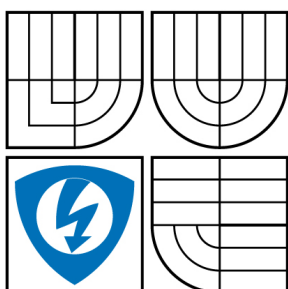


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

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

## SLEDOVÁNÍ KONCENTRACE VZDUŠNÝCH IONTŮ

MEASURING CONCENTRATION OF AIR IONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

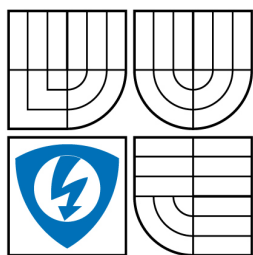
VLASTIMIL PONČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK BUŘIVAL, CSc.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Vlastimil Pončík

**ID:** 98435

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

**Sledování koncentrace vzdušných iontů**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodami měření koncentrace a pohyblivosti různých druhů iontů. Proměřte soubor prostorových charakteristik s využitím, jednak elektrostatického elektrometru s hrotem, jednak aspiračního kondenzátoru s napětím mezi elektrodami 100 až 500 V. Výsledky měření získané oběma metodami porovnejte. Vysvětlete vznik existencí a koncentraci monopolárních iontů vybraných pro speleoterapii.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 3.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Zdeněk Buřival, CSc.

**prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Abstrakt:**

Elektrointové mikroklíma je součástí atmosféry, je tvořeno negativními a pozitivními ionty s různou pohyblivostí a velikostí. Je prokázáno působení iontů na organismus člověka, počet kladných a záporných iontů ve vzduchu ovlivňuje psychický i fyzický stav osob. Jsou známy léčebné účinky negativních iontů s vysokou pohyblivostí (jejich vysoké koncentrace se vyskytují ve speleoterapeutických jeskyních).

Kritéria pro hodnocení elektroionotového mikroklímatu zatím nejsou v naší legislativě stanovena. Tato bakalářská práce ukazuje některé možnosti měření koncentrace iontů.

## **Abstract:**

Electro-ionic microclimate is a component of atmosphere which is created negative and positive ions with different mobility and size. Man is affected of these ions. Amount of positive and negative ions in air influences affirmative physical and mental condition of man. Is known therapeutic effect of negative ions with high mobility, there is high concentration of them in some speleotherapeutic caves.

Criteria for critizing of eletro-ionic microclimate are not determined in our legislation. This bachelor's thesis show the posibility of the measurement of the concentration of ions.

## **Klíčová slova:**

elektrointové mikroklíma - záporné ionty - kladné ionty – speleoterapie - aspirační kondenzátor - saturační charakteristika

## **Keywords:**

electro-ionic microclimate - negative ions - pozive ions –speleotherapy - aspiratiron condenser - saturation characteristic

## **Bibliografická citace díla:**

PONČÍK, V. *Sledování koncentrace vzdušných iontů – bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009.  
39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Buřival, CSc

## **Prohlášení autora o původnosti díla:**

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

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

V Brně dne 2. června 2009

.....

## **Poděkování:**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Buřivalovi, CSc za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

## OBSAH

1.	Úvod .....	8
2.	Elektroiontové mikroklima.....	9
2.1	Projevy syndromu nemocných budov .....	9
2.2	Historie výzkumu vzdušných iontů .....	9
3.	Vznik, rozdělení a vlastnosti iontů .....	11
3.1	Vznik iontů .....	11
3.2	Přírodní zdroje ionizační energie.....	12
3.3	Dělení iontů .....	12
3.4	Koeficient unipolarity .....	14
3.5	Pohyblivost a zánik iontů .....	14
4.	Faktory ovlivňující koncentraci a životnost iontů .....	15
4.1	Vliv lidských činností na zánik iontů .....	15
4.2	Vliv meteorologických faktorů na koncentraci iontů v ovzduší.....	15
4.3	Kolísání koncentrace iontů ve venkovním ovzduší.....	15
4.4	Vliv stavebních konstrukcí na koncentrace lehkých iontů v interiéru.....	16
4.5	Vliv stavebních a zařizovacích materiálů na koncentraci lehkých iontů.....	17
5.	Vliv vzdušných iontů na lidský organismus.....	18
5.1	Mechanismus působení iontů na lidský organismus .....	18
5.2	Speleoterapie .....	18
6.	Jeskynní mikroklima .....	20
6.1	Co obsahuje jeskynní mikroklima .....	20
6.2	Průběh ionizace v jeskyni .....	20
7.	Ionizátory ovzduší .....	22
7.1	Ionizátory elektrofluviální .....	22
7.2	Ionizátory na principu korónových výbojů .....	22
7.3	Radioaktivní ionizátory .....	23
7.4	Hydrodynamické ionizátory .....	23
7.5	Působení ionizátorů .....	23
8.	Měření iontů .....	24
8.1	Metody měření.....	24
8.2	Metodika měření a hodnocení elektroiontového mikroklimatu .....	24
8.3	Princip použití metody s aspiračním kondenzátorem.....	25
8.4	Veličiny charakterizující měřené iontové pole .....	27
8.4.1	Koncentrace iontů.....	27
8.4.2	Saturační charakteristika prostředí .....	28
8.4.3	Spektrální charakteristiky .....	29
9.	Výsledky měření.....	32
9.1	Postup měření .....	32
9.2	Rozbor naměřených hodnot.....	32
10.	Závěr .....	37
11.	Použité symboly .....	38
13.	Použitá literatura.....	39

# 1. Úvod

S rozvojem civilizace si lidé budují stále lepší obydlí, která jim zajišťují teplo, světlo, dostatek prostoru, veškeré pohodlí. Používají se nové materiály, které umožňují zrychlení výstavby, úspory energií, v neposlední řadě je důležitý také vzhled interiéru. Přes veškeré snahy o zajištění co nejoptimálnějšího bydlení je překvapivě zjišťováno, že se lidé ve svých obytných nebo pracovních prostorech necítí dobře, trápí je různé subjektivní potíže, které zhoršují jejich pohodu a snižují pracovní výkonnost. Souhrnně se tyto potíže nazývají „syndrom nemocných budov“. Mikroklima budov ovlivňuje celá řada faktorů, v poslední době se do popředí zájmu dostává iontové mikroklima. Je prokázán příznivý vliv lehkých záporných iontů na lidský organismus, je teda snahou zajistit, aby se koncentrace iontů v obytných prostorech co nejvíce přiblížila jejich koncentraci v přírodním, neznečištěném prostředí. Tohoto cíle by mělo být dosaženo jak budováním obydlí z vyhovujících přírodních materiálů, případně úpravou již stávajících obytných a pracovních prostorů, tak používáním umělých zdrojů lehkých záporných iontů.

Význam pro pochopení vzniku a fungování elektroklimatu v budovách má i studium vzniku působení volných záporných iontů v jeskyních. Příznivé působení jeskynního mikroklimatu je pozorováno během ozdravných pobytů dětí v rámci speleoterapie.

Při zkoumání nových možností řešení obytných prostor je samozřejmě nezbytné zajistit co nejpřesnější možnosti měření a hodnocení kvality ovzduší z hlediska koncentrace lehkých záporných iontů. Ve své bakalářské práci jsem se kromě teoretických shrnutí poznatků o vzniku a působení lehkých záporných iontů, možnostech měření a hodnocení charakteristik iontových polí zabýval i konkrétním měřením v laboratorních podmínkách s využitím elektrostatického elektrometru s hrotem a aspiračního kondenzátoru.

## **2. Elektroiontové mikroklima**

Ovzduší, které nás kdekoliv venku i uvnitř budov obklopuje, je neustále více či méně ionizováno. Mluvíme o elektroiontovém mikroklimatu či o ionizaci vzduchu. Znamená to, že ovzduší obsahuje určité množství volných atmosférických iontů. Ionty jsou elektricky nabitě molekuly, části molekul či molekulární shluky, vzniklé ionizací plyných složek atmosféry. K ionizaci je potřebná ionizační energie. Na zemském povrchu působí její zdroje neustále, proto je v přírodě ovzduší v každém okamžiku ionizováno. Ovzduší elektricky neutrální se v přírodě nevyskytuje vůbec, na tento stav je člověk dlouhodobě adaptován, pro pocit komfortu prostředí je určitý počet atmosférických iontů nezbytný [7]. V moderních budovách bez vhodných podmínek pro existenci iontového pole je však koncentrace záporných iontů velmi nízká a tato nízká koncentrace záporných iontů je zřejmě jednou z příčin tzv. syndromu nemocných budov [2].

### **2.1 Projevy syndromu nemocných budov**

Syndromem nemoci z budov bývají nejčastěji postiženi lidé pracující v klimatizovaných budovách. Prvním příznakem bývají celkové projevy – únava, nesoustředěnost, bolesti hlavy. Dalšími častými příznaky jsou obtíže situované na sliznice, tyto můžeme rozdělit na projevy respirační (dráždění nosní sliznice, dráždění ke kašli, zhoršení alergických obtíží), oční (pocit suchosti, dráždění spojivek) a kožní (suchost, podráždění kůže až alergické projevy) [2].

### **2.2 Historie výzkumu vzdušných iontů**

Již koncem devatenáctého a začátkem dvacátého století si řada fyziků všimla, že dochází k samovolnému vybití nabitého elektroskopu, což je způsobováno vodivými částicemi – ionty, přítomnými v okolním ovzduší.

Po první světové válce se o atmosférické ionty kromě fyziků začali zajímat i lékaři. Ukazovalo se, že vzdušné ionty mají svůj význam nejen v přírodě, ale i uvnitř člověkem zbudovaných staveb, v bytech, na pracovištích. Začínali se konstruovat měřiče a generátory iontů [6].

V šedesátých letech 20. stol. začala ve světě vznikat specializovaná pracoviště, zaměřená na výzkum v oblasti ionizace vzduchu. V Moskvě byla založena Centrální laboratoř pro studium účinků atmosférických iontů při Akademii věd a byla zpracována pravidla pro iontovou terapii. V Paříži bylo podobné pracoviště ustaveno v sedmdesátých letech. Téměř současně vznikla stejně zaměřená pracoviště v USA, Izraeli a Německu. Získané poznatky však byly spíše povahy bioklimatologické a biometeorologické, než přímo medicínské. Bylo však nezvratně prokázáno, že elektroiontové mikroklima má fyziologické účinky na lidský organismus [6].

U nás byl průkopníkem studia ionizace vzduchu akademik František Běhounek, zakladatel dnešního Ústavu dozimetrie záření ČSAV. Ve dvacátých a třicátých letech 20. stol. uskutečnil řadu měření elektrického stavu vzduchu v Praze, ve Vysokých Tatrách i během svých dvou expedic k Severnímu pólu. Měření provedl přístroji, které k tomu účelu sám zkonstruoval [6].



## 3. Vznik, rozdělení a vlastnosti iontů

### 3.1 Vznik iontů

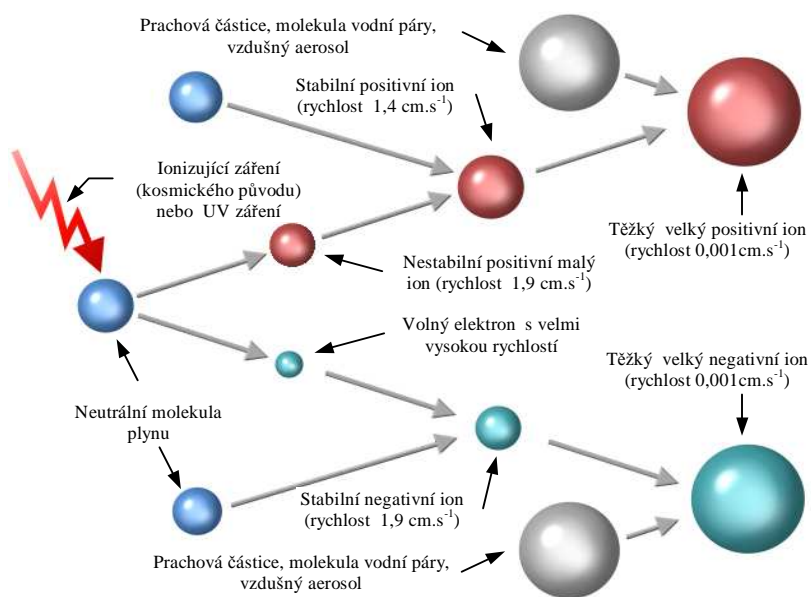
Atmosférické ionty jsou elektricky nabitě molekuly, části molekul, či molekulární shluky, které vznikly v důsledku ionizace plynných složek atmosféry [6].

Proces ionizace lze rozdělit do tří fází:

- 1) vytržení elektronu z atomu, takže se projeví kladný náboj jeho jádra,
- 2) apozice volného elektronu na neutrální atom či molekulu, které tak získávají nápoj záporný,
- 3) vytvoření lehkého vzdušného iontu, což je zpravidla shluk 10 – 30 plynných molekul, navázaných na elektricky nabitou částici a nesoucí její elektrický náboj [6].

Při přirozené ionizaci tedy vždy vzniká dvojice elektricky nabitých částic, každá s opačným nábojem. V případě ionizace umělé může být generátor iontů konstruován tak, že je zdrojem iontů výhradně jedné polarity.

Aby k ionizaci vzduchu došlo, je zapotřebí určitého kvanta energie. Její minimální velikost je označována jako ionizační energie. Ta je nezbytná pro překonání elektrostatické přitažlivosti mezi elektronem a kladně nabitým jádrem [6]. Schéma vzniku ionizovaných částic je zobrazeno na obr. č. 1.



Obr. 1.: Schéma vzniku ionizovaných částic [4]

## 3.2 Přírodní zdroje ionizační energie

Nejvýznamnějším zdrojem energie vyvolávajícím ionizaci ovzduší je elektromagnetické záření, zejména kosmické záření, krátkovlnná (ultrafialová) složka slunečního záření a gama záření radioaktivních látek. Na druhém místě je to přirozené záření alfa a beta radioaktivních látek zejména radonu a thoronu, obsažených v zemské kůře [6]. Kromě těchto dvou základních zdrojů energie (95 % ionizace) dochází k ionizaci vzduchu i při prudkém rozstříkávání vody (baleoelektrický efekt Lenardův), víření prachu, písku a krystalů ledu (Rudgeův efekt). Ionizujícím vlivem působí i hoření, různé chemické procesy, koronové výboje a blesky. Zdrojem iontů jsou i elektrická pole různých přístrojů [6].

## 3.3 Dělení iontů

Podle náboje dělíme ionty na kladné a záporné. Hlavním představitelem kladných iontů je ion dusíku a záporných ion kyslíku nebo vodní páry. Ionty obou polarit vznikají prakticky stále, ionizace trvá  $10^{-6}$  sekundy [6].

Vzdušné ionty můžeme dělit také podle hmotnosti na:

- a) lehké (malé nebo rychlé) ionty: jsou to shluky 10 – 30 molekul plynů s životností několika sekund. Jejich velikost je cca  $10^{-8}$  cm. Jsou nositeli příznivého biologického působení na člověka.
- b) střední ionty: shluky několika set molekul plynů. Jejich životnost je několik minut až několik hodin. Jejich existence je podmíněna určitou vlhkostí vzduchu. Velikost středních iontů je  $10^{-7}$  cm.
- c) těžké, tzv. Langevinovy ionty jsou shluky až tisíců molekul o velikosti  $10^{-5}$  cm. Jejich životnost je několik dní až týdnů. Jsou tvořeny kondenzačními jádry (dým, mlha, prach, kouř) [6].

Někdy se používá dělení podle rychlosti pohybu a ionty se dělí na rychlé střední a pomalé. Dva nezávisle na sobě pracující odborníci a autoři U. Hörrak a H. Israël zabývající se problematikou vzdušných iontů pak dali konečnou podobu rozdělení iontů v závislosti na pohyblivosti a atomovém poloměru. (v tab. 1. a 2. a dále uváděn průměr  $d$ ).

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. 1.: Rozdělení iontů dle U. Hörraka [4]

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. 2.: Rozdělení iontů dle H. Israëla [4]

Koncentrace iontů přítomných ovzduší je výsledkem dynamické rovnováhy mezi silami, které plynule tvoří nové ionty a současně působícími destrukčními ději. Značně se mění podle aktuálních podmínek atmosféry. Je vysoká v horních vrstvách ovzduší nebo při některých pracovních procesech (sváření elektrickým obloukem, při práci s rtg paprsky, v okolí zdrojů ultrafialového záření apod.). Vyšší koncentrace iontů nacházíme také v okolí vodopádů.

V ovzduší sídlišť a průmyslových oblastí je lehkých iontů poměrně málo, zde je zvýšeno množství těžkých iontů ( $20 - 30\ 000$  iontů  $\cdot \text{m}^{-3}$  oproti  $1 - 2\ 000$  iontů  $\text{m}^{-3}$  ve venkovské oblasti)

[2]. Počet iontů v různých prostředích je uveden v tabulce č. 3.

Prostředí	Počet lehkých negativních iontu na $\text{cm}^3$
místnosti městských bytů	50 - 100
městské ulice	100 - 500
klimatizované místnosti	0-100
moře a les	1000-5000
hory	5000-30000
jeskynní prostory	5000-50000
vodopády	10000-50000
po bouři	50000 a více

Tab. č. 3.: Ionizace v různých prostředích [3]

### 3.4 Koeficient unipolarity

K vyjádření poměru mezi kladnými a zápornými ionty slouží koeficient unipolarity. Je to v podstatě podíl počtu kladných iontů k záporným. Koeficient unipolarity je v přírodě hodnota vždy vyšší než 1,0. V neznečištěné atmosféře se pohybuje od 1,15 – 1,25. Naopak v silně znečištěném prostředí, zejména v okolí velkých průmyslových závodů je udáván koeficient unipolarity 4,0 až 6,0 - nepříznivý poměr kladných a záporných iontů je zapříčiněn zvýšeným zánikem záporných iontů vlivem znečištění ovzduší [6] .

### 3.5 Pohyblivost a zánik iontů

V čistém prostředí, v lokalitách mimo zdroje nadměrného znečištění se malé neboli lehké ionty pohybují rychlostí 1-2 cm/s, střední ionty 0,5 cm/s a velké ionty 0,001 cm/s. I když je pohyblivost iontů obou polarit téměř srovnatelná, přece jen se lehké a záporné ionty pohybují o málo rychleji, což zvyšuje pravděpodobnost jejich zániku. Pohyblivost iontů je značně závislá na parametrech prostředí [6].

Způsobů, jakými mohou ionty v ovzduší zaniknout, je několik. Nejčastější je rekombinace iontů. K té dochází tehdy, jestliže se setkají dva ionty opačného znaménka a vymění si elektron, čímž se stanou elektricky neutrální. Častá je i neutralizace iontů na opačně nabitých površích, příp. vodičích. Významná je i tvorba středních a těžkých iontů při setkání s kondenzačním jádrem (znečišťující aerosol – kouř, prach, mlha). Vlivem větší hmotnosti se urychluje jejich sedimentace. Vzhledem ke krátké životnosti zejména lehkých iontů probíhá proces jejich zániku téměř kontinuálně, současně ale dochází stále k novým ionizacím. [6]

## **4. Faktory ovlivňující koncentraci a životnost iontů**

### **4.1 Vliv lidských činností na zánik iontů**

Největším nepřítelem přirozené ionizace vzduchu ve vnitřním prostředí je kouření. Mikroskopické kapičky dehtu z cigaretového dýmu mají mimořádnou schopnost vázat na sebe lehké záporné ionty a ve velkých kvantech způsobují jejich zánik.

Druhým nepřítelem ionizace vzduchu je dlouhodobý pobyt více lidí v nevětrané místnosti. Lidé pak mají pocit „vydýchaného vzduchu“ a „nedostatku kyslíku“, ve skutečnosti se jedná o nedostatek lehkých záporných iontů.

Ionizaci vzduchu v bytech ovlivňuje rovněž provoz televizní a počítačové obrazovky.

V pracovním prostředí zejména kanceláří má nepříznivý vliv na elektroiontové mikroklima úprava vzduchu klimatizací. Ionty, obsažené ve venkovním ovzduší, jsou neutralizovány již při filtraci nasávaného vzduchu, při jeho vlhčení (ať už se jedná o vlhčení vodou nebo párou) a zejména při dopravě vzduchu potrubím často značné délky na místo určení.[6], [7].

### **4.2 Vliv meteorologických faktorů na koncentraci iontů v ovzduší**

Koncentrace iontů ve venkovním ovzduší závisí na atmosférickém tlaku, teplotě, vlhkosti a proudění vzduchu. Při poklesu atmosférického tlaku počet lehkých iontů stoupá, což se vysvětluje tím, se zvyšuje proudění plynů z nitra Země a tím se zvyšuje emanace radioaktivních látek. Se zvyšující teplotou se koncentrace záporných iontů zvyšuje, vlivem stoupající vlhkosti počet lehkých iontů klesá. U proudění vzduchu je rozhodující, zda vane vítr z pevniny - pak počet volných iontů stoupá nebo od moří a oceánů - pak jejich počet klesá [6] .

### **4.3 Kolísání koncentrace iontů ve venkovním ovzduší**

Na různých místech zemského povrchu ale i na stejném místě měření dochází během dne, během měsíce a v průběhu roku k periodickému kolísání koncentrací lehkých iontů v ovzduší. V denním kolísání byla zjištěna maxima u obou polarit kolem 6,00 h ráno. V ročním kolísání

jsou maxima jsou zpravidla v období místního léta, minima v období místní zimy. V silně znečištěném prostředí se rozdíl denního i ročního kolísání koncentrací iontů značně stírají. Pokud se týká měsíčního kolísání koncentrací volných vzdušných iontů, byla popsána maxima v období úplňku. Příčina těchto kolísání není jednoznačně vysvětlena [6].

#### **4.4 Vliv stavebních konstrukcí na koncentrace lehkých iontů v interiéru**

Elektrické pole uvnitř budov je výrazně ovlivňováno typem stavební konstrukce. Tradiční - cihlové zdivo a dřevěné konstrukce mají na ionizaci vzduchu nejmenší vliv, zatímco železobetonové konstrukce (běžná panelová výstavba) a konstrukce s ocelovým skeletem vnitřní prostor značně odstiňují. Kolem vnitřního prostoru vytvářejí vlastně Faradayovu klec. Z literatury jsou známy údaje, že v moderní železobetonové budově s klimatizací nebyl nalezen ani jediný lehký iont.

MUDr. Ariana Lajčiková ze Státního zdravotního ústavu v Praze uvádí z vlastních měření elektroiontového mikroklimatu v panelových budovách s klimatizací zkušenost, že zde byly naměřené ionty pouze v počtu několika desítek oproti venkovnímu prostředí ve stovkách, tedy řádové rozdíly [6]. V železobetonové tovární hale, jejíž stěny byly částečně vyzdívány tradičním způsobem a prostředí plně klimatizováno, bylo naměřeno 50 - 70 lehkých iontů obou polarit v  $\text{cm}^3$ , ve venkovním ovzduší bylo v tutéž dobu 250 - 280 záporných a 450 kladných iontů v  $\text{cm}^3$  vzduchu. [6]

Různý stupeň odstínění elektrického pole uvnitř budovy vyvolává i změny unipolárního koeficientu  $p_u$ , který může vlivem typu stavební konstrukce stoupnout na hodnoty 1,6 až 3,0. Na druhé straně ovšem stavební konstrukce, resp. materiál, z něhož je vyrobena, může být zdrojem vzdušných iontů, obsahuje-li ve zvýšené míře radioaktivní látky, jejichž rozpadem dochází k ionizaci ovzduší. Pak může být koncentrace iontů ve vnitřním ovzduší dokonce vyšší než ve venkovním prostředí. Taková situace byla nalezena při měření v objektu postaveném na geologicky abnormální lokalitě s vysokou radiací podloží nebo v budovách, postavených z panelů z rynholeckého škvárobetonu [6].

## 4.5 Vliv stavebních a zařizovacích materiálů na koncentraci lehkých iontů

Na ionizaci vzduchu v interiéru budov mají vliv veškeré materiály, které tvoří povrchy stropu, stěn, podlahy a všeho vnitřního vybavení a zařízení. Veškeré povrchy, se kterými přichází masa vnitřního vzduchu do kontaktu, jsou místem velkého zániku vzdušných iontů. Na velikosti této styčné plochy záleží, kolik iontů na ní zanikne. Je-li povrch drsný a nerovný, velikost kontaktního povrchu je pak vlastně větší a pravděpodobnost zániku iontů se zvyšuje. Tato plocha může být extrémní tehdy, je-li povrch porézní. Menší zánik iontů je na kompaktních materiálech vzniklých tavením se zcela hladkým povrchem. Zánik iontů jedné polarity je větší na površích opačně nabitých [5].

Zvláštním příkladem je sklo, které se nenabíjí a chová se jako izolant. Vzdušné ionty pouze odráží zpět do prostoru, takže v jeho blízkosti (okna, velká zrcadla a jiné zasklené plochy) vzniká jejich relativní převaha.

Ostatní používané materiály lze rozdělit na antistatické, omezeně elektrizovatelné, elektrizovatelné. Ovlivnit elektroiontové mikroklima ve své blízkosti mohou materiály různě elektrizovatelné, u látek antistatických k ovlivnění ionizace vzduchu nedochází. Zánik lehkých vzdušných iontů na površích materiálů závisí na velikosti a polaritě elektrostatického náboje na zvoleném povrchu, na fyzikálně-chemických vlastnostech látky, na elektrickém odporu materiálu, na permitivitě (vlivu elektrického pole na látku) a na vodivosti materiálu, dále ještě na relativní vlhkosti, teplotě a ionizaci vzduchu okolního prostředí. Materiály, pokud se dotýkají, se mohou navzájem nabíjet (předávat si elektrický náboj). Tento děj může probíhat jako elektrostatická indukce, dotykem nebo vázáním iontů z blízkosti. Odhad vlivu materiálu na elektroiontové mikroklima v jeho těsné blízkosti je bez měření velmi obtížný a pouze orientační. [6]

## **5. Vliv vzdušných iontů na lidský organismus**

### **5.1 Mechanismus působení iontů na lidský organismus**

Působení ionizovaného ovzduší na lidský organismus nebylo do dnešních dnů jednoznačně vysvětleno. Že k působení dochází, je však zřejmé. Člověk nemá čidlo, kterým by koncentraci vzdušných iontů přímo vnímal. Soudí se, že podprahové podněty jsou sumovány v centrálním nervovém systému a do organismu přenášeny pomocí serotoninu [2].

Vliv změn ionizace ovzduší na lidský organismus se uplatňuje především přes dýchací orgány, kde ionty nejnáze odevzdávají svůj náboj. Fyziologickými indikátory jejich účinku je sledování aktivity řasinkového epitelu v dýchacích cestách, tvorby hlenu, změn na elektroencefalogramu, změn krevního tlaku, pH krve, bazálního metabolismu, produkce hormonů, rychlosti dýchání, teploty a také subjektivních pocitů čilosti nebo únavy. Na základě některých prací lze předpokládat kladný vliv lehkých záporných iontů na hypertenzi, Basedowovou chorobu, bronchiální astma, revmatismus a také celkové ladění organismu – záporné ionty vyvolávají pocit svěžesti. Za zřetelný se dále pokládá vliv na tkáňové dýchání i na centrální a periferní nervový systém [2]. Je popsáno subjektivní vnímání vdechovaného vzduchu s převahou kladných iontů - takový vzduch byl hodnocen jako těžký a vzduch s převahou záporných iontů byl vnímán jako lehký, čerstvý, příjemný [6].

Působením záporných lehkých iontů se vysvětluje dobrý účinek dýchání horského nebo přímořského vzduchu na průběh některých chorob. V praxi je u nás léčebně využívána hydroionoterapie a speleoterapie (léčba pobytem v jeskyních). Léčebné účinky ionizovaného vzduchu se uplatňují i při klimaterapii v lázeňských místech s vyšší nadmořskou výškou (Jeseník, Karlova studánka) [4].

### **5.2 Speleoterapie**

Pojmem speleoterapie je označován interdisciplinární vědní obor, který se vyvinul na hranici mezi přírodními a lékařskými vědami. Zabývá se strukturou a dynamikou jeskynního prostředí, režimem jeho složek a zároveň studuje míru a způsob jejich vlivu i důsledky jejich působení na lidský organismus [9].



Speleoterapií se rozumí také soubor léčebných a doplňkových metod, stanovených na základě poznatků teoretické speleoterapie a využívajících specifických vlastností přírodního prostředí krasových jeskyní i některých umělých podzemních prostor (důlních děl) k léčbě určitých onemocnění nebo k omezení či dokonce odstranění poruch funkcí některých systémů lidského organismu [9].

Dosavadní poznatky ukázaly, že komplex dějů v jeskynním prostředí působí blahodárně na celý lidský organismus i cestou stimulace a modulace imunitního systému poškozeného devastovaným životním prostředím.

U nás se praktikuje speleoterapeutická léčba v Sloupsko Sošuvských jeskyních Moravského krasu, v dětské ozdravovně se speleoterapií Mladeč - Vojtěchov, nedaleko Javoříčských jeskyní a v sanatoriu Edel ve Zlatých Horách, kde je pro speleoterapii využíván starý důl.

Léčba probíhá tak, že během 3týdenního pobytu v léčebně tráví děti denně v jeskyni 2 – 3 hodiny, přičemž se střídají pohybové aktivity s činnostmi klidovými.

Např. v ozdravovně Mladeč - Vojtěchov bylo zjištěno, že významný léčebný efekt se dostavuje u 34% léčených pacientů, kteří nejméně rok nemusí užívat léky a dají se tak považovat za vyléčené. U 60% dochází ke značnému zlepšení zdravotního stavu, nutnost podávání léků se snižuje na polovinu [9].

## 6. Jeskynní mikroklima

### 6.1 Co obsahuje jeskynní mikroklima

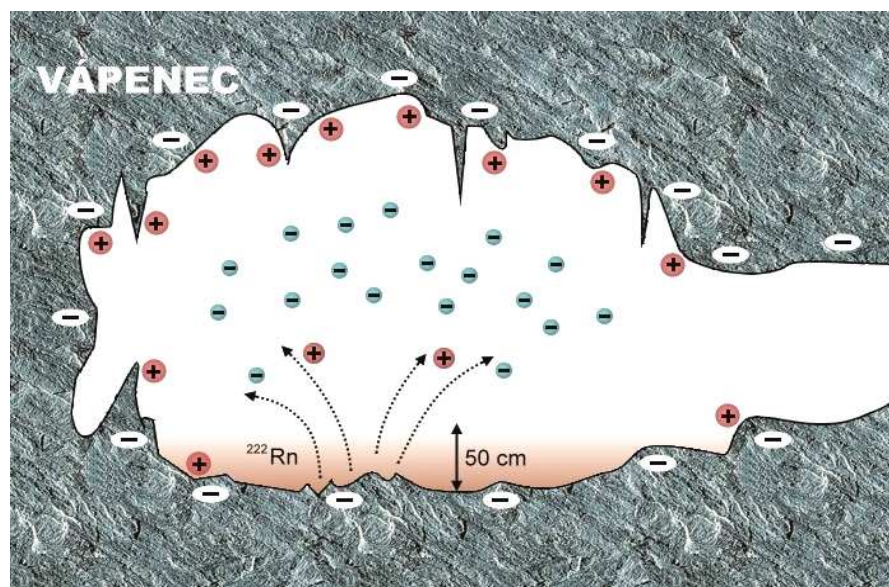
Relativní vlhkost vzduchu v jeskyni je okolo 90%, teplota během roku nepřesahuje 5–12 °C a prašnost je zde velice nízká. Všechny tyto faktory se mění v závislosti na tvaru a délce přístupové chodby do jeskyně. Významnou měrou ovlivňuje kvalitu a vhodnost jeskynního mikroklimatu také geologické složení horniny, tvar, rozloha a výška podzemního prostoru. Zjistilo se, že nejvhodnější jeskyně pro speleoterapii jsou ve vápencovém podloží. Vápenec obsahuje určitou hladinu radonu, který v jeskyni představuje jeden z největších ionizačních zdrojů, je zde tedy vhodné prostředí pro vznik a udržení iontů a zvláště volných záporných iontů [10].

Na pacienty v jeskyni kladně působí i radiace, která stimuluje imunitní systém. Nízká teplota přispívá ke zklidnění projevů alergických chorob. V jeskyni je také nízká koncentrace O<sub>3</sub> a CO<sub>2</sub>, což prohlubuje dýchání. Velikost částic ve speleo-aerosolu, obsah iontů Mg a Ca ve vzduchu a pH jeskyně mají protizánětlivý účinek. V jeskyni můžeme s pozitivním účinkem léčit tato onemocnění: onemocnění horních cest dýchacích, astma, bronchitidy a rýmy, hypertenze v počátečním stavu, septické stavy, neurózy a migrény, různé subjektivní potíže, deprese a duševní problémy [10].

### 6.2 Průběh ionizace v jeskyni

Radon Rn<sup>222</sup> přirozeně vyvěrá z vápencových stěn a dna jeskyně a vytváří jakési radonové jezero do výšky asi 50cm. Všechny kladné ionty rekombinují na záporně nabitých stěnách jeskyně a na molekulách vody, které kondenzují na stěnách a jsou silně zastoupeny i ve vzduchu. K formování negativního iontového mraku přispívá tvar jeskyně, protože stěny na záporném potenciálu odpuzují negativní náboj a vytlačují jej ke středu. Záporně nabitě stěny jeskyně přitahují kladné ionty a odpuzují záporně nabitě ionty, které vytvoří oblak v prostoru jeskyně. Ionty mezi sebou nezrekombinují, protože volné lehké záporné ionty mají oproti

ostatním částicím velmi vysokou pohyblivost. Ke zvýšení jejich pohyblivosti také přispívá i vysoká vlhkost vzduchu v jeskyni. Také velikost a hmotnost jednotlivých částic je rozdílná, takže ke vzájemné rekombinaci nedochází. Ionty nemohou zanikat ani na kondenzačních jádrech a prachových částicích, protože v jeskyních je prachu jen velice málo. Navíc se jeskyně při svých rozměrech a objemu sama čistí. Dále pak se zde uplatňuje také ionizace mechanickým tříštěním skapových vod [10]. Schéma rozložení iontového pole ve speleoterapeutické jeskyni je zobrazeno na obrázku č. 2.



Obr. 2.: Rozložení iontového pole ve speleoterapeutické jeskyni [4]

## **7. Ionizátory ovzduší**

Na základě kladných zkušeností s působením lehkých záporných iontů na pocit pohody a některé fyziologické parametry člověka byly vyvinuty ionizátory ovzduší. Tyto ionizátory se dělí na ionizátory elektrofluviální, ionizátory na principu korónových výbojů, radioaktivní a hydronamické ionizátory.

### **7.1 Ionizátory elektrofluviální**

pracují na principu vytvoření vysokého napětí mezi dvěma póly statického elektrického pole představovaného kovovým hrotem a sítkou okolo něho. Byly to jedny z prvních ionizátorů. První, kdo tento ionizátor zkonstruoval a v praxi použil, byl v r. 1925 A. P. Sokolov. Dokonalejší, ventilátorem opatřený „elektrofluviální lustr“ vyrobil již r. 1928 A. N. Čiževskij. Závažným nedostatkem těchto prvních ionizátorů byl vysoký obsah oxidů dusíku a ozónu v ovzduší. Dále byl jako závažný nedostatek kritizován vznik elektromagnetického pulsního pole [6].

### **7.2 Ionizátory na principu korónových výbojů**

pracují obdobně jako elektrofluviální. Principem je korónový výboj mezi dvěma elektrodami značně rozdílných rozměrů. Tím, že výbojové napětí je nízké, klesá tvorba ozónu a oxidu dusíku na stopové koncentrace. Na našem trhu je v současnosti nabídka řady firem, jsou vyráběny samostatně nebo společně s čističem vzduchu, mohou být pokojové, stolní, stropní, zabudované do osvětlovacích těles, přenosné nebo i závěsné na krk pro alergiky [4], [6].

### 7.3 Radioaktivní ionizátory

využívají jako zdroje ionizační energie  $\beta$  záření tritia  ${}^3_1H$ , které má poměrně nízkou energetickou úroveň. Jsou však velmi drahé, jsou používány spíše jako experimentální [6].

### 7.4 Hydrodynamické ionizátory

využívají Lenardova efektu, při kterém dochází k ionizaci následkem tříštění kapek hydrodynamickou silou při prudkém nárazu vody na tvrdý podklad. Funkce takovýchto ionizátorů je většinou spojena i s funkcí zvlhčovače vzduchu. Uplatňují se zejména v lázeňství [4], [6].

### 7.5 Působení ionizátorů

V některých průmyslových podnicích se při použití ionizátoru popisovalo zlepšení výkonu a pokles únavy. Při ionizaci vzduchu přiváděného do dílny v oděvním závodě pozorovali snížení prašnosti a počtu mikroorganismů ve vzduchu, což bylo vyloženo tak, že prašné částice i mikroorganismy získávaly použitým vysokým napětí takový náboj (70 kV), že se usazovaly na nejbližších opačně nabitých plochách [2].

Nevhodné je však použití ionizátorů v provozech, kde jsou v ovzduší přítomny toxické aerosoly: v důsledku ionizace vzrůstá riziko jejich retence v plicích exponovaných osob [2].

## **8. Měření iontů**

### **8.1 Metody měření**

Pro měření koncentrace vzdušných iontů existuje několik metod: metoda nepohybujícího se vzorku vzduchu (rozptylové metody), metoda paralelních měření (iontospektrometr), metoda Faradayovy klece a metoda aspiračního iontometru (kondenzátoru) [1]. Nejčastěji se užívá metoda aspiračního kondenzátoru, neboť její pomocí je možné měřit koncentraci iontů v širokém rozsahu pohyblivosti a s dobrou rozlišovací schopností. Pro stanovení vlastností iontového pole je důležité znát nejenom koncentraci iontů určité polarity ale i stanovit vzájemný poměr iontů lehkých, středních a těžkých. Tento poměr charakterizuje spektrální charakteristika iontového pole.

Stanovení spektrálních charakteristik je ovlivněno celou řadou náhodných faktorů. Měření musí být prováděno po dlouhou dobu se zaznamenáním většího počtu parametrů charakterizujících okolí a podmínky měření. Problematika měření koncentrace atmosférických iontů není v současné době uzavřena [1].

### **8.2 Metodika měření a hodnocení elektroiontového mikroklimatu**

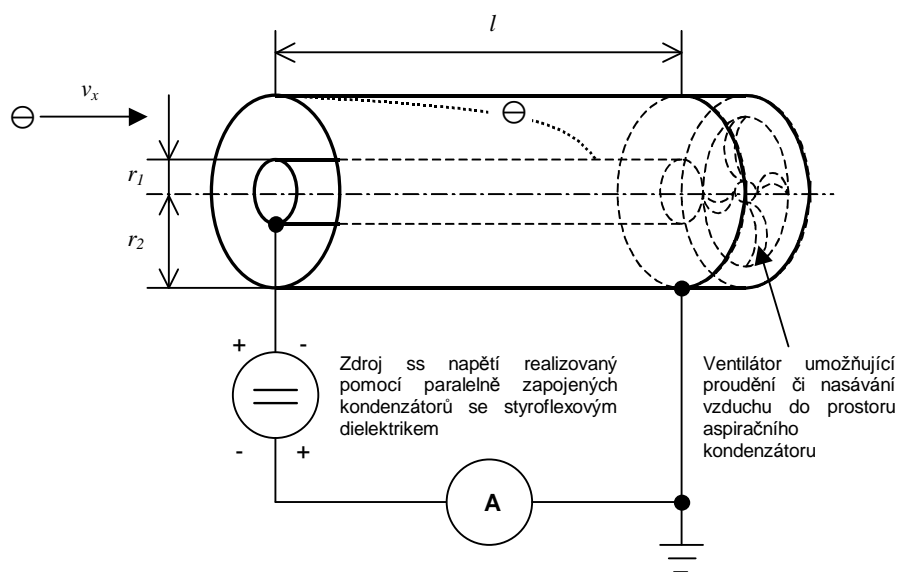
V současné době u nás nejsou stanovena ani závazná kritéria pokud se týká metodiky měření a hodnocení výsledků elektroiontového mikroklimatu. Například Státní zdravotní ústav Praha, který provádí měření ionizace vzduchu na pracovištích i hodnocení průmyslově vyráběných ionizátorů postupuje při měření elektroiontového mikroklimatu podle interní metodiky [6]. Měření provádí standardním způsobem, aby byla možnost výsledky srovnávat. Koncentrace iontů měří v dýchací zóně, t.j. v výšce 165 cm nad úrovní podlahy u stojícího a 105 cm u sedícího člověka. Součástí měření je stanovení mikroklimatických parametrů (teploty a relativní vlhkosti vzduchu). Měření se provádí buď na určeném, zpravidla pracovním místě,

nebo - pokud je třeba charakterizovat celou místnost - ve středu, v průsečíku jejích úhlopříček.

Při dosud chybějících limitech se SZÚ Praha při vydávání doporučení řídí těmito kritérii: pro dlouhodobý pobyt v interiéru se doporučuje jako optimální koncentrace lehkých záporných iontů  $1250 \pm 50 \text{ iontů.cm}^{-3}$ . Jako dlouhodobé, ještě přijatelné minimum  $250 \pm 50$  lehkých záporných iontů. $\text{cm}^{-3}$ . Obecně se doporučuje, aby koncentrace záporných iontů při umělé ionizaci ovzduší nepřesáhla  $5\,000 \text{ iontů.cm}^{-3}$ . To je nejvyšší hodnota, se kterou je možno se setkat v člověkem nedotčené přírodě. Na vyšší koncentrace iontů není člověk dlouhodobě adaptován [6], [7].

### 8.3 Princip použití metody s aspiračním kondenzátorem

Podrobněji bych se chtěl zabývat způsobem měření pomocí aspiračního kondenzátoru, který se používá k měření koncentrace lehkých vzdušných iontů. Pomocí ventilátoru s regulovatelnými otáčkami je do aspiračního kondenzátorem nasáván vzduch, který obsahuje úplné spektrum vzdušných iontů s různou pohyblivostí, od lehkých přes střední, až po těžké. Měřicí obvod je napájen zdrojem stejnosměrného napětí. Ten je realizován pomocí dvojice paralelně zapojených kondenzátorů. Kondenzátorů jako zdroje napětí se používá proto, že měřený proud vyvolaný zachycenými ionty na kolektoru je velmi malý  $10^{-11} - 10^{-13} \text{ A}$ , a proto musí být svodový proud zdroje vždy nejméně o řád menší tj.  $< 10^{-14} \text{ A}$ . Tuto podmínku splňují právě paralelně zapojené kondenzátory s vhodným kvalitním dielektrikem (styroflex) [4]. Výhodou je rovněž stabilita či malé zvlnění takového zdroje a izolace od okolí. Pokud se jedná o měření negativních iontů, je na kolektor přivedeno kladné napětí  $+U_{AK}$  a analogicky při měření pozitivních iontů je na kolektor přivedeno záporné napětí  $-U_{AK}$ , jak je zřejmé z obr. č. 3.



Obr. 3.: Sestavení měřicího obvodu s aspiračním kondenzátorem [4]

Dielektrikum v aspiračním kondenzátoru je tvořeno vzduchem. Kondenzátor tvoří dvě elektrody válcového tvaru. Sběrnou elektrodu nazýváme kolektor .

U válcového kondenzátoru je kolektorem středová elektroda. Mezi vnější a vnitřní elektrodou u válcového kondenzátoru, nebo mezi oběma elektrodami deskového kondenzátoru, který bude popsán v další metodě, je elektrické pole o známé intenzitě  $E_{AK}$ . Průměry elektrod měřicího aspiračního kondenzátoru jsou v poměru 2:1 tzn. poloměr vnější elektrody  $r_2 = 40\text{mm}$  a poloměr kolektoru  $r_1 = 20\text{mm}$ . Pro přepočítání napětí na intenzitu elektrického pole aspir. kondenzátoru používáme následující vztah, který vyjadřuje střední hodnotu intenzity elektrického pole mezi oběma elektrodami aspir. kondenzátoru [4]:

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

Na intenzitě tohoto pole závisí množství, resp. spektrum iontů, které budou zachyceny sběrnou elektrodou. Tyto zachycené vzdušné ionty způsobují vodivost mezi elektrodami a uzavření proudové cesty v obvodu. Měřené proudy nabývají velmi malých hodnot v rozmezí  $10^{-13}$  až  $10^{-11}\text{A}$ .



S tím je spojen problém volby měřicích přístrojů, které dokáží měřit takové malé proudy a zároveň musí vykazovat velmi vysoký vnitřní odpor. Použití vodičů v obvodu je rovněž ovlivněno velikostí proudů z pohledu průměru samotného vodiče. Ten musí být co nejmenší. Neboť kapacita vodičů vůči okolí musí být malá ve srovnání s kapacitou aspiračního kondenzátoru, která je  $C_{AK} = 40$  pF. To znamená, že kapacita vodičů a spojů musí být maximálně  $C_{VS} = 1 - 3$  pF.

Nejmenší nebo také mezní pohyblivost iontů, které bude sbírat kolektorová elektroda kondenzátoru při dané intenzitě elektrického pole, vypočítáme dle následujícího vztahu

$$k_m = \frac{M}{4 \cdot \pi \cdot C_p \cdot U_{AK}} = \frac{3 \cdot M}{32 \cdot \pi \cdot C_p \cdot \ln 2 \cdot E_{AK}} = \frac{9,3602}{E_{AK}} \quad (2)$$

Samotné měření iontového proudu  $I_{iont}$  začíná měřením svodového proudu  $I_s$ . Tento proud se měří v klidovém stavu, tj. při vypnutém ventilátoru. Jeho velikost pak vyjadřuje hodnotu proudu vlivem nedokonalé izolace elektrod aspiračního kondenzátoru. Největší vliv na velikost svodového proudu má úroveň relativní vlhkosti vzduchu v okolí měřicího systému. Po spuštění ventilátoru se začne do prostoru mezi elektrodami nasávat vzduch a probíhá měření celkového proudu  $I_c$ . Ten je dán součtem zmíněného svodového proudu a iontového proudu  $I_c = I_{iont} + I_s$ . Prostou úpravou pak dostaneme požadovaný iontový proud  $I_{iont} = I_c - I_s$ . Laminární proudění aspiračního kondenzátoru je zajištěno ventilátorem, jehož rychlost nasávání vzduchu se měří pomocí anemometru.

## 8.4 Veličiny charakterizující měřené iontové pole

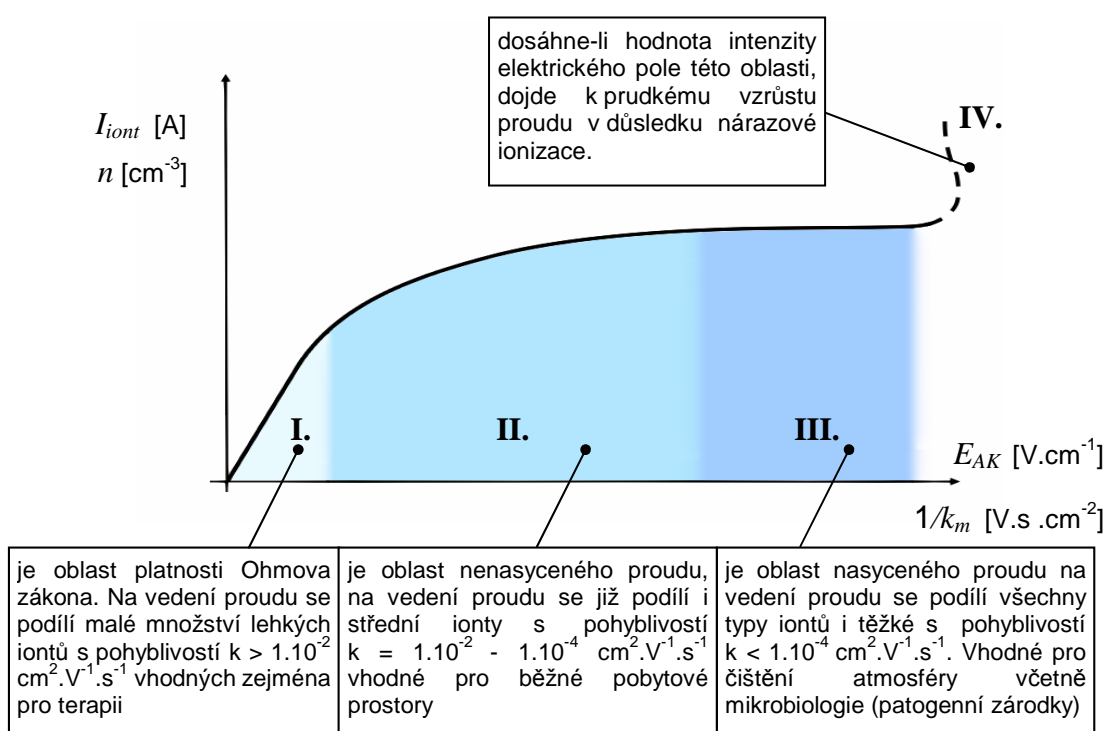
### 8.4.1 Koncentrace iontů

Koncentrace iontů vyjadřuje počet iontů v jednotce objemu  $[1 \text{ cm}^3]$  vzduchu. Je nutné udávat, zda jde o pozitivní ionty  $n_+$  či negativní ionty  $n_-$ . Pro výpočet koncentrace iontů pak platí následující vztah (3), pomocí kterého jsou vypočítány koncentrace iontů z naměřeného celkového proudu [4] .

$$n = \frac{I_c - I_s}{e \cdot M} = \frac{I_{iont}}{e \cdot M} \quad (3)$$

### 8.4.2 Saturační charakteristika prostředí

Udává závislost měřeného iontového proudu  $I_{iont}$  na intenzitě elektrického pole  $E_{AK}$  (gradient mezi elektrodami). Rovněž se může namísto proudu udávat přepočtená hodnota koncentrace iontů  $n$  (příslušné polarity), nebo můžeme tuto charakteristiku vyjádřit v závislosti na mezní pohyblivosti  $1/k_m$ . Všechny tyto čtyři kombinace pak vyjadřují stav koncentrace iontového pole pro měřené prostředí a samotná charakteristika má podobu následujícího obr. 4.: saturační charakteristika prostředí. [4]



Obr.4.: Saturační charakteristika prostředí [4]

### 8.4.3 Spektrální charakteristiky

Spektrální charakteristika  $f(k)$  je závislost množství (koncentrace) iontů dané pohyblivosti na pohyblivosti. Protože aspirační metodou je zjišťováno množství iontů s pohyblivostí větší než je mezní pohyblivost aspiračního kondenzátoru -  $k_m$ , je možné ze změřené saturační charakteristiky vypočítat charakteristiku spektrální. Je několik možností. První z nich je graficky přímo na saturační charakteristice stanovit významné body spektrální charakteristiky tak, jak je to znázorněno na obr.5. Tento způsob je jen pro orientační stanovení koncentrace lehkých nebo středních iontů v měřeném prostoru. Druhou možností je grafický způsob nahradit výpočtem podle vztahu (4) pro všechny změřené body [1].

Přesnost výpočtu spektrálních charakteristik z charakteristik saturačních je značně ovlivněna několika faktory. Výpočet, který využívá první nebo druhé derivace saturační charakteristiky, zvýrazňuje šum a fluktuace na saturační charakteristice. Pro malý pokles charakteristiky bude derivace záporná a spektrální charakteristika bude mít jednu nebo více oblastí se zápornou koncentrací iontů, což je fyzikálně nesprávné. Druhým zdrojem chyb je výpočet derivace pro dané napětí. Použitím diference se bude posouvat spektrální charakteristika k menším nebo větším hodnotám pohyblivosti, podle postavení referenčního napěťového bodu. Proto je nutné derivaci počítat ze tří a více napěťových bodů.

Druhým faktorem, ovlivňujícím přesnost výpočtu spektrální charakteristiky, jsou šum a fluktuace saturační charakteristiky. Ty lze snížit proložením měřených bodů saturační charakteristiky vhodnou funkcí a pak provést výpočet s výrazně větším počtem napěťových bodů. V některých případech může nerovnoměrné dělení osy pohyblivosti u spektrální charakteristiky, vznikající při přepočtu napětí  $U$  na pohyblivost  $k$  zvýšit chybu při stanovení spektrální charakteristiky. Je to dobře viditelné u všech spektrálních charakteristik v oblasti vyšších pohyblivostí. [1]

Pro měření iontů i vodivosti metodou aspiračního kondenzátoru existuje několik možností měření:

1. Za přítomnosti pouze jednoho druhu iontů dané pohyblivosti. Rostoucí část reprezentuje vztah (4)

$$i = M \cdot e \cdot n \cdot \frac{k}{k_m} \quad (4)$$

a měřený proud je úměrný polární vodivosti.

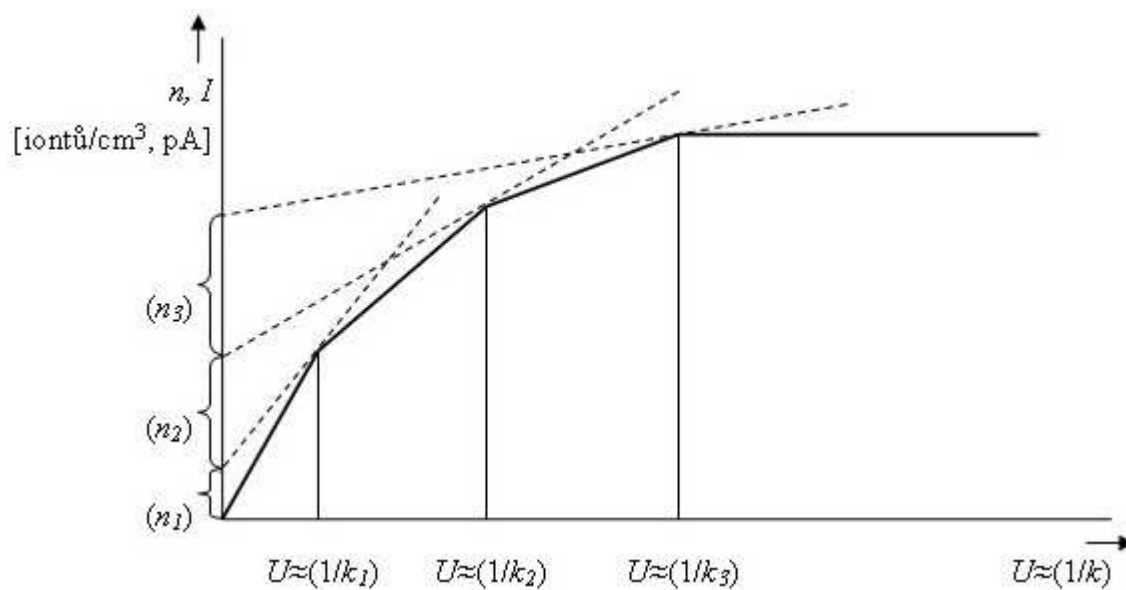
Saturační proud (5)

$$i_s = M \cdot e \cdot n \quad (5)$$

udává iontovou hustotu (počet iontů na jednotku objemu). Poloha bodu zlomu charakteristiky definuje pohyblivost iontů. Ke zlomu charakteristiky dojde v místě rovnosti  $k$  a  $k_m$ .

2. Jestliže se v měřeném prostoru vyskytuje zároveň několik druhů iontů s různou pohyblivostí, obdržíme charakteristiku s odpovídajícím počtem zlomů (na obr.5. je nakreslena pro tři druhy iontů [8]). Část procházející počátkem je úměrná vodivosti, zlomy udávají pohyblivost a změny směrnic odpovídají hustotě iontů jednotlivých pohyblivostí. Toto rozdělení iontů podle jejich hustoty respektive podle pohyblivosti se nazývá "iontové spektrum".
3. Ve většině případů se vyskytuje spojitě rozdělení iontů s různými pohyblivostmi. Iontové spektrum je dáno vztahem (6) [1]

$$\frac{dn}{dk} = f(k) \quad (6)$$



Obr.5.: Charakteristika aspiračního kondenzátoru pro ionty s hustotami  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  a pohyblivostmi  $k_1$ ,  $k_2$  a  $k_3$  [8]

## 9. Výsledky měření

### 9.1 Postup měření

Praktickou částí mé bakalářské práce bylo měření iontového pole v prostředí iontové laboratoře UETE FEKT v Brně, Údolní 53. Zaměřil jsem se na měření saturační charakteristiky prostředí pro negativní ionty.

Měření bylo provedeno metodou aspiračního kondenzátoru. Dále bylo měřeno elektrostatické pole v okolí ionizátoru pomocí elektrostatického voltmetru s hrotem.

Laboratoř simuluje podmínky běžného pobytového prostoru bez jakékoliv speciální úpravy podlah a okolních stěn, které by napomáhaly ke zvětšení a udržení požadované koncentrace iontového pole.

Pro tvorbu iontů po dobu měření byl využit ionizátor umístěný ve vzdálenosti 1 metr od ústí aspiračního kondenzátoru. Hodnoty napětí mezi elektrodami kondenzátoru jsem volil dle zadání od 100 do 500 V. Na zdroji vysokého napětí pro ionizátor jsem volil hodnoty v rozmezí od -5 do -7 kV.

Ve stanovených vzdálenostech od zdroje iontů byly pomocí elektrostatického voltmetru s hrotem proměřeny hodnoty napětí elektrostatického pole.

### 9.2 Rozbor naměřených hodnot

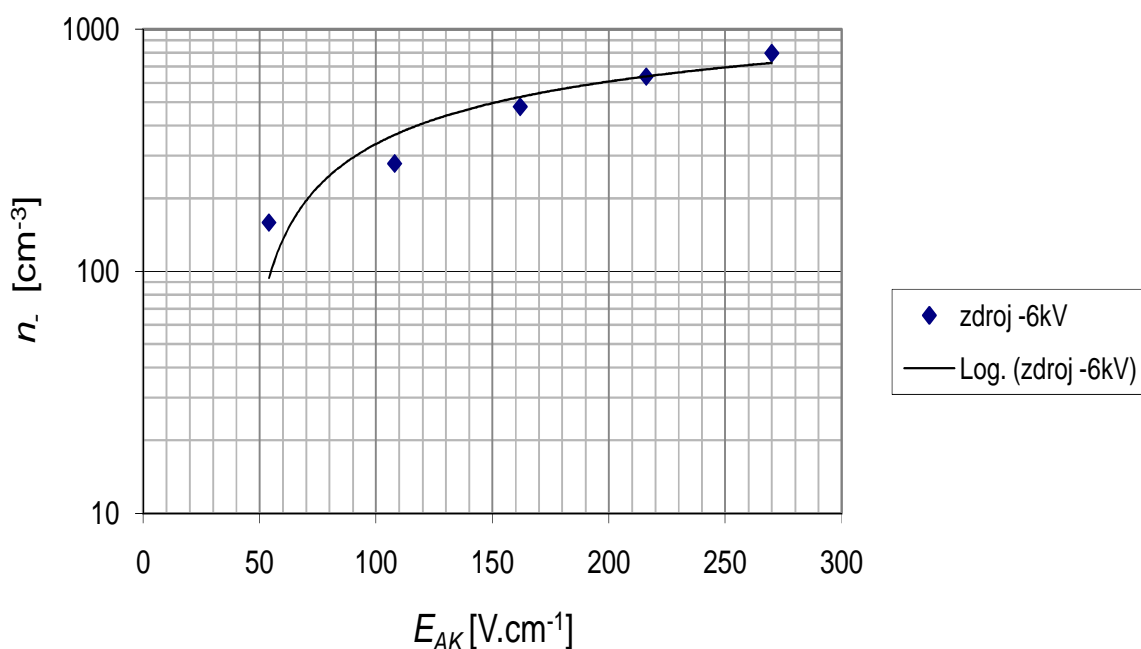
Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4., tyto hodnoty byly zpracovány do grafu č. 1: Saturační charakteristika prostředí negativních iontů. Z grafu vyplývá, že koncentrace negativních iontů strmě roste v oblasti nižší intenzity elektrického pole, což je dáno vysokou pohyblivostí lehkých negativních iontů, které se velmi snadno zachytávají na kolektoru měřícího aspiračního kondenzátoru. Dále průběh sledované závislosti stoupá už jen mírně až do oblasti saturace, kdy už by měl zůstat konstantní, tyto hodnoty už v rámci mého zadání nebyly proměřeny. Oblast saturace je vysvětlována tak, že v okolním prostoru se už nenalézá více iontů zkoumané pohyblivosti (větší a těžší ionty), které by se zachytávaly na kolektoru a

způsobovaly by tak větší vodivost vzduchu. Je to rovněž oblast maxima koncentrace iontového pole v daném uzavřeném prostoru.

Napětí na AK	Gradient mezi elektrodami AK	Svodový proud	Celkový proud	Iontový proud	Koncentrace iontů	Mezní pohyblivost iontů	Napětí na zdroji iontů
$U_{AK}$ [V]	$E_{AK}$ [ $V \cdot cm^{-1}$ ]	$I_S$ [A]	$I_C$ [A]	$I_{iont}$ [A]	$n_e$ [ $cm^{-3}$ ]	$k_m$ [ $cm^2 \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$ ]	$U_z$ [kV]
100	54	2,00E-13	4,00E-13	2,00E-13	159	1,73E-01	-6
200	108	1,50E-13	5,00E-13	3,50E-13	278	1,15E-01	-6
300	162	4,00E-13	1,00E-12	6,00E-13	477	4,33E-02	-6
400	216	5,00E-13	1,30E-12	8,00E-13	637	5,77E-02	-6
500	270	5,00E-13	1,50E-12	1,00E-12	796	3,47E-02	-6

Pracovní podmínky : Teplota 22°C, Tlak 1015 hPa, Relativní vlhkost 6 0%

Tab. č. 4.: Naměřené hodnoty pro saturační charakteristiku



graf č. 1 Saturační charakteristika prostředí negativních iontů

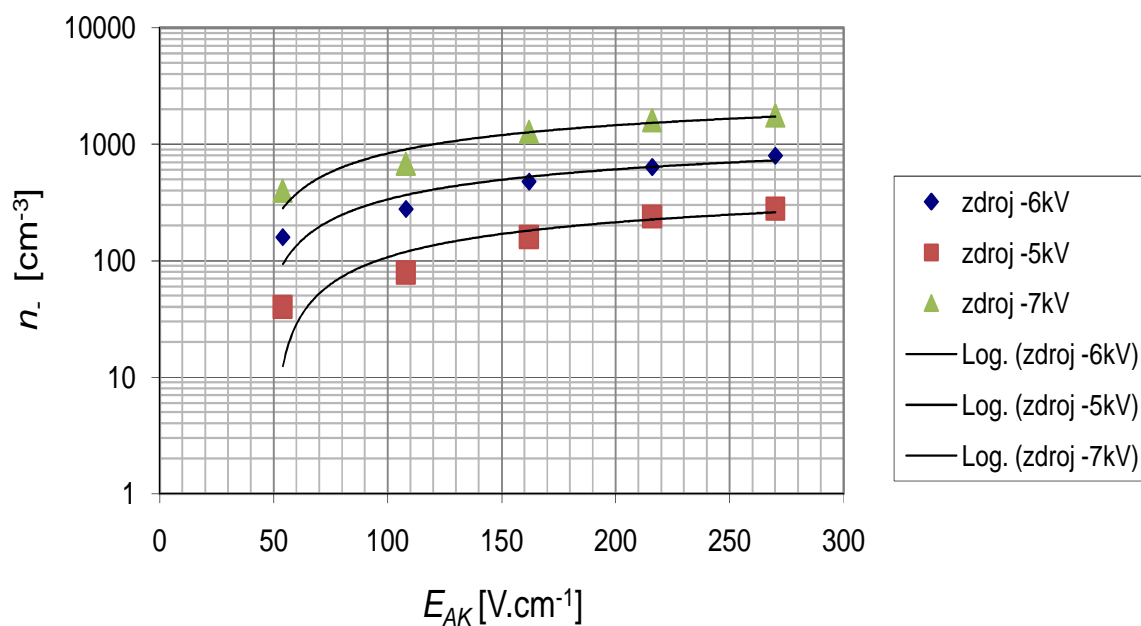
Tabulka naměřených hodnot č. 5 a na jejím základě vytvořený graf č. 2 dokladují jak při zvyšujícím se napětí na ionizátoru stoupá počet generovaných iontů.

Napětí na AK	Gradient mezi elektrodami AK	Svodový proud	Celkový proud	Iontový proud	Koncentrace iontů	Mezní pohyblivost iontů	Napětí na zdroji iontů
$U_{AK}$ [V]	$E_{AK}$ [V.cm <sup>-1</sup> ]	$I_S$ [A]	$I_C$ [A]	$I_{iont}$ [A]	$n$ . [cm <sup>-3</sup> ]	$k_m$ [cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	$U_z$ [kV]
100	54	2,00E-13	4,00E-13	2,00E-13	159	1,73E-01	-6
200	108	1,50E-13	5,00E-13	3,50E-13	278	1,15E-01	-6
300	162	4,00E-13	1,00E-12	6,00E-13	477	4,33E-02	-6
400	216	5,00E-13	1,30E-12	8,00E-13	637	5,77E-02	-6
500	270	5,00E-13	1,50E-12	1,00E-12	796	3,47E-02	-6
100	54	1,50E-13	2,00E-13	5,00E-14	40	1,73E-01	-5
200	108	1,50E-13	2,50E-13	1,00E-13	79	1,15E-01	-5
300	162	3,00E-13	5,00E-13	2,00E-13	159	4,33E-02	-5
400	216	4,00E-13	7,00E-13	3,00E-13	239	5,77E-02	-5
500	270	4,00E-13	7,50E-13	3,50E-13	279	3,47E-02	-5
100	54	3,00E-13	8,00E-13	5,00E-13	398	1,73E-01	-7
200	108	4,00E-13	1,25E-12	8,50E-13	677	1,15E-01	-7
300	162	6,00E-13	2,20E-12	1,60E-12	1274	4,33E-02	-7
400	216	6,00E-13	2,60E-12	2,00E-12	1596	5,77E-02	-7
500	270	7,00E-13	3,20E-12	2,50E-12	1990	3,47E-02	-7

Pracovní podmínky : Teplota 22°C, Tlak 1015 hPa, Relativní vlhkost 6 0%

Tab. č. 5.: Naměřené hodnoty pro saturační charakteristiku při různých napětích na ionizátoru





graf č. 2 Saturační charakteristiky při různých napětích na ionizátoru

Tab. č. 6. ukazuje velikost elektrostatického napětí v různých vzdálenostech od ionizátoru (50 cm dlouhý vodič, na jehož jednu stranu je připojeno vysoké záporné napětí), které bylo naměřeno pomocí elektrostatického elektrometru s hrotem. Tímto přístrojem jsme schopni měřit jen přibližnou hodnotu elektrostatického napětí v určené vzdálenosti od zdroje iontů. Nelze však na rozdíl od měření pomocí aspiračního kondenzátoru rozlišit velikost iontů.

Vertikální poloha vůči ionizátoru	Vzdálenost od ionizátoru	Horizontální poloha měřícího hrotu od začátku 50 cm dlouhého vlákna ionizátoru, po jeho konec	Změřené elektrostatické napětí
[cm]	[cm]	[cm]	U[V]
-20	35	0	910
-20	35	12,5	860
-20	35	25	800
-20	35	37,5	710
-20	35	50	600
-20	45	0	840
-20	45	12,5	800
-20	45	25	755
-20	45	37,5	650
-20	45	50	545
-20	55	0	800
-20	55	12,5	760
-20	55	25	600
-20	55	37,5	505
-20	55	50	400
0	35	0	970
0	35	12,5	920
0	35	25	860
0	35	37,5	750
0	35	50	650
0	45	0	900
0	45	12,5	850
0	45	25	805
0	45	37,5	700
0	45	50	600
0	55	0	850
0	55	12,5	800
0	55	25	650
0	55	37,5	550
0	55	50	450
20	35	0	895
20	35	12,5	845
20	35	25	800
20	35	37,5	700
20	35	50	590
20	45	0	850
20	45	12,5	800
20	45	25	750
20	45	37,5	650
20	45	50	540
20	55	0	800
20	55	12,5	750
20	55	25	610
20	55	37,5	500
20	55	50	400

Tab. č. 6.: rozložení elektrostatického napětí v různých vzdálenostech od ionizátoru

## 10. Závěr

Při zpracování své bakalářské práce jsem se zaměřil na pochopení problematiky iontového pole. V dostupné literatuře jsem studoval podstatu vzniku iontů, již známé údaje o působení elektroiontového mikroklimatu na lidský organismus, také jsem se zabýval poznatky o faktorech ovlivňujících koncentraci iontů v obytných prostorech i ve venkovním prostředí.

V souvislosti se studiem vlivu lehkých záporných iontů na lidský organismus jsem se snažil shromáždit co nejvíce poznatků o využití příznivého působení lehkých záporných iontů v rámci speleoterapie. Soustředil jsem se na pochopení vzniku příznivého elektroiontového mikroklimatu v jeskyních využívaných pro speleoterapii.

Následně jsem zkoumal principy měření a hodnocení iontového mikroklimatu, zaměřil jsem se zejména na možnosti stanovení hodnot saturační charakteristiky iontového pole.

Mým cílem bylo získat maximum teoretických informací a tyto následně ověřit při konkrétních měřeních vlastností iontového pole, které jsem prováděl v laboratorních podmínkách. Tato měření navazují na měření, která byla v iontové laboratoři prováděna v rámci bakalářských a diplomových prací mými předchůdci. Chtěl jsem tak na sérii měření ověřit vlastnosti iontového pole a aspoň malým dílem přispět ke snahám o zavedení jednotné metodiky pro měření a hodnocení elektroiontového mikroklimatu.

## 11. Použité symboly

$C_{AK}$	[F]	kapacita AK
$C_P$	[F]	parametr vztahující se k rozměrům A.K.
$C_{vs}$	[F]	Kapacita vodičů a spojů AK
$e$	[C]	jednotkový náboj $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
$E_{AK}$	[V.cm <sup>-1</sup> ]	intenzita el. pole uvnitř válcového AK
$f(k)$	[-]	spektrální funkce iontů
$i$	[A]	Elektrický proud
$i_s$	[A]	Saturační proud
$I_c$	[A]	změřená hodnota celkového proudu se zapnutým ventilátorem
$I_{iont}$	[A]	proud vyvolaný dopadem iontů o pohyblivosti $k \geq k_m$ na katodu AK
$I_s$	[A]	změřená hodnota svodového proudu
$k$	[cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	pohyblivost iontu
$k_m$	[cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	mezní (kritická) pohyblivost iontů
$l$	[cm]	délka vnitřní elektrody potažmo celého AK
$M$	[cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	objemová rychlost vzduchu AK-
$n$	[cm <sup>-3</sup> ]	koncentrace iontů
$n_+$	[cm <sup>-3</sup> ]	koncentrace kladných iontů
$n_-$	[cm <sup>-3</sup> ]	koncentrace záporných iontů
$p_u$	[-]	koeficient unipolarity iontů
$r_1$	[cm]	poloměr vnitřní elektrody
$r_2$	[cm]	poloměr vnější elektrody
$t$	[s]	čas
$U_{AK}$	[V]	napětí mezi elektrodami AK
$U$	[V]	napětí
$U_Z$	[kV]	Napětí na zdroji iontů

## 13. Použitá literatura

- [1] Bartušek, K.: Měření spektrálních charakteristik iontových polí, Elektrevue 2001, ISSN 1213-1539, dostupné na <http://www.elektrewuecz/clanky/01038/index.html>
- [2] Bencko V. a kol.: HYGIENA Učební texty k seminářům a praktickým cvičením, Praha 1998, ISBN 80-7184-551-5
- [3] Buřival Z, Vognar J.: Potřeba tvorby životního prostředí, poster VUT v Brně, FEKT
- [4] Hradecký, J.: Ionťová pole v pobyťových prostorech, Diplomová práce, VUT v Brně, FEKT, 2004, 66 s.
- [5] Kolář R.: Příčiny nízké koncentrace aeroionů v budovách a kritéria pro jejich posuzování, VUT Brno, FAST
- [6] <http://www.zeleneuradovani.cz> Syndrom nemocných budov
- [7] [http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/elektroionťové mikroklima](http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/elektroionťové_mikroklima)
- [8] Škvor M.: Metrologie vzdušných ionťů, bakalářská práce, VUT Brno, FEKT., Ústav telekomunikací, 2008
- [9] <http://www.detskaspeloterapie.cz/speleoterapie.htm>
- [10] <http://www.inovace.cz/for-life/zivotni-styl/clanek/vliv-ionťoveho-pole-na-zdravi-cloveka/>