo v laboratoři N3.68 v budově VUT FEKT T-10 14.4.2011

	U_{AK} 50V	U_{AK} 600V			
čas	$n_- [cm^{-3}]$	$n_- [cm^{-3}]$	tlak [hPa]	t [°C]	ϕ [%]
10:00	20,22	41,83	978,9	21,5	28,9
12:00	54,73	76,70	979,3	21,3	26,2
15:00	35,56	73,21	978,6	22,4	29,5
18:00	34,86	20,92	981,1	22,7	41,8

Tab. 10.2 Kolísání koncentrace vzdušných iontů v závislosti na denním cyklu



Obr. 10.2 Závislost koncentrace vzdušných iontů na denním cyklu

Koncentrace vzdušných iontů ovlivňuje silně silniční provoz a také provoz továren, které ovlivňují vnější prostředí. Koncentrace vzdušných iontů v budovách se odvíjí od koncentrace vzdušných iontů ve vnějším prostředí. Moderní budovy jsou do jisté míry

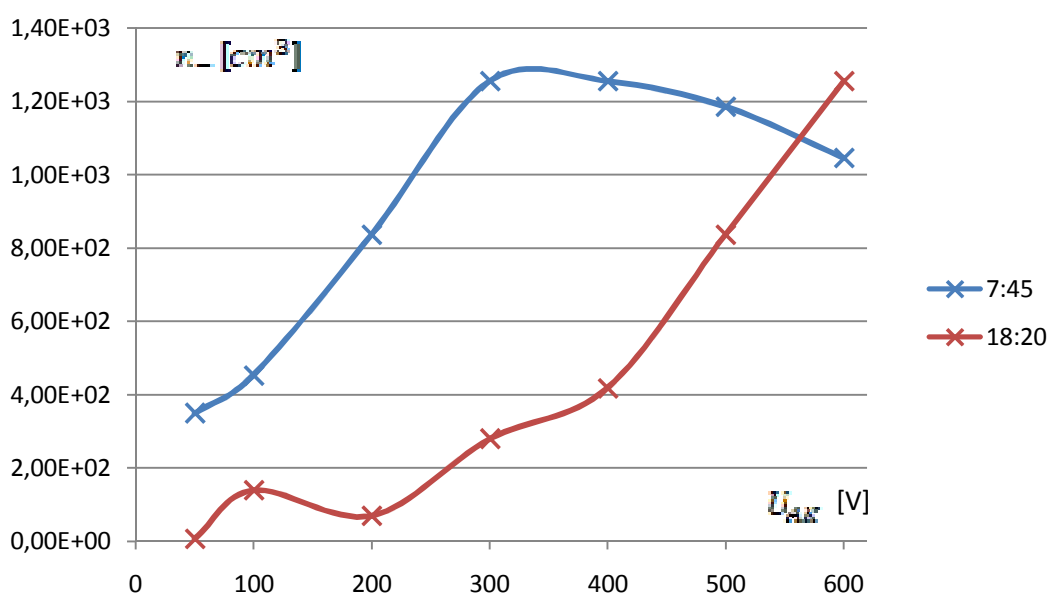
izolované od vnějšího prostředí a to vinou plastových rámců oken, které nahradili dřevěné rámy oken, které do jisté míry dýchaly. Proto by se mělo častěji větrat.

10.3. Zjištěná koncentrace iontů před výukou a po výuce

Tímto měřením se prokázal, pokles lehkých a středních záporných iontů, vlivem pohybu osob v učebnách N3.25 a N3.59. V obou třídách probíhala po celý den výuka. V jazykové učebně N3.25 probíhala výuka od 10:00 do 18:00 a v laboratoři BMTD N3.59 probíhala výuka od 11:00 do 19:00 s občasným větráním, které jsem nijak nemohl ovlivnit.

N3.25			
18:20	8.4.2011	7:45	7.4.2011
tlak	978,5 hPa	tlak	984,2 hPa
teplota	27,9 °C	teplota	21,6 °C
vlhkost	35,3 %	vlhkost	39,8 %

Tab. 10.3 Atmosférické podmínky pro měření koncentrace v učebně N3.25

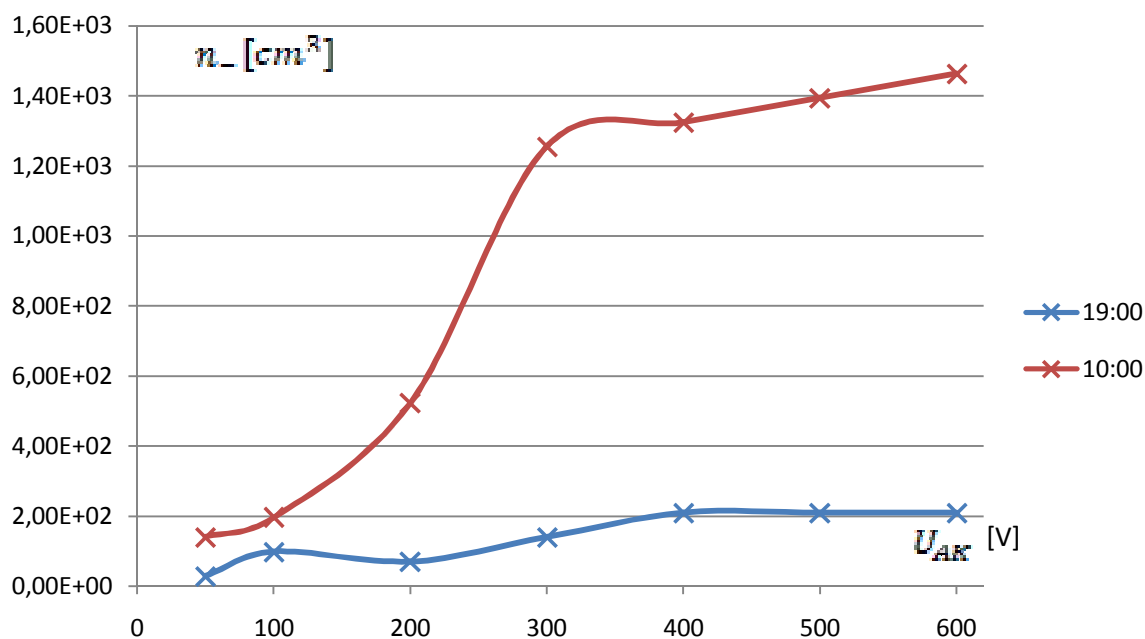


Obr. 10.3 saturační křivka před a po výuce v jazykové učebně N3.25

V jazykové učebně byla naměřená zvýšená koncentrace těžkých záporných iontů. Zvýšená koncentrace těžkých záporných iontů je způsobena vyšším obsahem aerosolových částic v ovzduší. Aerosolové částice zde mohou být zvýšeny z důvodu nepoužívání přezůvek a odkládání věcí. Z průběhu lze usoudit, že v jazykové učebně se nejspíš několikrát větralo.

N3.59			
19:00	12.4.2011	10:00	12.4.2011
tlak	975,6 hPa	tlak	979,5 hPa
teplota	17,0 °C	teplota	23,6 °C
vlhkost	35,9 %	vlhkost	31,0 %

Tab. 10.4 Atmosférické podmínky pro měření koncentrace v laboratoři BMTD N3.59



Obr. 10.4 Saturační křivka před a po výuce v laboratoři BMTD

Pro laboratoř BMTD N3.59 je znázorněná koncentrace před a po výuce na obr. 10.4. V laboratoři se za den vystřídalo 46 studentů během 8 hodin. Měřením byl prokázán pokles koncentrace vzdušných iontů a to v celém měřeném rozsahu napětí. Nízká koncentrace po výuce (19:00) je způsobena především špatným větráním. Na koncentraci má vliv počet studentů a přísun ionizační energie. Koncentrace záporných iontů po výuce je maximálně 209 iontů/ a před výukou (10:00) maximálně 1460 iontů/. To dokazuje, že lidská přítomnost odebírá elektrický náboj ze vzduchu a to dýcháním a deponováním na povrchu osob.

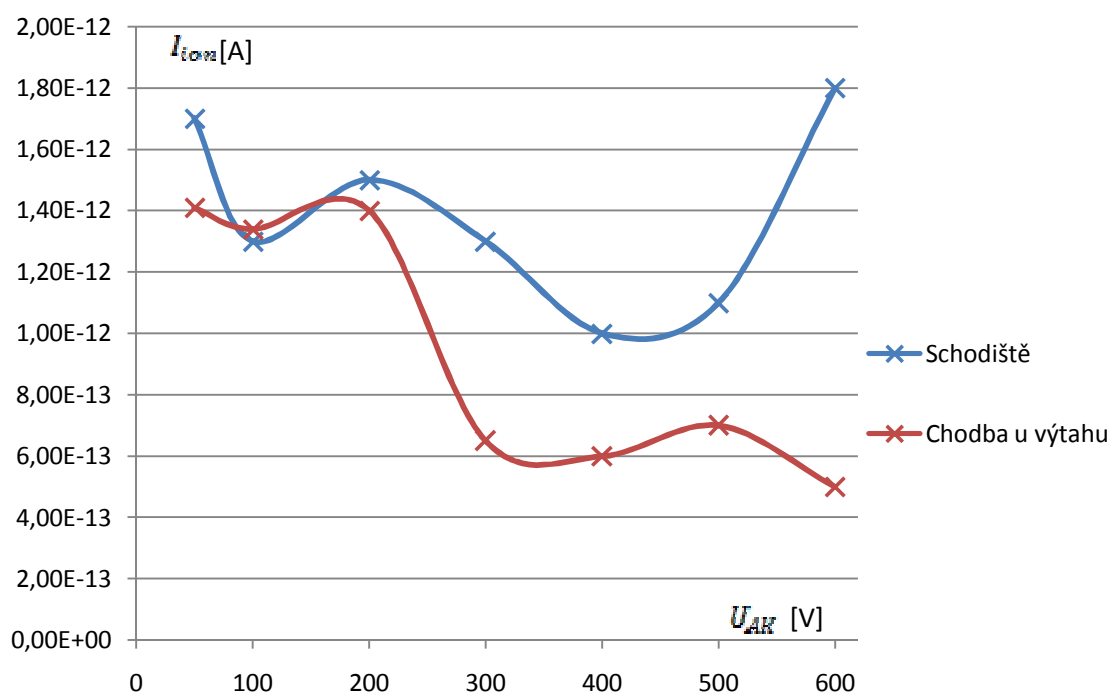
10.4. Naměřené saturační křivky pro chodby, schodiště, vstupní halu a prostor u bufetu v budově T – 10

Saturační křivky pro tyto prostory jsou zatíženy velkou nejistotou typu B, proto jejich průběh zcela neodpovídá teoretickým předpokladům. Se zvyšujícím se napětím na elektrodách aspiračního kondenzátoru by mělo docházet k zachycování iontů s menší a menší pohyblivostí až do saturace, kdy jsou zachyceny všechny ionty v daném prostředí.

Saturační křivka schodiště xxx a chodby u výtahu

schodiště		chodba u výtahu	
20:25	12.4.2011	18:00	13.4.2011
tlak	979,9 hPa	tlak	979,7 hPa
teplota	24,8 °C	teplota	23,6 °C
vlhkost	31,3 %	vlhkost	30,5 %

Tab. 10.5 Atmosférické podmínky pro měření saturačních křivek schodiště a chodby u výtahu



Obr. 10.5 Saturační křivky pro schodiště a chodby u výtahu v budově T-10

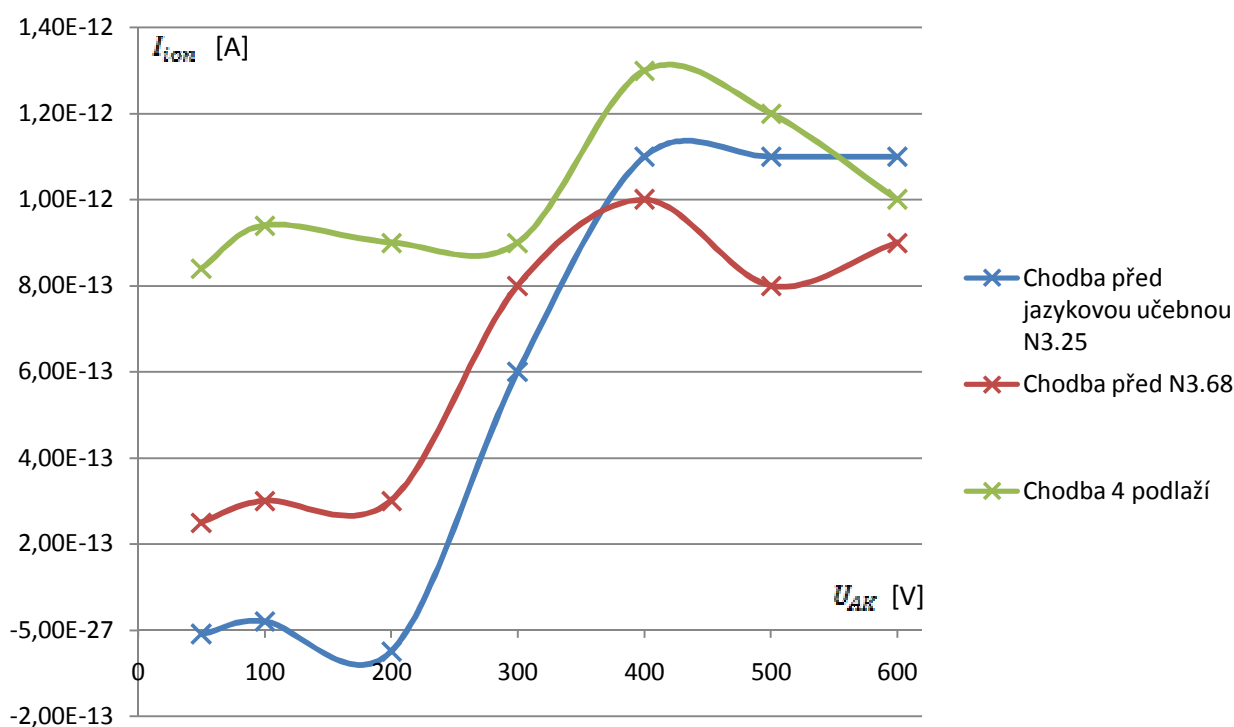
Schodiště je jediný prostor v budově T-10, kde byla naměřena koncentrace malých záporných iontů v řádech tj. 1190 iontů/. Optimální hygienická hodnota byla

stanovena na 1250 ± 250 iontů/ cm^3 [10]. Lidé nemají schopnost poznat, jaké koncentrace iontů se v daném prostředí nachází, pouze mají subjektivní pocit „lehkého dýchatelného vzduchu“, jako je tomu např. před bouřkou. Bouřkový oblak představuje složitý elektrický útvar, ve spodní části kumulonimbu (bouřkový mrak) je koncentrován záporný náboj, jemuž v horních partiích oblaku odpovídá centrum stejně velkého kladného náboje, tento jev má za následek odpuzování záporných iontů k povrchu země. Stejný pocit jsem měl při dýchání vzduch v prostorech schodiště. Prostory schodiště mají obklady z přírodních materiálů, které mají vysokou hodnotu relativní permitivity a malý povrchový a vnitřní odpor. Schodiště mezi jazykovými učebnami a laboratořemi mikroelektrotechnologií v 3. patře není využíváno, což také přispívá ke zvýšené koncentraci malých záporných iontů.

10.5. Saturační křivky pro chodby v budově VUT FEKT T-10

chodba 3. podlaží před N3.25		chodba před N3.68		chodba 4. podlaží	
19:15	7.4.2011	19:43	12.4.2011	10:15	16.4.2011
tlak	978,8 hPa	tlak	978,8 hPa	tlak	987,9 hPa
teplota	26,8 °C	teplota	26,8 °C	teplota	23 °C
vlhkost	33,5 %	vlhkost	33,5 %	vlhkost	31,5 %

Tab. 10.6 Atmosférické podmínky pro měření saturačních křivek chodeb v budově T-10



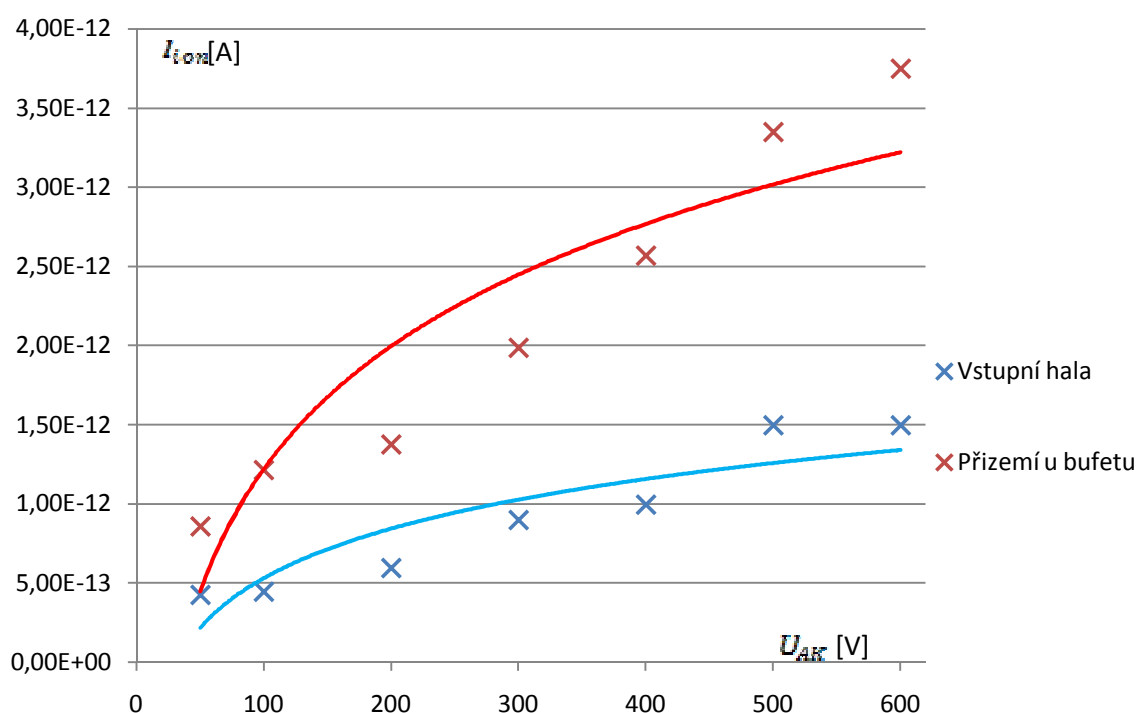
Obr. 10.6 Saturačních křivek chodeb v budově T-10

Nejvyšší koncentrace malých záporných iontů byla naměřena ve 4. podlaží a to hlavně proto, že měření probíhalo v sobotu, kdy zde nebyly přítomné žádné osoby. Průběh saturační křivky nemůže být teoreticky záporný, ale protože je v těchto prostorech malá koncentrace vzdušných iontů a měření je zatíženo vysokou nejistotou typu B, byl tento výsledek u chodby před N3.25 získán záporný. Chodby před jazykovou učebnou jsou nejvíce vytíženy. Studenti zde čekají na výuku jazyků. Vzduch na chodbě před jazykovými učebnami je „vydýchaný“ a není zde vůbec žádný přísun čerstvého vzduchu. Architektonicky se chodby umísťují doprostřed budov, chodby jsou určeny jen na přesun nikoliv pro delší pobyt osob. To však není případ chodby před jazykovými učebnami. Koncentrace malých záporných iontů v těchto prostorech byla v řádech tj. průměrně 77 iontů/ .

10.6. Saturační křivky pro vstupní halu a přízemí u bufetu

vstupní hala		přízemí u bufetu	
12:30	16.4.2011	13:30	16.4.2011
tlak	988,8 hPa	tlak	988,8 hPa
teplota	21,4 °C	teplota	21,6 °C
vlhkost	32 %	vlhkost	29 %

Tab. 10.7 Atmosférické podmínky pro měření saturačních křivek vstupní haly a přízemí u bufetu



Obr. 10.7 Saturační křivky vstupní haly a přízemí u bufetu v budově T-10

Saturační křivky jsou proloženy logaritmickou funkcí. Logaritmická funkce nejlépe odpovídá teoretickým předpokladům pro měření přirozené koncentrace vzdušných iontů v prostředí. V přirozeném prostředí se totiž vyskytují ionty všech pohyblivostí. Zvýšená koncentrace v přízemí u bufetu může být způsobena emanací. Koncentrace malých záporných iontů pro vstupní halu je 30 iontů/ a pro přízemí bufetu 60 iontů/. Měření bylo provedeno ještě před spuštěním okrasné fontány, která ionizuje vzduch Lenardovým efektem. Měření bylo prováděno v sobotu, aby se co nejméně projevil nejistoty typu B. Na koncentraci vzdušných iontů se také mohl projevit vliv blízké stavby, která zvyšuje prašnost a frekvenci dopravy, včetně víkendů.

Závěr

Práce upozorňuje na závažnost vzdušných iontů jejich koncentraci a vlivy na zdraví osob. Za důležité považují pochopení co vlastně ionizace v atmosféře je, které atomy se na této reakci podílejí a jak tyto koncentrace měřit. Proč vůbec dělit ionty podle jejich pohyblivosti, která přímo souvisí s čistotou vzduchu s obsahem patogeních virů a obsahem aerosolu. Výsledky uvedené v literatuře, jasně dokazují příznivé účinky, které se využívají ve speleoterapiích a v lázeňských prostorech. Na lidský organizmus samozřejmě působí mnoho dalších faktorů, které ovlivňují zdraví člověka, ale iontové klima je velice často opomíjené. Což je to také částečné vysvětlení toho, proč se nám dobře dýchá u vodopádů a kašen, kde je koncentrace malých záporných iontů zvýšena. Vzduch se nám zdá lehčí a svěžejší. Je to samozřejmě jen jeden z faktorů, které vnímáme. Při uskutečňování měření je samozřejmé, že v přirozeném prostředí je měření složité, proto že se zde vyskytuje spojitě rozdělení iontů vzhledem k pohyblivosti. Také se vyskytuje další problém. A tím je stanovit, které ionty jsou ještě prospěšné a které ne. Proto se také rozdělení iontů liší dle různých pramenů.

Z mých měření vyplývá, že jediný prostor, kde se hojně vyskytovaly malé záporné ionty, je schodiště a prostor před výtahem. V prostoru u výtahu a na schodišti, jsou pro podlahové krytí využívány keramické dlaždice. Keramické dlaždice mají příznivé elektrické vlastnosti, které přispívají ke zvýšení koncentrace malých záporných iontů a vytváří i příznivé elektrické pole. Elektrické pole má vliv na délku života iontů, pokud vznikne iont, je důležité, aby okamžitě nedošlo k jeho rekombinaci, což ovlivňuje přítomné elektrické pole. V jeskyních je toto pole nejideálnější, země má totiž záporný náboj a vytlačuje tak všechny záporné ionty od stěn do prostoru. V dalších částech budovy T-10 byly, naměřeny jen velmi nízké koncentrace malých záporných iontů. Z naměřených hodnot vyplývá, že budova VUT FEKT T-10 zřejmě trpí syndromem nemocných budov. Častým větráním se tento nedostatek dá částečně kompenzovat, což dokazuje měření závislosti koncentrace na větrání. Zajímavé je to, že člověk zatím nedokáže vyrobit prostory, které by měly stejné vlastnosti, jako je tomu u speleoterapeutických jeskyní.

Moje práce se záměrně nezabývá nejistotou typu A a to proto, že jsem jednotlivá měření neopakoval vícekrát. Při měření více hodnot by docházelo k neúnosnému prodloužení doby měření a zkreslení ne pouze jedné hodnoty, ale ovlivnění všech stanovených hodnot. Průběh měření koncentrace iontů má odpovídat saturační křivce, pokud však vlivem průchodu

iontů měřícím systémem při měření zrekombinuje část iontů s menší pohyblivostí a poté provádíme měření těžších iontů, je celkový výsledek zkreslen chybou, kterou nelze vyčíslit. Opakovaným měřením pro jedno napětí na kondenzátoru by měla teoreticky hodnota koncentrace iontů klesat.

Pro stanovení závazných doporučení pro koncentrace iontů platí, že koncentrace iontů není statická veličina a z tohoto důvodu se jen obtížně určují závazné hygienické normy. Celková koncentrace iontů kolísá s denním cyklem, měsíčním cyklem, ročním cyklem, se změnou počasí a dalšími vnějšími vlivy. Pro zavedení hygienických norem, by bylo nutné vypracovat přesné postupy měření, které by zahrnovaly umístění aspiračního kondenzátoru, výšku aspiračního kondenzátoru nad zemí, teplotu, tlak, vlhkost, všechny cykly (denní, měsíční, roční), vlivy počasí, četnosti větrání, lokace, v které se objekt nachází, počet přítomných osob a mnohé další. Z těchto důvodů byla stanovena pouze doporučená koncentrace vzdušných iontů a to z měření v čistých prostorech, jako je les, louka atd.

Použitá literatura

- [1] JIRKA, Z. Speleoterapie: principy a zkušenosti. 1st ed. Olomouc : Univerzita Palackého, 2001. ISBN 80-244-0346-3.
- [2] Bartůšek, 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=MDcwNDE4MTAzNzUzffZvbDNObz hQYWdlMTMzMHRvMTMzMzMy5wZGY=> (accessed Nov 14, 2010).
- [3] DUFKA, J. Větrání a klimatizace domů a bytů. 2nd ed. Praha: Array, 2005. ISBN 80-247-1144-3.
- [4] Bartůšek, K. Měření spektrálních charakteristik iontových polí, 2001. elektrorevue. <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01038/index.htm> (accessed Dec 08, 2010).
- [5] Kolář, R. PŘÍČINY NÍZKÉ KONCENTRACE AEROIONTŮ V BUDOVÁCH A KRITÉRIA PRO JEJICH POSUZOVÁNÍ, 2007. Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební. http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_1.3/Kolar_Radim_CL.pdf (accessed Oct 06, 2010).
- [6] Stručné základy TEORIE BOUŘEK, 2004. Virtuální trpaslík. <http://www.astronomie.cz/download/strucne-zaklady-teorie-bourek.pdf> (accessed Oct 27, 2010).
- [7] Přehled elektromagnetického záření, 2007. FyzWeb. <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=109> (accessed Oct 11, 2010).
- [8] 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).
- [9] Syndrom nemocných budov, 2007. Zelené úřadování. <http://zeleneuradovani.cz/content/File/sbs.pdf> (accessed Oct 09, 2010).
- [10] 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).
- [11] 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).
- [12] Dolejší, J. STUDIE Snižování produkce amoniaku ionizací vzduchu při výkrmu prasat, 2008. Eagri. http://eagri.cz/public/web/file/32383/Studie_IONIZACE_MZe.doc (accessed Jan 12, 2010).
- [13] Orr, D. Elektrická pole, 2002. skola.jozjan. http://skola.jozjan.net/eko/Prednaska7_8.doc (accessed Sept 10, 2010).

- [14] 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).
- [15] Bálek, R. Iondop, 2007. Aldebaran. <http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/> (accessed Nov 23, 2010).
- [16] Buřival, Z. BIOKLIMATICKÉ PROSTŘEDÍ BUDOV, 2000. UMAD. http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/A_26.pdf (accessed Nov 17, 2010).
- [17] Knoblochová, A. Čističky vzduchu - důležité informace, 2004. Čistý vzduch. <http://www.cistyvzduch.cz/cisticky-vzduchu-informace/> (accessed Feb 23, 2011).
- [18] BUŘIVAL, Z. osobní sdělení, Problematika měření vzdušných iontů. 2011,
- [19] ROUBAL, Z. osobní sdělení, Výpočet mezní pohyblivosti iontů. 2011

Seznam použitých symbolů a značek

C	[F] kapacita
e	[C] jednotkový náboj $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
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

Seznam příloh

Příloha I.	Tabulky naměřených hodnot pro N3.68
Příloha II.	Tabulky naměřených hodnot pro chodby a schodiště
Příloha III.	Tabulky naměřených hodnot pro Koncentraci iontů před a po výuce
Příloha IV.	Tabulky naměřených hodnot pro jazykové učebny
Příloha V.	Tabulky naměřených hodnot pro závislost koncentrace iontů na větrání
Příloha VI.	Tabulka naměřených hodnot pro venkovní prostor

Seznam obrázků

OBR. 2.1 ROZDĚLENÍ VLNOVÉHO A FREKVENČNÍHO SPEKTRA[7]	9
OBR. 4.1 SCHÉMA VZNIKU IONIZOVANÝCH ČÁSTIC.[14]	17
OBR. 7.1 NEVHODNÉ A SPRÁVNÉ ŘEŠENÍ POBYTOVÝCH PROSTOR S OHLEDEM NA ELEKTROIONTOVÉ MIKROKLIMA[5]	25
OBR. 8.1 PRINCIP MĚŘENÍ S ASPIRAČNÍM KONDENZÁTOREM[2]	27
OBR. 8.2 A) A–V CHARAKTERISTIKA MĚŘENÁ ROZPTYLOVOU METODOU PŘI KLIDNÉM VZDUCHU, B) A-V CHARAKTERISTIKA MĚŘENÁ ASPIRAČNÍM KONDENZÁTOREM	28
OBR. 8.3 TRAJEKTORIE IONTŮ PROCHÁZEJÍCÍ KONDENZÁTOREM ZA PŘÍTOMNOSTI ELEKTRICKÉHO POLE.....	28
OBR. 8.4 CHARAKTERISTIKA ASPIRAČNÍHO KONDENZÁTORU PRO IONTY S HUSTOTAMI N1, N2, N3 A POHYBLIVOSTMI K1, K2 A K3.....	31
OBR. 9.0.1 ZAPOJENÍ ASPIRAČNÍHO KONDENZÁTORU[4]	34
OBR. 10.1 ZÁVISLOST KONCENTRACE VZDUŠNÝCH IONTŮ NA DOBĚ VĚTRÁNÍ.....	40
OBR. 10.2 ZÁVISLOST KONCENTRACE VZDUŠNÝCH IONTŮ NA DENNÍM CYKLU	41
OBR. 10.3 SATURAČNÍ KŘIVKA PŘED A PO VÝUCE V JAZYKOVÉ UČEBNĚ N3.25	43
OBR. 10.4 SATURAČNÍ KŘIVKA PŘED A PO VÝUCE V LABORATOŘI BMTD	44
OBR. 10.5 SATURAČNÍ KŘIVKY PRO SCHODIŠTĚ A CHODBY U VÝTAHU V BUDOVĚ T-10.....	45
OBR. 10.6 SATURAČNÍCH KŘIVEK CHODEB V BUDOVĚ T-10.....	47
OBR. 10.7 SATURAČNÍ KŘIVKY VSTUPNÍ HALY A PŘÍZEMÍ U BUFETU V BUDOVĚ T-10.....	48

Seznam tabulek

TAB. 4.4.1 ROZDĚLENÍ IONTŮ DLE U. HÖRRAKA [5].....	15
TAB. 4.4.2 ROZDĚLENÍ IONTŮ DLE H. ISRAĚLA [5].....	15
TAB. 4.3 ROZDĚLENÍ VZDUŠNÝCH IONTŮ DLE CEFRASE, ČIŽEVSKIJO A DALŠÍCH [10]	16
TAB. 7.1 KONCENTRACE VZDUŠNÝCH IONTŮ V ZÁVISLOSTI NA MÍSTĚ[17].....	22
TAB. 7.2 HODNOTY RELATIVNÍ PERMITIVITY U VYBRANÝCH LÁTEK[9]	24
TAB. 9.0.1 ROZDĚLENÍ POHYBLIVOSTI V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ MEZI ELEKTRODAMI ASPIRAČNÍHO KONDENZÁTORU	38
TAB. 10.1 ZÁVISLOST KONCENTRACE, TEPLoty A RELATIVNÍ VLHKOSTI NA VĚTRÁNÍ MÍSTNOSTI.....	39
TAB. 10.2 KOLÍSÁNÍ KONCENTRACE VZDUŠNÝCH IONTŮ V ZÁVISLOSTI NA DENNÍM CYKLU	41
TAB. 10.3 ATMOSFÉRICKE PODMÍNKY PRO MĚŘENÍ KONCENTRACE V UČEBNĚ N3.25	43
TAB. 10.4 ATMOSFÉRICKE PODMÍNKY PRO MĚŘENÍ KONCENTRACE V LABORATOŘI BMTD N3.59	44
TAB. 10.5 ATMOSFÉRICKE PODMÍNKY PRO MĚŘENÍ SATURAČNÍCH KŘIVEK SCHODIŠTĚ A CHODBY U VÝTAHU .	45
TAB. 10.6 ATMOSFÉRICKE PODMÍNKY PRO MĚŘENÍ SATURAČNÍCH KŘIVEK CHODEB V BUDOVĚ T-10.....	47
TAB. 10.7 ATMOSFÉRICKE PODMÍNKY PRO MĚŘENÍ SATURAČNÍCH KŘIVEK VSTUPNÍ HALY A PŘÍZEMÍ U BUFETU	48