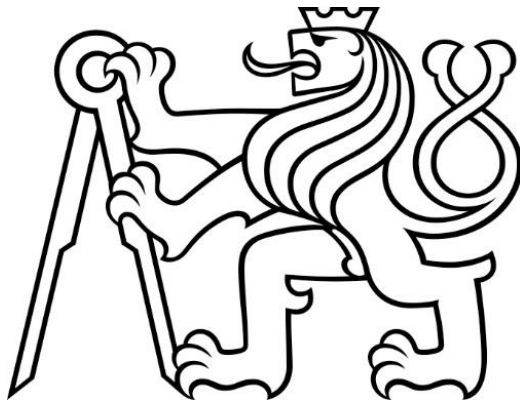


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**KONCENTRACE VZDUŠNÝCH IONTŮ A JEJICH
VLIV NA ČLOVĚKA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Tereza Faltysová

Vedoucí práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

2018/2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Faltysová</u>	Jméno: <u>Tereza</u>	Osobní číslo: <u>409678</u>
Zadávací katedra: <u>K125 - Katedra technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Koncentrace vzdušných iontů a jejich vliv na člověka</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Concentration of air ions and their influence on humans</u>	
Pokyny pro vypracování: Zpracujte komplexní rešerši stávajících poznatků v dané problematice; zejména pak: - vliv vzdušných iontů na člověka - vznik a výskyt iontů, faktory ovlivňující jejich koncentraci ve vzduchu - hodnocení kvality vzduchu z hlediska iontového mikroklima	
Praktická část: Proveďte měření koncentrací vzdušných iontů ve vybraných vnějších a vnitřních prostředích (zejména v obytných a pobytových místnostech s přirozeným a nuceným větráním). Získaná data analyzujte a formulujte závěry; včetně vlivu jednotlivých faktorů popsanych v rešerši.	
Seznam doporučené literatury: LAJČÍKOVÁ, A. - Koncentrace atmosférických iontů v ovzduší klimatizovaných pracovišť. VVI: Vytápění Větrání Instalace. Společnost pro techniku prostředí, 2004, 2004(1), 34-36. ISSN 1210-1389. Dostupné také z: http://www.stper.cz/cz/cislo-1-2004 BUŘIVAL, Z., MOHELNÍKOVÁ, J. - Bioklimatické prostředí budov. Ochrana ovzduší: Dvoutměsíčník České asociace pro prevenci znečišťování ovzduší (CA-IUAPPA). Praha: UIAPPA, 2000, 2000, SECTION A: 95-97. ISSN 1211-0337. Dostupné také z: http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/A_26.pdf LAJČÍKOVÁ, A. - Elektroiontové mikroklima. Státní zdravotní ústav [online]. Praha: SZÚ, 2007, 13. listopad 2007 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/elektroiontove-mikroklima	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>26.2.2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>19.5.2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>28.2.2019</u> Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
---	---------------------

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, 26. 5. 2019

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Zuzaně Veverkové, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této diplomové práce, především ale děkuji za obětavost, trpělivost, věnovaný čas a entusiasmus. Dále děkuji Katedře technických zařízení budov za zapůjčení laboratoře a všech přístrojů a doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za pomoc při měření koncentrace radonu.

Obsah

ABSTRAKT	1
ÚVOD	3
I. TEORETICKÁ ČÁST	5
1. Úvod	5
1.1. Vnitřní prostředí budov	5
1.2. Iontové mikroklima	5
2. Historie	5
3. Vzdušné ionty	6
3.1. Elektrické pole Země	6
3.2. Vznik a zánik iontů	8
3.3. Klasifikace iontů	9
4. Výskyt vzdušných iontů	10
4.1. Zdroje iontů	10
4.1.1. Přirozené zdroje	10
4.1.2. Umělé zdroje iontů	13
4.2. Faktory ovlivňující koncentraci iontů	14
4.2.1. Náboj iontu a pohyblivost	14
4.2.2. Množství aerosolů ve vzduchu	14
4.2.3. Zdroj záporných iontů	15
4.2.4. Teplota vzduchu, vlhkost vzduchu	15
4.2.5. Intenzita slunečního záření	15
4.2.6. Intenzita elektrického pole	15
4.2.7. Tlak	15
4.2.8. Denní doba, měsíční a roční období	15
4.2.9. Počasí	16
4.2.10. Nadmořská výška	16
4.2.11. Geologické složení zemské kůry	16
4.2.12. Stavební materiály	16
4.2.13. Povrchové úpravy a vybavení interiéru	17
4.2.14. Nucené větrání a úprava vzduchu	17
4.3. Význam radonu v iontové problematice	18
4.4. Koncentrace iontů	18
4.4.1. Měření koncentrace iontů	19
5. Využití iontů	20

6.	Vliv iontů na lidský organismus	23
6.1.	Mechanismus	23
6.2.	Efekt působení záporných iontů na lidský organismus	24
6.2.1.	Speleoterapie	25
7.	Iontové mikroklima v interiéru.....	26
7.1.	Zdroje iontů v interiéru	26
7.2.	Hodnocení iontového mikroklima	26
7.3.	Doporučení pro zajištění optimálních podmínek iontového mikroklima v interiéru	27
7.4.	Ionizátory.....	28
II.	PRAKTICKÁ ČÁST	29
8.	Úvod	29
9.	Měření	29
9.1.	Hypotéza.....	29
9.1.1.	Vliv nuceného větrání v porovnání s přirozeným.....	29
9.1.2.	Vliv vyvětrání oknem	30
9.1.3.	Vliv pobytu osob	30
9.1.4.	Vliv radonu	30
9.1.5.	Vliv CO ₂	30
9.2.	Přístroje	31
9.3.	Metodika	32
9.4.	Popis objektů	33
9.4.1.	Objekt č. 1 – Bytový dům Smíchov	34
9.4.2.	Objekt č. 2 – Bytový dům Dejvice	34
9.4.3.	Objekt č. 3 - Rodinný dům Velká Dobrá,	34
9.4.4.	Objekt č. 4 - RD Kladno	35
9.4.5.	Objekt č. 5 – Rodinný dům Jizerské hory.....	35
9.4.6.	Objekt č. 6 - Budova A Fakulty stavební ČVUT	35
9.5.	Podmínky měření	35
10.	Měření koncentrace vzdušných iontů	40
10.1.	Vliv nuceného větrání v porovnání s přirozeným.....	45
10.2.	Vliv větrání oknem.....	50
10.3.	Vliv pobytu osob	54
10.4.	Vliv radonu	58
10.5.	Vliv CO ₂	58
11.	Grafická část	59
12.	Vyhodnocení výsledků měření	97

12.1.	Vliv nuceného větrání v porovnání s přirozeným.....	97
12.2.	Vliv větrání oknem.....	97
12.3.	Vliv pohybu osob	97
12.4.	Vliv radonu	98
12.5.	Vliv koncentrace CO ₂	98
13.	Závěr	98
14.	Seznam obrázků	99
15.	Seznam tabulek	99
16.	Seznam grafů	99
17.	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	102
18.	Reference	103

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá tématem iontového mikroklima v budovách. V teoretické části je zpracována podrobná rešerše na dosavadní poznatky. Rešerše zkoumá problematiku iontů od jejich vzniku, přes faktory ovlivňující jejich výskyt, až po význam působení na člověka. Praktická část práce se zabývá měřením koncentrace iontů v obytných místnostech a posouzením vlivu nuceného větrání v porovnání s větráním přirozeným. Dále pak práce zkoumá další vlivy na iontové mikroklima, kterými je koncentrace radonu, pobyt osob, větrání okny a koncentrace CO₂. Měřeními nebyly zjištěny konzistentní výsledky a problematiku je potřeba podrobit detailnějším zkoumáním.

Klíčová slova:

záporný iont, ionizace, vnitřní prostředí budov, iontové mikroklima, koncentrace vzdušných iontů, vliv na člověka

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the topic of electro-ionic microclimate in the indoor environment. In the theoretical background chapter, the author introduces the topic of ions, ionization, the aspects affecting the number of negative ions and the significance of the impact of negative air ions on humans. In the practical part, the author has investigated the impact of ventilation duct in comparison with natural ventilation. Several measurements of air ion concentration were done. Inconsistent results explored that the topic is more unexpectedly complex. Therefore more factors were investigated such as the effect of natural ventilation, CO₂ concentration, presence of people and radon concentration. Measurements of these factors did not bring any consistent results. Therefore it was set that this topic is opened to further comprehensive research.

Key words:

negative ion, ionization, indoor environment, concentration of air ions, influence on humans

ÚVOD

S postupujícím rozvojem civilizace se zvyšuje podíl času tráveného v budovách. V současné době lidé tráví až 90 % času, tj. téměř 22 hodin denně, uvnitř budov.

I přesto je kvalita vnitřního prostředí často přehlížena. Proto je v moderních budovách nutné zajistit kvalitní prostředí, které zabezpečuje psychickou pohodu a zdraví obyvatel.

Požadavky na výstavbu jsou stále přísnější, nicméně i přesto je pozorován jev nazývaný Sick Building Syndrome (SBS), tzv. Syndrom nemocných budov. Existují požadavky či doporučení na mnoho parametrů ovlivňujících kvalitu vnitřního prostředí, např. na osvětlení, oslunění, koncentraci CO₂, prašnost, koncentrace chemických látek, větrání, koncentraci radonu, mikrobiální prostředí, akustiku, atd. Obecně se klade velký důraz hlavně na tepelně-vlhkostní mikroklima. Všechny tyto parametry a požadavky se postupem času mění. S neustálým vývojem civilizace vznikají nové materiály, procesy, nová znečištění, nové požadavky na komfort a vše je kontinuálně sledováno a přehodnocováno.

Existuje ale i mnoho dalších parametrů, které ještě nejsou zcela prozkoumány nebo jim není přikládána důležitost. Jedním takovým je iontové mikroklima prostředí. Tato složka mikroklimatu interiéru je sice základně prozkoumána – jsou pozorovány kladné účinky záporných iontů a jejich vliv na člověka, neexistují však ucelené vědomosti či metodiky ani jednoznačné limity pro hodnocení.

Tato diplomová práce si klade za cíl souborně shrnout dosavadní znalosti problematiky iontů v Čechách i v zahraničí od vzniku iontů až po význam působení na člověka s důrazem na faktory ovlivňující koncentraci iontů v ovzduší a nabídnout tak zájemcům o tuto problematiku přehledný ucelený souhrn.

Praktická část práce se zabývá posouzením vlivu nuceného větrání na koncentraci iontů v bytových místnostech v porovnání s přirozeně větranými místnostmi. Tento faktor byl vzhledem k značné délce pobytu lidí v budovách v moderní době vyhodnocen jako zásadní a vzhledem k povaze vývoje charakteru a materiálů vnitřního vybavení a úpravy vzduchu v interiérech mohlo za poslední desetiletí dojít k zásadním změnám. Při měření vzniklo několik dalších otázek a nejasností ohledně jiných možných vlivů na koncentraci záporných iontů v interiéru. Následně proto byly stanoveny hypotézy zkoumající vlivy dalších faktorů, které by mohly vysvětlovat tyto nejasnosti a být příčinou změn a rozdílností v iontovém mikroklima.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Úvod

Teoretická část práce se zabývá rešerší dosavadních poznatků a zkoumání v oblasti iontového mikroklima. Tento přehled zkoumá problematiku iontů od jejich vzniku, přes faktory ovlivňující jejich výskyt, až po význam působení na člověka a další využití ionizace.

1.1. Vnitřní prostředí budov

Vnitřní prostředí budov, ve kterých strávíme až 22 hodin denně [1], [2], má několik složek.

Tou nejdetaillněji zkoumanou a upravovanou složkou je dnes tepelně-vlhkostní mikroklima. Dále existuje ještě toxické, odérové, aerosolové, mikrobiální, akustické, světelné, elektromagnetické, elektroiontové a elektrostatické mikroklima. Všechny tyto složky jsou ovlivňovány mnoha fyzikálními, chemickými, biologickými faktory a spolu se sociálními a psychickými faktory určují kvalitu vnitřního prostředí v budovách [3], [4], [5].

Hodnocení kvality vnitřního prostředí se v ČR věnuje celá řada norem a předpisů, které zohledňují zdraví ale i pohodu a produktivitu osob, na něž vnitřní prostředí působí. Tyto normy a předpisy zpracovávají limity a doporučení pro celou řadu faktorů a složek mikroklimatu, zejména tepelný komfort, kvalitu vzduchu, světlo, zvuk, elektrické a elektromagnetické pole a prostor a ergonomii. V ČR se také uplatňuje mezinárodní certifikace budov BREEAM, CESBA, LEED, DGNB, WELL Building, Comfortmeter a český národní certifikační nástroj SBToolCZ [5]. Všechny tyto prostředky se věnují komplexnímu hodnocení vnitřního prostředí, žádná však neupravuje limity či podmínky pro iontové mikroklima.

1.2. Iontové mikroklima

Elektro-iontové mikroklima je jedna ze složek vnitřního i vnějšího prostředí. Vytvářejí ho kladné a záporné ionty přítomné ve vzduchu, které působí na člověka a ovlivňují tak jeho stav [3]. Některé příznaky SBS jsou nápadně shodné s příznaky při nedostatku negativních nebo přebytku pozitivních iontů v interiéru, jako je např. bolest hlavy, letargie, poruchy spánku, ospalost, nesoustředěnost, únava a alergie. Proto se nabízí, že právě nedodržování kvality iontového mikroklima je součástí vysvětlení příčin SBS.

2. Historie

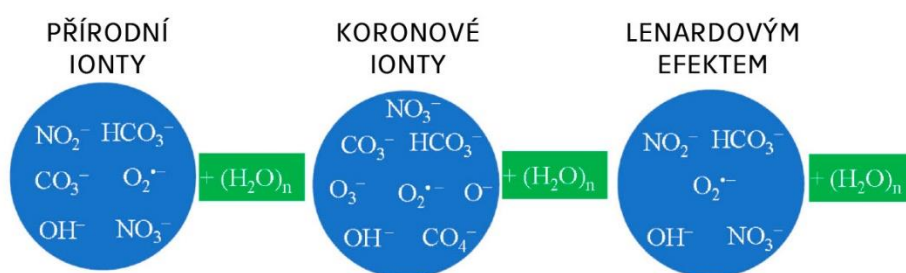
Teorii elektricky nabitých částic se věnovali fyzikové už od konce 18. století, kdy Galvani a Humboldt popsali první teorie [6]. Vzdušné ionty byly objeveny a popsány před více než 100 lety, kdy na počátku dvacátého století bylo pozorováno samovolné vybíjení nabitého elektroskopu. Bylo zjištěno, že je to způsobeno vodivými částicemi – ionty – v atmosféře [7]. Po stejnou dobu jsou také využívány k čištění vzduchu [8]. K dalšímu zkoumání pak došlo po první světové válce, kdy byly vynalézány generátory a měřiče iontů. V šedesátých a sedmdesátých letech pak byla založena speciální výzkumná centra v Moskvě, Paříži, USA, Izraeli a Německu zabývající se ionizací a jejími účinky. Poznatky, které byly v té době známy, se nevěnovaly fyziologické stránce působení iontů, nicméně bylo již známo pozitivní působení na organismus v podobě zlepšení mentální a fyzické kondice člověka, zániku bakterií a urychlení růstu rostlin. V českých zemích toto téma jako první zkoumal F. Běhounek (ČS akademie věd). V poslední době se tématu intenzivně věnovali Z. Spurný (ČSAV), M. Jokl (ČVUT), Z. Buřival (VUT) a A. Lajčíková (SZÚ).

3. Vzdušné ionty

Ionty jsou částice (atomy, molekuly nebo molekulové klastry čili shluky iontů), jež jako celek mají elektrický náboj. Různými způsoby ionizace plynných složek atmosféry dochází k odtržení jednoho nebo více elektronů z jinak neutrálních molekul. Positivní ionty elektron ztrácí, negativní ionty naopak vznikají připojením tohoto volného elektronu k neutrálním molekulám [4] [3].

V atmosféře se vyskytují kladné ionty, které jsou zastoupeny nejčastěji iontem dusíku, jelikož dusík představuje 78 % složení atmosféry a záporné ionty, které jsou tvořeny převážně ionty kyslíku (atmosféra je tvořena z 21% kyslíkem) a vodní parou [4].

Záporné ionty vytvářejí s molekulami vody (jednotkami až desítkami molekul) záporné iontové klastry jako např. $\text{CO}_3^-(\text{H}_2\text{O})_n$. Záporné vzdušné ionty jsou složeny především z iontů O_2^- , CO_3^- , NO_3^- , HSO_4^- , OH^- , NO_2^- , HCO_3^- , v závislosti na zdroji (Obrázek 1).



Obrázek 1 – Složení iontů dle vzniku [8] (předklad pojmů autorkou – původní text: „Natural NAIs, Corona NAIs, Lenard NAIs“)

Přírodní zdroje vytvářejí převážně O_2^- , CO_3^- , NO_3^- , OH^- , NO_2^- , HCO_3^- .

Korónovým výbojem jsou vytvářeny především ionty CO_3^- (dále i NO_3^- , OH^- , HCO_3^- , O_2^- , O_3^- , O^- , CO_4^- a další v celkovém poměru méně než 10%).

Lenardovým efektem (např. u vodopádů) vznikají ionty O_2^- , OH^- , NO_3^- , NO_2^- , HCO_3^- .

Složení vzdušných iontů je velmi dynamické. Všechny výše zmíněné produkty ionizace mohou dále tvořit další a další ionty v závislosti na složení okolního vzduchu. Neustále se mění díky střetu s okolními molekulami. Všechny tyto procesy závisí na množství dodané ionizační energie, elektronové a protonové afinitě, dipólovém momentu (symetričnosti rozdělení náboje v molekule nebo klastru), polarizovatelnosti a reaktivitě molekul [8].

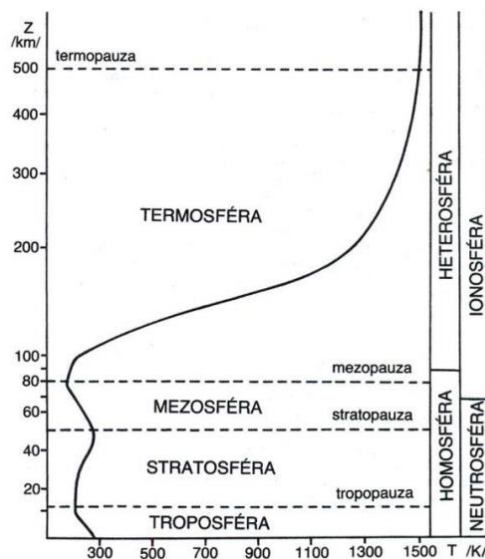
Z hlediska vlivu na člověka jsou významné pouze malé ionty (klasifikace iontů níže). Ty se skládají z centrálního primárního iontu obklopeného 4-10 molekulami vody v závislosti na teplotě, vlhkosti, koncentraci plynů v atmosféře (dusík, kyslík a další stopové plyny) a náboji iontu. Náboj iontu má na velikost iontu ten vliv, že centrální negativní iont (n^-) přitahuje méně molekul vody než iont pozitivní a iont je tím menší, lehčí, a proto má i větší pohyblivost, což má za důsledek i menší životnost [9]. Na člověka mají největší vliv ionty záporné, proto se tato práce zaměřuje právě na záporné ionty.

3.1. Elektrické pole Země

Atmosféra

Atmosféra je plynný obal Země umožňující život. Jejími hlavními komponentami jsou kyslík (21%) a dusík (78%), vedlejšími argon ($9,34 \cdot 10^{-1}$ %) a oxid uhličitý ($3,14 \cdot 10^{-2}$ %), stopově pak obsahuje neon, helium, metan, krypton, oxid siřičitý, vodík a další. Právě kyslík je nezbytný pro

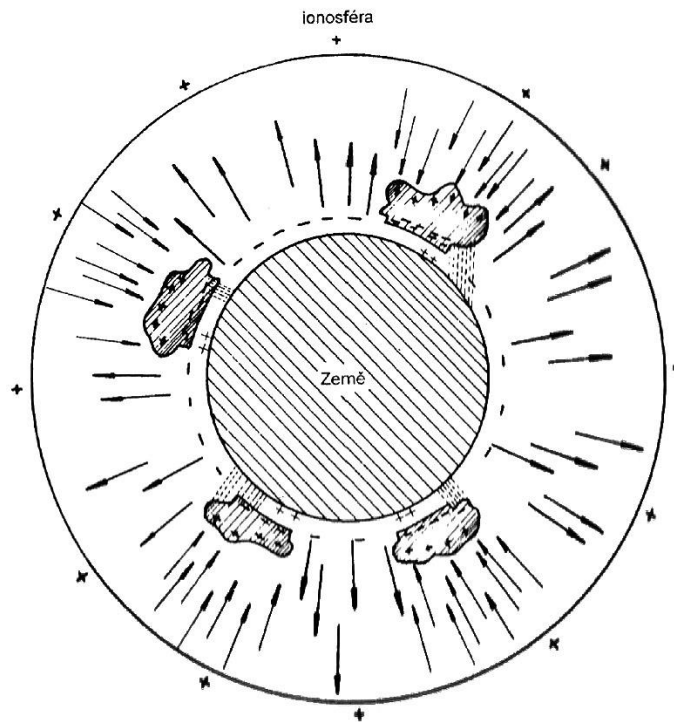
dýchání organismů, oxid uhličitý pro fotosyntézu rostlin a dusík pro některé bakterie. Atmosféra je dle teploty rozdělena na troposféru, stratosféru, mezoféru a termosféru (Obrázek 2 – Rozdělení atmosféry). Z celkové hmotnosti atmosféry se 99 % nachází ve vrstvě do 30 km od povrchu Země. Pro iontovou problematiku je nejdůležitější troposféra, vrstva nejbližší povrchu Země (do 11 km od povrchu Země), kde se odehrává většina důležitých procesů. V praxi je považována za homogenní, protože cirkulací vzduchu probíhá její promíchávání. Rozlišujeme ji pouze dle nadmořské výšky, se kterou ubývá tlak a také teplota. Nad troposférou se nacházející stratosféra v ozónové vrstvě absorbuje část ultrafialového záření (čímž se tato vrstva ohřívá a stoupá zde i tlak). Nad ní je pak mezoféra, vrstva vzdálená od povrchu Země 50 km. Její dolní část zachycuje velkou část energie kosmického záření. Proto se zde vytváří silně ionizovaná vrstva zvaná ionosféra. Ionty, které jsou zde vytvářené kosmickým zářením, však do dolních vrstev atmosféry obvykle nepronikají. Poslední vrstvou atmosféry je pak termosféra, která pohlcuje největší část energie vyzářené z kosmu (infračervené, ultrafialové a kosmické záření) a tím se zde uvolňuje velké množství tepla [10].



Obrázek 2 – Rozdělení atmosféry [10]

Elektrické pole Země

Povrch Země se chová jako záporně nabitá elektroda. Ionosféra, vrstva ionizovaného vzduchu, se chová jako kladně nabitá elektroda (Obrázek 3). Povrch Země od ionosféry dělí vrstva vzduchu 50 km široká, kde se nachází také elektrické pole mezi těmito dvěma póly. Potenciální spád mezi Zemí a ionosférou je 400 000 V, což odpovídá průměrnému potenciálnímu spádu elektrického pole 8 V/m. Záporně nabitý povrch Země, kde je elektrické pole nejsilnější, k sobě přitahuje kladně nabité ionty, které jsou tak neutralizovány, zatímco shodně nabité záporné ionty jsou vypuzovány směrem od této záporné elektrody, tedy z jejího elektrického pole, směrem k ionosféře. Za dokonalých podmínek by tak (pouze) vlivem elektrického pole Země docházelo k unipolarizaci vzduchu v okolí Zemského povrchu [3], [4].



Obrázek 3 – Schéma elektrického pole Země [3]

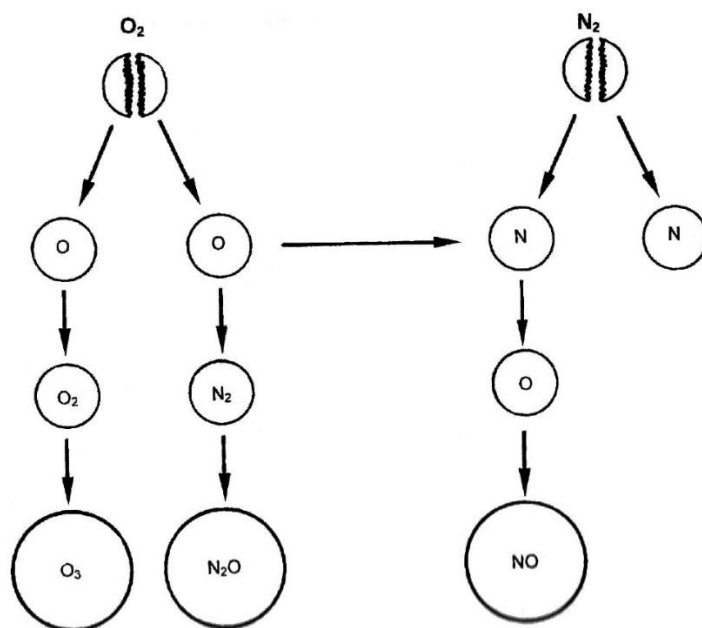
3.2. Vznik a zánik iontů

Ionizace

Vznik iontů, tedy ionizace vzduchu kolem nás, probíhá v určité míře prakticky nepřetržitě. Způsob a intenzita ionizace se na různých místech povrchu Země liší, neexistuje ale žádné prostředí, kde by atmosféra byla zcela elektricky neutrální [4], [12].

Za normálních podmínek jsou molekuly vzduchu neutrální. K ionizaci dochází v okamžiku, kdy je neutrálnímu atomu dodána dostatečně velká energie (ionizační energie) na to, aby byly překonány síly mezi jádrem a jeho elektronovým obalem (jádro atomu vytváří silné elektrostatické pole). Z jeho orbitální sféry je odtržen volný elektron a (pokud není zpětně pohlcen původním atomem) vznikají dvě nabitě částice. Kladný iont je pak ten atom, kterému ve valenčním pásmu jeden nebo více elektronů chybí. Ve vzduchu to bývá nejčastěji dusík. Záporný iont vzniká z neutrálního atomu, který emitovaný volný elektron přijme. V atmosféře je to nejčastěji kyslík [10]. Konkrétním druhům a zdrojům ionizace je blíže věnována kapitola 4.

Při ionizaci může za určité síly elektrického pole (určitých podmínek) docházet i k chemickým změnám (Obrázek 4). Vznikat může ozon (O_3) a oxidy dusíku (N_2O , NO). Stane se tak v případě, že je molekula dusíku nebo kyslíku při ionizaci rozdělena na dva shodné atomy. Ty následně ihned reagují s dalšími molekulami dusíku nebo kyslíku a vznikají právě výše zmíněné oxidy nebo ozon. Častěji takto bývá rozštěpena dvouatomová molekula kyslíku (O_2), jelikož má nižší vazebnou energii než molekula dusíku [3].



Obrázek 4 – Schéma vzniku ozonu a oxidů dusíku při ionizaci vzduchu [3]

Rekombinace iontů

K zániku iontů neboli rekombinaci může dojít dvěma způsoby. Za prvé neutralizační rekombinací, tedy neutralizací dvou částic opačného náboje. To se může stát již ihned po ionizaci, kdy je elektron zpět přijat mateřským iontem, nebo střetem dvou iontů s opačným nábojem a vzájemnou reakcí. Rychlost rekombinace závisí na koncentraci a je nepřímo úměrná teplotě a tlaku, tedy čím nižší je atmosférický tlak, tím více iontů rekombinuje [10].

Druhým možným způsobem zániku iontů je shlukování do klastrů. K tomu dochází zejména u lehkých iontů přilnutím k aerosolům či kondenzací par na kondenzačních jádrech iontů, za vniku středního a těžkého iontu. Ačkoli tímto procesem klesá koncentrace prospěšných lehkých iontů, dochází tak ale k čištění vzduchu od prachu a vlhkosti [10].

3.3. Klasifikace iontů

Ionty se dělí dle náboje na kladné a záporné. Představitelem kladného iontu je v atmosféře nejčastěji dusík, záporného naopak kyslík [4].

Dále se pak ionty klasifikují dle hmotnosti.

Atmosférické ionty vzniklé ionizací molekul vzduchu jsou nestabilní a podléhají dalším reakcím. Shlukováním vznikají těžší a těžší iontové celky, přičemž také klesá jejich pohyblivost. Primární ionty jsou přitahovány k molekulám vody a následně vytvářejí jednonásobně nabitě (tj. chybí nebo přebývá jim 1 elektron) molekulární seskupení (klastry) 10-30 molekul. Tato seskupení jsou poměrně stálá a říká se jim lehké ionty, například $O_2 \cdot (H_2O)_n$, $OH \cdot (H_2O)_n$, $O_3 \cdot (H_2O)_n$. Lehké ionty se mohou dále vázat na aerosoly (například prach) a vznikají tak nabitě částice nazývané střední a velké (či Langevinovy) ionty [10].

Princip vzniku jednotlivých druhů iontů podrobně znázorňuje Obrázek 5.

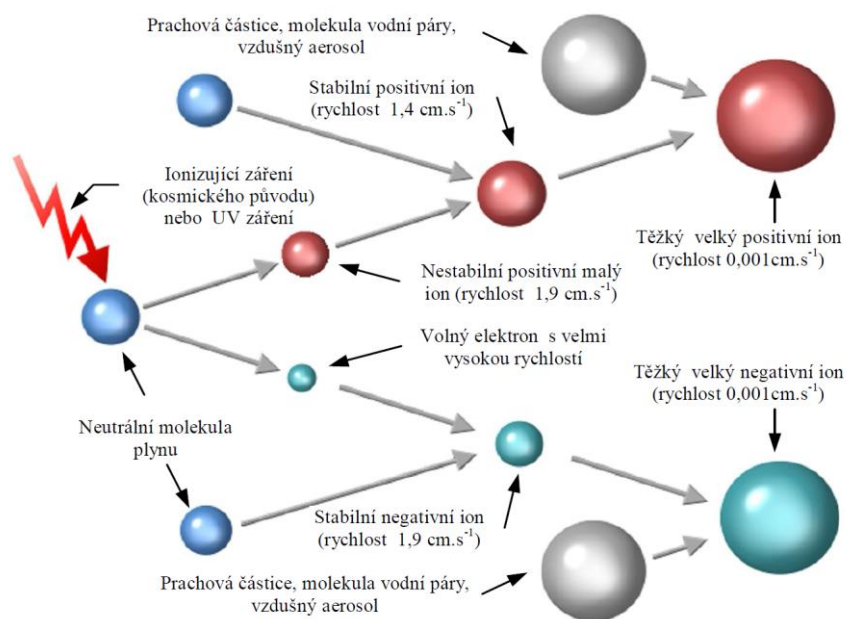
Klasifikací iontů se zabývalo několik vědců, nejčastěji používané jsou klasifikace podle Israëla (Tabulka 1) a klasifikace podle Hörraka (Tabulka 2).

Tabulka 1 – Klasifikace iontů dle hmotnosti podle Israëla [13]

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

Tabulka 2 – Klasifikace iontů dle hmotnosti podle Hörraka [14]

Druh iontů	k [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]	d [nm]
Aerosolové ionty	Velké těžké	$0,00041 - 0,00420$
	Velké lehké	$0,0042 - 0,0340$
	Střední	$0,034 - 0,500$
Shluky iontů	Velká seskupení	$0,5 - 1,3$
	Malá seskupení	$1,3 - 3,2$



Obrázek 5 – Princip formování iontů v atmosféře [15]

4. Výskyt vzdušných iontů

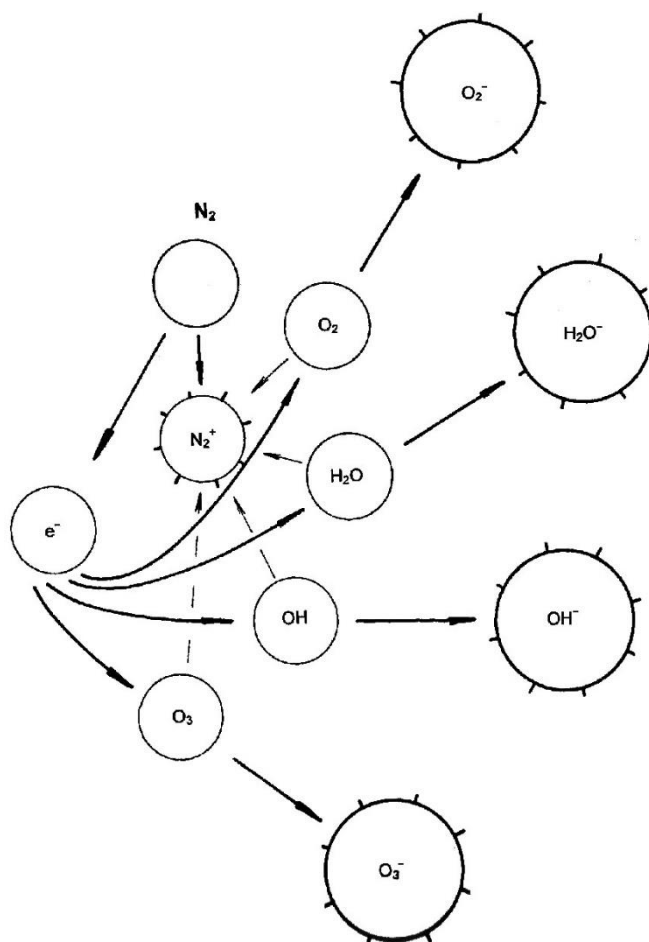
4.1. Zdroje iontů

4.1.1. Přirozené zdroje

Zdroji iontů vyskytujícími se v přírodě jsou elektrické pole Země, radiace a kosmické záření v atmosféře, korónový výboj, jako je například blesk, střížné síly při tříštění vody, rychlý turbulentní pohyb vlhkého vzduchu a energie produkovaná vegetací [8], [13]. Některé zdroje zmiňují, že až 95 % iontů vzniká z působení kosmického, slunečního a radioaktivního záření [4].

Elektrické pole Země a nárazová ionizace

Jak již bylo zmíněno výše, elektrické pole Země má na ionty podstatný vliv. Potenciální spád elektrického pole mezi Zemí a ionosférou je 400 000 V, což odpovídá průměrnému potenciálnímu spádu 8 V/m. K nárazové ionizaci dochází v důsledku urychlení pohybu již existujících iontů v elektrickém poli v blízkosti povrchu Země. Při neelastickém nárazu atomů dusíku (vzhledem ke složení atmosféry je pravděpodobnější právě srážka atomů dusíku než atomů kyslíku) dochází k uvolnění elektronu z elektronového obalu dusíku za vzniku pozitivního iontu dusíku. Tento nestálý elektron se pak nejčastěji váže na atom či molekulu kyslíku nebo vody (Obrázek 6). Takto vzniklé ionty však nejsou dlouhodobě stálé, a proto se váží na další molekuly a vytváří tak molekulární shluky, které jsou klasifikovány jako lehké ionty [3].



Obrázek 6 – Schéma ionizace vzduchu [3]

Radioaktivní a kosmické záření

V zemské kůře jsou v minerálech obsaženy radioaktivní prvky jako je uran, radium, aktinium a thorium. Při rozpadu v atmosféře emitují α , β a γ záření [8]. Právě toto záření dodává atomům energii, potřebnou k uvolnění elektronu z elektronového obalu molekul vzduchu (ionizační energii), vzduch je tak ionizován [3]. Radioaktivní záření spolu s kosmickým zářením je jedním z nejvýraznějších zdrojů ionizace v pevninské části atmosféry, kde pokrývá 20 % veškeré ionizace. Koncentrace iontů vzniklých zářením může dosahovat až 500 iontů/cm³ v pevninských oblastech a 1000 iontů/cm³ nad oceány [8].

Radon může být přítomen v půdě, v radioaktivním popílku z tepelných elektráren, ale i v interiéru z cigaretového kouře (cigaretový kouř obsahuje dceřiné produkty radonu), nebo ve stavebních materiálech [16].

Ultrafialová složka slunečního záření

Určité vlnové délky slunečního záření přímo ionizují vzdušné atomy. K výraznému zvýšení koncentrací záporných iontů dochází ve vyšších vrstvách atmosféry – 60 km nad zemským povrchem. Do nižších vrstev atmosféry se příliš UV záření nedostává, proto není UV záření významným zdrojem záporných iontů. Avšak část iontů z vyšších vrstev atmosféry může být rozptýlena až na povrch Země [8], [13].

Korónový výboj

Koróna je tichý elektrický výboj, který vzniká na hrotech při překročení potenciálního napětí. Tzv. lavinová ionizace nastává, pokud je na dvou elektrodách stále zvyšováno napětí. Ve vzduchu mezi těmito elektrodami stoupá potenciální spád a posléze jím začne proudit ionizační proud vyznačující se modrofialovou barvou (při překročení limitu může dojít až k jiskřivému výboji, v přírodě například v podobě blesku) [10].

Elektrické pole atmosféry Země se vlivem různých globálních i lokálních vlivů (geografie, bouřky, déšť, mlha, opar, změny tlaku) mění. V okamžiku, kdy se v přírodě nachází velké rozdíly mezi jednotlivými elektrickými poli, dochází k tvorbě korónových výbojů. Jedním z příkladů může být okamžik, kdy okolní atmosféra změní elektrické pole a korónové výboje vznikají na špičkách listů nebo větví stromů, kdy se zde nachází vysoký rozdíl v elektrickém potenciálu stromu a okolí. Dále v horských oblastech přispívá ke vzniku korónových výbojů vysoké napětí elektrického pole a nízký tlak. Stejně tak bouřky a blesky generují vysoko-napěťové elektrické pole. Při všech těchto procesech vzniká vysoké napětí a následně korónový výboj, který vytváří záporné vzdušné ionty [8].

Tříštění vody

Zvýšené množství záporných iontů bylo detekováno pod vodopády a v oblasti mořských pobřeží. Vznik iontů při tříštění vody je pojmenován jako Lenardův neboli balo-elektrický efekt [8], [10].

Při Lenardově efektu vlivem rozprašování vody, prudkého nárazu vody na pevnou překážku, kolizí kapek samotných či praskání bublinek plynu z vody dochází k odštěpení části povrchových molekul. Tyto molekuly tvoří záporně nabitě jemné částice (sprej), zatímco větší kapky či hmota vody samotná zůstávají kladně nabitě. Tyto jemné částičky spolu s molekulami vzduchu vytváří záporně nabitě aerosoly, tedy vzduch obohacený o záporné ionty [17].

Stupeň nabití tříštěním vody může být ovlivněn několika faktory, a to teplotou tříštěné vody, nečistotami rozpuštěnými ve vodě, rychlostí dopadu způsobenou rychlostí větru, rychlostí pohybu pevných překážek či samotných tříštěných kapek [8].

Síla Lenardova efektu je také závislá na množství elektrolytů. Nejvíce záporných iontů vzniká při rozprašování vody destilované a naopak, voda bohatá na elektrolyty, tedy ionizované minerály jako například sodík, draslík, vápník, chlor, fosfor, vytváří záporných iontů nejméně [8]. Například běžná voda z vodovodního řádu tvoří asi jednu pětinu iontů v porovnání s destilovanou vodou a minerální voda téměř žádné [18].

K tvorbě iontů naopak nedochází při odpařování vody z vodní hladiny. Při tomto úkazu nedochází k uvolnění elektronu, který je k molekule vázán elektrickými silami, ale k překonání koheze kinetickou energií molekuly [18].

Rostliny

Rostliny jsou jedním ze zdrojů záporných iontů. Samotné za běžných růstových podmínek dokáží v závislosti na druhu a podmínkách produkovat maximálně 200 iontů/cm³ [8].

Rostliny příznivě ovlivňující iontové mikroklima jsou jalovec a jehličnaté (ale i některé listnaté) keře a stromy pěstované jako bonsaje [1].

Ačkoli mechanismus zatím nebyl přímo osvětlen, bylo dokázáno, že při vystavení elektrickému poli s vysokým napětím a při působení pulzního elektrického pole (PEF), produkuje rostliny více záporných iontů. Při stimulaci pulzním elektrickým polem byla detekována produkce až 3,5 x 10⁶ iontů/cm³, což je významný nárůst oproti produkci za běžných podmínek. Uvolňování iontů rostlinami závisí na mnoha parametrech: druh rostliny, intenzita světla, teplota, aplikované napětí, interval impulzu a délka impulzu. Obecně ale různé druhy rostlin reagují na změnu parametrů rozdílně. Například u rostliny aloe stromovité, skřínu skloněného či narcisu zaceta se výrazně zvyšuje množství produkovaných iontů při zvýšené intenzitě světla, zatímco u některých druhů nedochází k žádné změně. Ukázalo se, že obecně výrazně vyšší množství iontů oproti ostatním druhům produkuje rostliny s čepelovitými tvary listů [8].

Z hlediska provedených studií je stimulace rostlin elektrickým polem zvažována jako možná alternativa k umělé tvorbě záporných iontů [8].

4.1.2. Umělé zdroje iontů

Motorová vozidla

Zdrojem iontů jsou výbuchy, plamen a horké povrchy. Proto se mezi antropogenní zdroje malých iontů řadí výfukové plyny motorových vozidel, což se projevuje především poblíž dálnic [19]. Podle provedených studií jsou výfukovými plyny vytvářeny pozitivní i negativní ionty v přibližně stejném poměru (bipolární zdroj iontů). Výfukové plyny však současně produkují vysoké množství sazí, které, kromě tvorby nebezpečného znečištění, i snižují množství malých iontů (aerosolové částice se na lehké ionty navazují a neutralizují je), takže přibližně ve vzdálenosti již 25 m od silnice koncentrace malých iontů není ovlivněna [20].

Elektrická přenosová soustava

Jedním ze zdrojů opravdu vysokých koncentrací malých iontů je dle několika různých výzkumů vedení vysokého napětí a elektrické stanice (především tam, kde dochází ke koruně). Vedení vysokého napětí je ale zdrojem především kladně nabitých iontů (unipolární zdroj). Poblíž součástí vedení a rozvodů (popř. dále po větru) byly naměřeny hodnoty několikanásobně převyšující obvyklé hodnoty v městských i venkovských oblastech – koncentrace v řádech až 10⁵ iontů/cm³ [20].

Fotoelektrický jev

Ultrafialové paprsky vytváří fotoelektrický jev, kdy je určitou vlnovou délkou ozářen kovový povrch, který následně emituje volné elektrony. Záporné vzdušné ionty jsou pak tvořeny ze vzdušných atomů, které tyto elektrony přijaly. Iontový generátor sestavený z elektricky vodivého materiálu osvětleného ultrafialovým světlem byl patentován už v roce 1964. Tento zdroj záporných iontů je však omezen jen konkrétními vlnovými délkami a také dokáže generovat ionty pouze do určité koncentrace. Pokus provedený v laboratorních podmínkách dokázal navýšit okolní

koncentraci iontů z 344 iontů/cm³ na 825 iontů/cm³. Dále se však koncentrace už nezvyšovala [8].

Uměle vytvořený korónový výboj

Ke tvorbě korónového výboje může docházet přírodní cestou nebo může být vytvořen i účelně. Metody korónového výboje využívá většina sestavených ionizátorů používaných jak experimentálně, tak i průmyslově a v domácnostech.

4.2. Faktory ovlivňující koncentraci iontů

Vliv na koncentraci iontů v atmosféře má hned několik faktorů. Kromě přítomnosti zdrojů iontů (jímž se věnuje kapitola 4.1) mezi hlavní vlivy patří meteorologické: teplota, vlhkost vzduchu, tlak, směr a rychlost větru, intenzita slunečního záření, srážky či inverze. Mezi antropogenní faktory spadá především znečištění atmosféry aerosoly, skladba okolních materiálů [1].

4.2.1. Náboj iontu a pohyblivost

Náboj iontu má vliv na rychlost zániku iontu. Jak již bylo zmíněno výše, záporné ionty jsou malé, centrální negativní iont přitahuje méně molekul vody než iont pozitivní, takže jejich hmotnost je menší a tím pohyblivost větší. Tento jev způsobuje obvykle menší koncentraci záporných iontů (n^-) v porovnání s pozitivními (n^+) vzhledem k větší pravděpodobnosti zániku pohyblivějšího (tedy lehkého záporného) iontu při kontaktu s okolním prostředím, nejčastěji s aerosolovými částicemi či elektrostatickým povrchem [9], [21].

Poměr množství záporných a kladných iontů (n^+/n^- pro lehké ionty a N^+/N^- pro těžké ionty) se nazývá *koeficient unipolarity*. Vzhledem k nižší mobilitě pozitivních iontů a působení elektromagnetického pole Země je vždy větší než jedna. Běžně v přírodě se koeficient unipolarity pohybuje od 1,15 (resp. 1,12 [21]) do 1,25. V těžce znečištěných oblastech, jako například poblíž průmyslových továren nebo frekventovaných silnic se pohybuje od 4,0 do 6,0 [7], [21].

4.2.2. Množství aerosolů ve vzduchu

Množství aerosolů, především prachových částic v ovzduší je jeden z nejvýraznějších faktorů ovlivňující množství záporných iontů ve vzduchu. V troposféře je až 97 % vzdušných iontů navázáno na aerosolové částice, následně klesnou k povrchu Země, kde neutralizují [9].

V čistém prostředí je životnost záporných iontů až kolem 100 s, přičemž ve znečištěném prostředí se pohybuje pouze v řádu jednotek sekund [8].

Lehké pohyblivé záporné ionty mají malou životnost vzhledem k větší pravděpodobnosti střetu s prachovými částicemi. Prachové částice, tedy aerosoly, se také podílejí na spektru iontů. V okamžiku, kdy se lehké ionty naváží na malé prachové částice, stávají se z nich ionty střední a těžké (nebo jsou úplně neutralizovány), které následně sedimentují [22].

Zdrojem prachových částic v interiéru je převážně aktivita lidí. Velmi nepříznivým vlivem na prašnost v interiéru je kouření. Cigaretový dým obsahuje především mikroskopické částice dehtu, které se velmi dobře váží na záporné ionty [4]. Zdrojem je i samotný organismus člověka – až 1 % aerosolů v bytech jsou částičky kůže, které vznikají při obnově lidské pokožky. Prach v interiéru může být přenesen i z exteriéru, kde může vznikat provozem komunikací, větrnou erozí nezpevněných či neudržovaných ploch bez vegetačního krytu, stavební činností, jako vedlejší produkt při nedokonalém spalování bez filtrů (popílek). Podstatný vliv na prašnost přenesenou z exteriéru má déšť. Déšť, který snižuje prašnost v exteriéru, vlivem větrání snižuje i prašnost uvnitř – v závislosti na intenzitě větrání může být prašnost v místnosti snížena až o 20 % pouze během jedné hodiny [3].

4.2.3. Zdroj záporných iontů

Jak bylo zmíněno dříve, záporné ionty jsou velmi nestabilní a mají velmi krátkou životnost. Živostnost záporných iontů se mění i ve spojitosti s původem jejich vzniku [9].

Ionty kyslíku $O_2^-(H_2O)_n$ vytvořené kolizí se záporně nabitými molekulami vody (Lenardův efekt) mají životnost kolem 60 sekund nebo dokonce několik minut. V porovnání s tím ionty vytvořené elektricky, tedy korónovým výbojem, mají životnost pouze několika sekund, což je několikanásobně méně [8].

4.2.4. Teplota vzduchu, vlhkost vzduchu

O to, jaký vliv má na koncentraci iontů vliv relativní vlhkost vzduchu, se odborníci přou.

Dle měření provedeného v Lotyšsku a na Tchaj-wanu nemá relativní vlhkost výrazný nebo konzistentní vliv na koncentraci iontů [23], [24]. Dvě studie, na Slovensku a na Tchaj-wanu, došly k závěru, že v blízkosti zdroje iontů (cca do 4 m) vyšší relativní vlhkost snižuje koncentraci iontů a ve vyšší vzdálenosti (cca nad 5 m) naopak zvyšuje (v některých oblastech dokonce různá relativní vlhkost koncentraci iontů vůbec neovlivňuje) [7], [24]. Na rozdíl od vlhkosti, teplota vždy zvyšuje koncentraci iontů ve vzduchu [23].

4.2.5. Intenzita slunečního záření

Sluneční záření obsahuje ultrafialové záření (UV), které se podílí na tvorbě iontů. Intenzita slunečního záření má tedy vliv i na množství vznikajících iontů. UV složka může být odstíněna nejen intenzivní oblačností, ale také sklem, což je důvod, proč neproniká do interiéru.

4.2.6. Intenzita elektrického pole

Intenzita elektrického pole Země má vliv na rozvrstvení záporných a kladných iontů. U povrchu Země, kde je intenzita pole záporně nabitě Země nejsilnější, je mírná převaha pozitivních iontů. Se vzdáleností od povrchu (směrem k ionosféře) roste i koncentrace negativních a klesá počet pozitivních iontů [4], [3].

Elektrické pole má také vliv na míru ionizace. Například intenzita vzniku iontů při přírodním korónovém výboji je ovlivněna silou elektrického pole. Síla elektrického pole se mění v závislosti na lokálních i globálních vlivech jako je geografie, denní výkyvy nebo počasí (déšť, mlha, bouřky, ...) [8].

4.2.7. Tlak

Rychlost rekombinace iontů je nepřímo úměrná tlaku v prostředí. Čím nižší atmosférický tlak je, tím více iontů je neutralizováno [10].

Dále i vysoké rozdíly tlaku uvnitř a venku budovy způsobují přesun exteriérového prostředí do interiéru (například infiltrací) nebo pronikání radonu ze spodní stavby. Proto i atmosférický tlak v exteriéru má vliv na koncentraci iontů.

4.2.8. Denní doba, měsíční a roční období

Dle Lajčíkové a Jokla, přebírajících teorii Svába, má na koncentraci iontů v ovzduší vliv i roční období a fáze měsíce. Maximální koncentrace naměříme v období úplňku a v místním létě. Nejnižší hodnoty byly naměřeny v zimě, nejvyšší naopak v létě. Také čím méně je ovzduší znečištěné, tím výrazněji se výkyvy projeví [4], [3], [25].

Dále má na koncentraci iontů vliv denní doba. To může souviset například s koncentrací radonu a promícháváním vrstev vzduchu vlivem ohřevu [9]. Lajčíková, Jokl a Hapl, pravděpodobně

vycházející z měření Svába, udávají maxima kolem šesti hodin ráno a minima v odpoledni kolem 14 hod [4], [3], [26], [25].

4.2.9. Počasí

Počasí v exteriéru ovlivňuje i koncentraci iontů v interiéru. Při bezmračném počasí proniká do atmosféry více slunečního záření, a tedy i UV záření, při dešti naopak stoupá vlhkost, mění se tlak, klesá teplota a snižuje se prašnost, což ovlivňuje koncentraci iontů.

Rychlost a směr větru také ovlivňují výše zmíněné parametry. Vítr může rozfoukávat prach, přinášet ionty z jiných oblastí (příroda, el. vedení, dálnice, ...).

Profukování skrz konstrukci může způsobovat turbulentní proudění uvnitř interiéru a pokud je v exteriérovém vzduchu přítomen radon, tak i jeho rovnoměrné rozptýlení po místnosti, a tedy zesílit vliv radonu na koncentraci iontů v interiéru [27].

Vznik bouřkových mraků ovlivňuje elektrické pole. Na své spodní straně mají mraky negativní náboj (na horní pozitivní) a vytváří tak nad (taktéž negativně nabitým) povrchem Země elektrické pole nabitě záporně, tedy opačně, než je za počasí bez bouřkových mraků, kdy ionosféra je kladně nabitá (Obrázek 3). To snižuje počet nově vznikajících negativních iontů [3].

Po bouřce se však poměry obrací, kdy množství negativních iontů výrazně vzrůstá. Pravděpodobně je nárůst způsoben výboji blesků, díky kterým vzniká elektrické pole o síle několika tisíc Voltů na cm [3].

4.2.10. Nadmořská výška

Nadmořská výška ovlivňuje intenzitu kosmického a slunečního záření, a tedy i množství dodané ionizační energie a míru ionizační energie [12].

4.2.11. Geologické složení zemské kůry

Geologické složení podloží místa ovlivňuje množství radioaktivních prvků obsažených v půdě a minerálech a možnost jejich pronikání na povrch. Od charakteru geologického podloží se tedy odvíjí míra ionizace radioaktivním zářením [12].

4.2.12. Stavební materiály

Konstrukce, z jakých jsou budovy vystavěny, především pak obvodové, mají velký vliv na tvorbu iontů v interiéru. Železobetonové konstrukce, ať už panelové či monolitické, nebo ocelové skelety totiž působí prakticky jako Faradayova klec a dochází k odstínění elektrického pole uvnitř budovy. S vyšším stíněním elektrického pole se také zvyšuje koeficient unipolarity, tedy poměr množství kladných ku pozitivním iontům. Například u železobetonových konstrukcí je stínění až 50 %, v porovnání s dřevěnými či tradičním cihlovým zdívem, kde je stínění minimální, u kamenných plášťů například 5 % [3], [28].

Dále bylo na základě několika měření stanoveno, že i lehké obvodové pláště mají na výskyt lehkých iontů negativní účinek v porovnání s tradičními konstrukčními materiály [26].

Vliv na koeficient unipolarity může mít také fakt, že v prostředí bez elektrického pole nejsou pozitivní ionty přitahovány kladně nabitým povrchem Země, a člověk tak tedy vdechuje daleko větší množství pozitivních iontů než vdechuje v prostředí s elektrickým polem, kde vdechuje především negativní ionty a pozitivní ionty se drží u země.

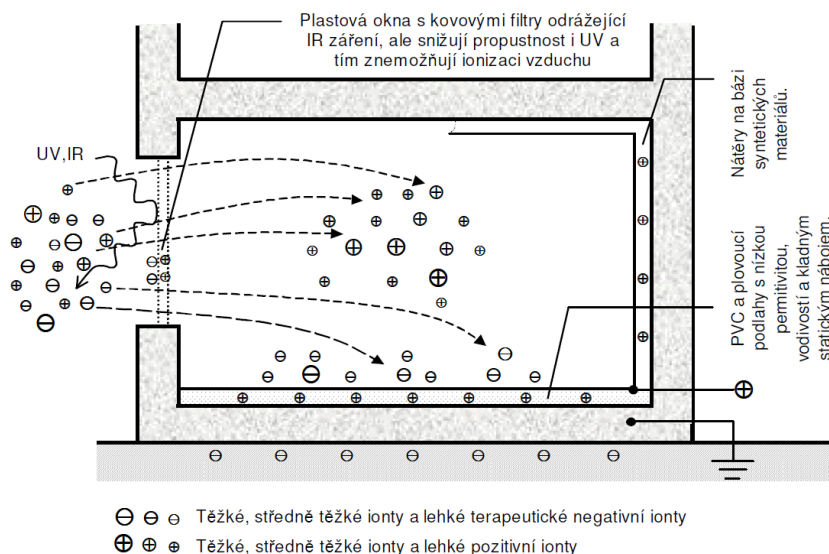
4.2.13. Povrchové úpravy a vybavení interiéru

Zařizovací předměty v interiéru mohou mít elektrostatický náboj, který pohlcuje negativní ionty. I povrchová úprava předmětů v místnosti ovlivňuje pohlcování iontů. Např. surové dřevo pohlcuje v porovnání s hladkou dýhou velké množství iontů, dále přírodní vlněné vlákno s porézním povrchem (např. záclony) pohltní více iontů než syntetická vlákna záclonoviny bez pórů [3].

Dále má na pohlcování iontů vliv i permitivita materiálu, tedy schopnost odolávat elektrickému poli. Materiály s nízkou permitivitou, jakými jsou například PVC a umělé textilie (polyester) záporné ionty pohlcují. Naopak např. bavlna má permitivitu vysokou [28].

I stěny či podlaha mohou být postaveny z elektrostatických materiálů a nátěrů. To způsobuje, že u stěn je koncentrace iontů odlišná - ionty jsou vytvářeným elektrostatickým polem přitahovány ke stěnám, kde se buď ukládají nebo jsou neutralizovány. Koncentrace iontů u stěn se proto může lišit od koncentrace iontů ve středu místnosti [27]. I vlhkost omítky má vliv na pohlcování iontů. Vlhká omítka pohlcuje výrazně větší množství iontů než omítka suchá.

Velké silně nabitě povrchy, které nejsou vodivě spojeny s povrchem Země (např. PVC podlaha, která se elektrostaticky nabíjí pohybem člověka po povrchu [16]) mohou způsobovat přitahování a rekombinaci záporných iontů dokonce v takové míře, že ovlivní koncentraci v celé místnosti (Obrázek 7). V dnešní době jsou takto místnosti často konstruovány [28].



Obrázek 7 – Nevhodná stavba místnosti [15]

Dále také elektrické přístroje, jakými jsou například obrazovky, vytváří kolem elektrické pole a kladně nabitě elektrostatické povrchy pohlcující záporné ionty [29].

4.2.14. Nucené větrání a úprava vzduchu

Při průchodu vzduchu skrz kovové potrubí se prokazatelně snižuje jeho vodivost, tedy koncentrace iontů. Míra úbytku iontů je nižší při nižších rychlostech vzduchu a samozřejmě kratší délce potrubí. Například při průchodu vzduchu plechovým kruhovým vzduchovodním potrubím o průměru 100 mm a délce 2 m při rychlosti vzduchu $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ byl pozorován úbytek koncentrace iontů až o 20 % [3], [26].

Vedle průchodu potrubím je vzduch také upravován (filtrován, vlhčen, ohříván) ve vzduchotechnické jednotce, kde je tedy mnoho procesů způsobujících rekombinaci iontů [4]. Nejčastěji je příčinou filtrace, protože většina filtrů vzdušné ionty zachycuje [26].

Lajčíková ze Státního zdravotního ústavu Praha, se ve své práci [30] zabývala měřením na několika pracovištích v šesti nuceně větraných (filtrace, ohřev, chlazení) objektech v porovnání s jedním přirozeně větraným. V nuceně větraných objektech byla naměřena koncentrace iontů v rozmezí 30 – 165 iontů/cm³, průměrně 115 iontů/cm³. V objektu přirozeně větraném pak 280 iontů/cm³. Jako vysvětlení je uvedeno, že nucené větrání vyrábí filtrovaný vzduch se správnou teplotou, ale nedokáže zachovat iontové mikroklima [30].

4.3. Význam radonu v iontové problematice

Ačkoli radon má v podstatě opačné účinky na lidské zdraví než ionty, zvyšuje riziko rakoviny plic, hraje v iontové problematice podstatnou roli. Radon je totiž jeden z nejpodstatnějších zdrojů vzdušných iontů v atmosféře [9].

Koncentrace radonu v místnosti je závislá na množství uranu v podloží, na materiálu konstrukce, na prostupnosti a množství trhlin v základech, poměrech větrání, koncentraci radonu v exteriérovém vzduchu, rozdílu tlaků v exteriéru a v budově, na možných zdrojích radonu v konstrukcích (například kamenivo betonu), na vodních zdrojích, těsnosti prostupů z podloží [9]. Proto se koncentrace radonu může pro každou místnost lišit a je nutné ji měřit lokálně.

Zdrojem vzdušných iontů je radioaktivní rozpad vzdušných radionuklidů radonu a bylo dokázáno, že největší okamžité krátkodobé výchytky koncentrací vzdušných iontů souvisí právě s radonovou aktivitou. Ostatní přirozené zdroje ionizace (viz kapitola 4.1 Zdroje iontů) jsou v porovnání s radioaktivitou málo intenzivní a v čase téměř konstantní [21]. Měřeními v Polsku bylo totiž zjištěno, že koncentrace iontů a radonu mají jak venku tak uvnitř, jak v zastavěných tak nezastavěných oblastech, stejné tendence. Nejvyšší koncentrace byly zjištěny za svítání (v nejnižším podlaží objektu i v exteriéru), kdy v noci se nad zemí vytváří vrstva nepohyblivého vzduchu (vlivem teplotní inverze se vzduch nepromíchává s vyššími vrstvami) obsahujícího z půdy vyvěrající radon. Vzduch je v ranních hodinách ohříván Sluncem, teplotní inverze mizí, a je promícháván s vyššími vrstvami – koncentrace tedy během dne slábnou (nejnižší je pak odpoledne). Toto platí i pro nabývací výšku nad zemí, kdy v 6 NP. Byly naměřeny 60% hodnoty koncentrací v 1.NP [9], [27].

Na základě korelace koncentrace radonu a koncentrace vzdušných iontů v prostoru a čase (korelační koeficient vyšší než 0,9 [21]) je tedy možné využívat měření koncentrace iontů jako hodnocení radonové aktivity. Nejvýznamnější přínos má toto zjištění hlavně při měření krátkodobých rozdílů koncentrací radonu v časových intervalech sekund a minut, kdy běžné měřiče radon monitorovat nedokážou [9], [27].

4.4. Koncentrace iontů

Koncentrace iontů se uvádí obvykle jako počet iontů vztahovaný na jednotku objemu. Nejčastěji se setkáváme s jednotkou iont/cm³.

Obvyklé koncentrace vzdušných iontů

Koncentrace iontů v přírodních podmínkách může díky mnoha faktorům způsobujícím jejich rekombinaci, např. znečištění, pohybovat kolem 300 – 400 iontů/cm³. Může se však zvýšit až o několik řádů v přítomnosti přírodního či antropogenního zdroje iontů (např. vodopády, nadzemní elektrické vedení, rostliny, ...) [23].

V následující tabulce (Tabulka 3) jsou obvyklé koncentrace záporných iontů uváděné v literatuře:

Tabulka 3 – Obvyklé koncentrace iontů

Prostředí	Koncentrace záporných iontů [iont/cm ³]
Interiér automobilu [13]	50
Průměrný městský byt [13]	50 – 100
Klimatizovaná administrativní pracoviště [30]	30 – 165
Kancelář [31]	150
Ulice ve městě [13]	100 – 500
Čistý vzduch v nížině [31]	1500
Čistý horský vzduch [31]	2 000
Čistý pevninský vzduch [29]	1 500 – 4 000
Les nebo u moře [13]	1 000 – 5 000
U vodopádů [13]	10 000 – 50 000
Vzduch po bouřce [13]	10 000 – 50 000

Příklady naměřených koncentrací iontů

Vlivem mnoha faktorů se koncentrace iontů v konkrétních prostředích mnohdy výrazně liší od běžných hodnot. Níže (Tabulka 4) jsou uvedeny příklady koncentrací naměřené v různých studiích.

Tabulka 4 – Příklady naměřených koncentrací iontů

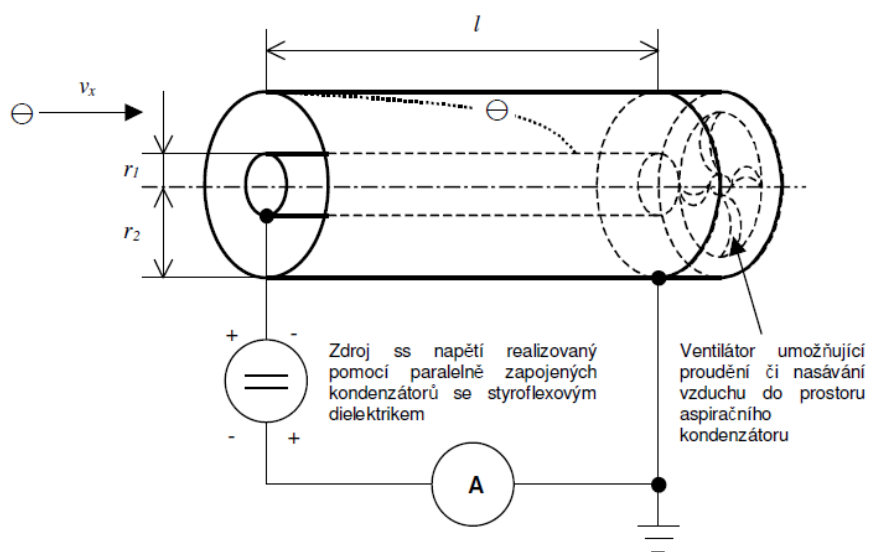
Prostředí	Koncentrace záporných iontů [iont/cm ³]
Škola v Brně [1]	50 - 200
Městské prostředí (Brno) [1]	100 – 200
Přirozeně větrané administrativní pracoviště [30]	280
Městské prostředí (Praha, Brno) [30]	185 – 350
Pension ve Svitavách [1]	600 – 2 000
Les [1]	1 000 – 2 000
Jehličnatý les [28]	6 000 – 8 000
Jeskyně Moravského krasu [1]	40 000

4.4.1. Měření koncentrace iontů

Měření koncentrace iontů je založeno na jejich pohyblivosti. Pohyblivostí lze totiž popsat i velikost iontu, neboť čím lehčí je iont, tím větší má pohyblivost.

Aspirační kondenzátor

Aspirační kondenzátor sestává z ventilátoru a válce, ve kterém je kolektor nabitých částic (katoda nebo anoda válcového tvaru), jak zobrazuje Obrázek 8. Mezi válcem a kolektorem je napětí. Ventilátorem je do válce vháněn vzduch a na kolektor dopadají nabitě částice opačné polarity, které jsou přitahovány opačnou polaritou kolektoru (podle toho, jaké ionty měříme). Na kolektoru je měřen elektrický proud, který způsobily částice, které na něj dopadly a přepočítávan na počet iontů a množství proudícího vzduchu [28].



Obrázek 8 – Schéma principu aspiračního kondenzátoru [15]

Pro stanovení koncentrace iontů měřené aspiračním kondenzátorem na základě elektrického proudu vzniklého na kolektoru platí vztah [1], [13]:

$$n = \frac{I_C - I_S}{e \cdot M} = \frac{I}{e \cdot M}$$

kde

I_{iont} je iontový proud vyvolaný dopadem iontů na kolektor [A]

I_C [A] je hodnota celkového proudu

I_S [A] je hodnota svodového proudu

n je koncentrace iontů s pohyblivostí [iont·cm⁻³]

rolišuje se n^- a n^+ pro koncentraci záporných, resp. kladných iontů

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

M je objem vzduchu nasávaného aspiračním kondenzátorem [cm³·s⁻¹]

I elektrický proud na kolektoru [A]

5. Využití iontů

Kromě vlivu na lidský organismus, čemuž se blíže věnuje kapitola 6, je výskyt iontů a měření jejich koncentrace důležitým nástrojem i v dalších oblastech.

Detekce látek

Využitím hmotnostního spektrometru lze detekovat mnoho plynných chemických sloučenin jako například NH₃, HNO₃, H₂SO₄, OH, jejichž výskyt ovlivňuje vznik aerosolů a těžkých iontů. Dále může spektrometrie být využita k detekci nečistot ve vzduchu, jako jsou výfukové plyny, jedovaté chemické plyny či vojenské a výbušné plyny, a to i v nízkých koncentracích [23].

Hodnocení čistoty ovzduší

Jak bylo vysvětleno výše (kapitola 4.2), vzdušné ionty reagují na množství prachových částic ve vzduchu. Koeficient unipolarity lze proto využít k hodnocení prašnosti prostředí [21]. V důsledku působení elektrického pole Země není počet kladných a záporných iontů nikdy stejný (blíže kapitola 3.1 Elektrické pole Země). Běžně v přírodě se koeficient unipolarity pohybuje od 1,15 (resp. 1,12 [21]) do 1,25. V těžce znečištěných oblastech, jako například poblíž průmyslových továren se pohybuje od 4,0 do 6,0 [7]. Jaki stanovuje jako optimální poměr pozitivních a negativních iontů hodnoty 1,2 – 1,4 [3]. Použití tohoto hodnocení prašnosti je omezeno přítomností unipolárního zdroje iontů, jakým je v exteriéru elektrické vedení vysokého napětí, který by mohl výsledky zkreslit.

Čištění vzduchu – prašnost

K čištění vzduchu mohou být použity dva principy. Pomocí elektrostatického filtru, kdy kladně nabitě prachové částice a mikroorganismy jsou filtrem přitahovány a jsou na něm zachycovány. Druhým způsobem je pak princip tvorby iontových klastrů. [13]

V důsledku toho, že záporné ionty se snadno váží na prachové částice (více v kapitole 4.2), lze ionizaci ovzduší využít i k čištění vzduchu od aerosolů [7]. Pro čištění vzduchu jsou dnes hojně používány elektrické ionizátory.

Proces čištění je prakticky shodný s procesem rekombinace. Lehký pohyblivý negativní iont je přitahován pozitivně nabitými částicemi pevného či kapalného aerosolu (prachu, kouře, mlhy, mikrobů). Po kontaktu vznikají shluky částic – střední a těžké ionty, které jsou příliš těžké, a proto samovolně klesají k zemi kde sedimentují. [31] Při čištění umělou ionizací vzduchu ionizátory tedy dochází ke snížení množství aerosolů ve vzduchu, ten však není v takové míře obohacován o záporné ionty, které se na aerosoly snadno nabalují a sedimentují [3], [7], [32].

Efektivita čištění vzduchu závisí na několika parametrech. Slovenská studie došla k výsledku, že kromě vzdálenosti od ionizátoru má na efektivitu vliv i relativní vlhkost. V malých vzdálenostech od ionizátoru (do 3,5 m) vyšší vlhkost vzduchu zapříčiňuje vyšší koncentrace prachu, nižší vlhkost naopak efektivitu čištění zvyšuje a koncentrace prachu jsou nižší. Ve větších vzdálenostech má na efektivitu čištění vzduchu zvýšený vlhkost minimální vliv. To je v souladu se studií [24], která potvrzuje, že zvýšená relativní vlhkost v blízkých vzdálenostech (cca do 4 m) koncentraci iontů snižuje a ve větších vzdálenostech (cca od 5 m) zvyšuje [7].

Dalším parametrem ovlivňujícím efektivitu čištění vzduchu je povrch místnosti. Ukázalo se, že u stěn ze dřeva a PVC je efektivita větší než u ostatních povrchů, jako jsou např. cementové omítky, tapety nebo nerez ocel.

V případě používání ionizace pro čištění vzduchu dochází k sedimentaci částic. Aerosoly se tedy usazují na okolní povrchy. Proto je při dlouhodobém používání ionizátoru zapotřebí pravidelného úklidu či čištění stěn od usazených nečistot [31].

Aerosoly, na které jsou nabaleny záporné ionty, jsou vdechovány více než aerosoly bez záporných iontů. Proto je potřeba čištění vzduchu provádět buď bez přítomnosti osob nebo se vyvarovat čištění zápornými ionty v prostředích znečištěných toxickými škodlivinami [3].

Přes výše zmíněné nevýhody je čištění vzduchu ionizací oproti jiným metodám výhodné pro jeho nízkou energetickou náročnost, ekologičnost a potenciální pozitivní důsledky na zdraví osob [7].

Čištění vzduchu – mikroorganismy

Vzhledem k tomu, že filtry používané k filtraci vzduchu ve větracích systémech nejsou dostatečně účinné pro zneškodnění mikroorganismů nebo je jejich pořízení a provoz příliš drahý, vhodnou alternativou může být i desinfekce prostředí ionizací.

Důležitost desinfekce ve větracích systémech byla jasně potvrzena po propuknutí několika epidemií, vzniku syndromů a rozšíření nemocí spojených s dýchacími cestami v posledních desetiletích. Ventilační potrubní systémy poskytují nejen přenos, ale i rozvoj infekce. Dnešní opatření v podobě mechanické filtrace a ředění mají nedostatky v odstraňování malých bakterií a virusů. Navíc, filtry se za určitých podmínek mohou stát dokonce ideálním prostředím pro růst bakterií. Pro objekty s vysokou náročností na čistotu (např. nemocnice) jsou využívány tzv. HEPA filtry („high efficiency particulate air filter“ schopné zachytávat částice o velikosti až 0,3 μm), které jsou však energeticky velmi náročné, a nejsou používány v komerčních budovách. Proto je hledána alternativa pro desinfekci vzduchu v běžných provozech, kterou je v posledních letech použití ionizátorů [32].

Použitelností desinfekce ionizátory spolu s běžnými filtry ve vzduchotechnice se zabývá několik studií. Mechanismus, jakým desinfekce probíhá, však ještě nebyl objasněn. Pravděpodobně zánik bakterií způsobují elektrostatické pole způsobené zápornými ionty. První teorií je, že proces desinfekce je spojen s nevratnou elektroporací (tj. na membránách buněk dochází ke vzniku pórů vlivem působení krátkých elektrických impulsů), další teorie desinfekci spojuje s elektro-fyzikálním modelem opírajícím se o narušení buněčné membrány bakterie elektrostatickými silami, a poslední předpokládá zánik buňky vlivem chemické změny složení bílkovin na povrchu bakterie [32].

Účinnost desinfekce ionty závisí na tzv. konstantě susceptibilitativity bakterie. Tato konstanta charakterizuje biologickou citlivost bakterie na prostředí, jemuž je vystavena. Pro různé bakterie se liší a ty vyžadují různou sílu či množství ionizátorů ve vzduchotechnickém systému. Účinnost se dále zmenšuje i se vzdáleností od ionizátoru, protože negativní vysoce pohyblivé ionty v kovovém potrubí rychle zanikají a je závislá také na síle ionizátoru, tedy souhrnně na koncentraci produkovaných iontů. U dvou testovaných bakterií se také ukázalo, že se zvyšující se rychlostí proudění vzduchu se efektivita desinfekce zmenšuje [32].

Bakteriemi, u nichž byl zaznamenán zánik nebo alespoň potlačení množení jsou např. bakterie tuberkulózy, *E. coli*, *Candida albicans*, *staphylococcus aureus*, virus *pseudomonas veronii*, *P. fluorescent*, dále také viry a houby jako např. *penicillium notatum*. Naproti tomu ale existují i protichůdné studie, jejichž výsledkem byl pouze velmi malý vliv na bakterii *E.coli* [8].

Používání ionizace jako plnohodnotné alternativy mechanických filtrů by výrazně snížilo energetickou náročnost větracích systémů způsobenou tlakovou ztrátou v potrubí na filtrech (nejvýrazněji u HEPA filtrů) a tím i celosvětovou spotřebu energie. Nicméně vývoj této alternativy je teprve v začátcích a efekt působení negativních iontů na mikroorganismy je stále rozporupným a diskutovaným tématem [32].

Zemědělská výroba

Ionizace vzduchu má v zemědělství mnohé využití. Stejně jako na člověka, má vysoká koncentrace záporných iontů kladný vliv i na zvířata. Působením ionizace se zvyšuje přírůstek hmotnosti u skotu, prasat, králíků i drůbeže [22].

Komplexním účinkem ionizace je dosahováno vyšší produkce a lepší mikrobiální a chemické kvality mléka o dojníc [33].

Ionizací se také dosahuje ke snížení produkce zápachajícího amoniaku při výkrmu prasat. Zdrojem amoniaku je rozklad odpadních látek z metabolismu zvířat. Ionizace vzduchu ve stájích má za následek i vedlejší účinky jako snížení prašnosti a lepšího růstu prasat a lepšího stavu personálu [34].

6. Vliv iontů na lidský organismus

Působení iontů na lidský organismus je předmětem studií více než století. Molekuly kyslíku a dalších důležitých látek mají výraznější efekt, pokud jsou ve formě iontů. Ionty mohou mít v závislosti na náboji, koncentraci a velikosti jak příznivý, tak i negativní dopad na lidský organismus [23]. Některé zdroje se zmiňují o pozitivním působení a obecném nedostatku záporných iontů, jiné vhodné podmínky podmiňují správnou hodnotou unipolárního koeficientu (tedy poměru pozitivních a negativních iontů) a zásadní vliv na člověka tak má i množství kladných iontů [3], [7], [8]. Působení iontů není dosud definitivně objasněno a nad přímým dopadem působení iontů na lidský organismus se stále diskutuje.

6.1. Mechanismus

Záporné ionty jsou do těla absorbovány převážně skrz dýchací systém. 90 % kyslíku se dostává do krevního řečiště plicemi, zbylých 10 % povrchem kůže. Tento poměr je úměrný ploše – povrch kůže člověka tvoří asi 1,5 m², oproti tomu povrch plicních sklípků je řádově 150 m² [3].

Negativní ionty kyslíku urychlují oxidaci serotoninu v těle, ovlivňují metabolismus ve vodě rozpustných vitamínů a zvětšují chemickou afinitu kyslíku a hemoglobinu [3].

Účinky působení záporných iontů nelze pozorovat vždy okamžitě. V závislosti na délce pobytu v ionizovaném prostředí se mohou změny objevit v průběhu jednoho dne, ale i tří až čtyř týdnů [3].

Redukce serotoninu

Serotonin je biologicky aktivní látka, hormon a neurotransmiter. V organismu vzniká z tryptofanu a ovlivňuje řadu metabolických a endokrinních procesů, je součástí přenosu nervových impulsů a je přítomen v mozku, kde se podílí na spánku a náladě člověka. Jeho nadměrné množství má za následek zvýšení krevního tlaku, tachykardii, křeče v hladkých svalech přecházející až v astma či nadměrnou činnost střevní peristaltiky vedoucí až k průjmům, zvýšení bolestivosti popálených tkání a stupňující se agresivitu [3].

Negativní ionty aktivují procesy, které dokáží serotonin rozložit na kyselinu 5-hydroxyindolactovou, která není biologicky aktivní a z těla je vyloučena močí, a dochází tedy k poklesu množství serotoninu v krvi a tkáních a všech jeho účinků zmíněných výše. Oproti tomu pozitivní ionty mají opačný vliv – inaktivují enzymy, které se podílejí na rozkladu serotoninu v těle, což vede k jeho větší koncentraci ve tkáních a krvi. Může se také uvolňovat z krevních destiček a střevní sliznice, což způsobuje průjmy a zvýšení krevní srážlivosti [3].

Vedle mnoha studií, které tuto serotoninovou teorii rozvíjejí, existuje však i několik studií, které zaznamenaly pouze malý nebo dokonce žádný efekt na serotoninový cyklus [8].

Afinita kyslíku a hemoglobinu

Přenos dýchacích plynů probíhá v krevním oběhu, kdy kyslík je v krvi transportován z plic do tkání navázaný na hemoglobin. Negativní ionty zvyšují chemickou afinitu (tedy schopnost vzájemně se vázat na další látky a tvořit chemické sloučeniny [35]) kyslíku a hemoglobinu. Rychlost reakce plynů nezávisí na jejich koncentraci, ale na jejich parciálním tlaku (Daltonův zákon parciálních tlaků). Právě růstem afinity hemoglobinu a kyslíku roste i parciální tlak kyslíku a klesá

parciální tlak CO₂, což má za důsledek vzrůstající okysličování krve. Současně dochází i ke zrychlení metabolismu ve vodě rozpustných vitamínů, který společně s okysličováním organismu zvyšuje výkonnost lidského organismu. Dále se zvyšuje odolnost vůči některým anaerobním virům (např. chřipka), na které kyslík působí nepříznivě [3]. Laicky lze proces zjednodušeně shrnout tak, že kyslík je do organismu lépe přijímán jako iont než jako neutrální atom.

Vegetativní nervový systém

Vegetativní neboli autonomní nervový systém zprostředkovává propojení mezi nervovým centrem a vnitřními orgány, žlázami a reguluje jejich činnost. Není ovládán vůlí, podílí na řízení hladkého svalstva a tvoří ho dva systémy, které působí proti sobě. Parasympatikus neboli parasympatický nervový systém zajišťuje celkové zklidnění činnosti organismu. Způsobuje např. zpomalení činnosti srdce, stimulaci trávení, zúžení zornic. Sympatikus naproti tomu zrychluje činnost srdce, zpomaluje činnost trávicího ústrojí, rozšiřuje zornice [36], [37]. Negativní ionty stimulují právě činnost parasympatiku, působí zklidňujícím a antidepresivním účinkem. Naopak pozitivní ionty působí obráceně – skrze biologické procesy stimulují sympatikus, který je antagonistou parasympatiku a činnost hladkého svalstva zrychluje [3].

6.2. Efekt působení záporných iontů na lidský organismus

Negativní ionty mají vliv na psychickou pohodu osob. I subjektivní vnímání ovzduší s vysokou koncentrací záporných iontů citlivé osoby popsaly jako „řídový a chladný“, proti tomu prostředí, kde převažují ionty pozitivní je vnímáno jako „dusno“. Vzduch chudý na ionty obecně je vnímán jako „těžký“. Vzduch s vhodným poměrem pozitivních i negativních iontů je popisován jako „lehký a čistý“ [3]. Vlivem redukce serotoninu se zvyšuje okysličení krve a v důsledku toho tedy i soustředěnost, pozornost, výkonnost a snižuje se únava, zlepšuje se spánek, nálada, emoce, klesá stres a působí i antidepresivně [8], [29], [31].

Jiné zdroje uvádějí, že naopak nadměrné množství škodlivých pozitivních iontů způsobuje letargii, deprese, úzkost, poškozuje plíce, způsobuje nevolnost, bolest hlavy, nespavost, únavu a astmatické záchvaty [29].

Pozitivní vliv působení záporných iontů byl pozorován při léčbě respiračních onemocnění horních cest dýchacích, poruch krevního oběhu, kožních onemocnění, počátečního stádia hypertenze, Parkinsonovy choroby, dochází i ke zlepšení imunity organismu [8], [9]. Ovlivněním serotoninového cyklu pomáhá při léčbě bronchitidy, astma, předchází srdečním bolestem, zmírňuje krevní tlak a zpomaluje krevní srážlivost [21].

V porovnání s výše zmíněnými vlivy se některé zdroje věnují meta-analýze dosavadních studií. Výsledkem zkoumání vlivu záporných iontů na psychiku je, že různé studie se rozcházejí ve výsledcích působení negativních iontů na úzkost, náladu, spánek a relaxaci a osobní pohodu a nelze určit konzistentní odpověď na tuto otázku. Avšak co se týká léčby lehké deprese, tam bylo dosaženo shodných výsledků. Pozitivní reakce na vystavení vysokým koncentracím záporných iontů nastává u sezónní i chronické deprese [38].

Výsledkem systematického průzkumu problematiky studentů university v Singapuru je také nalezení několika studií, které pozorují jen malý nebo žádný efekt na imunitní systém, krevní tlak, srdeční činnost, kardiovaskulární či dýchací systém a mentální zdraví [8].

Výsledky výše zmíněných meta-analýz a přehledů ([8] a [38]) však nemusí nutně vyvracet všechny výše zmíněné prospěšné vlivy na lidské zdraví, nicméně je při nejmenším zřejmé, že k nim

nedochází za každých podmínek, délky působení, koncentrací, frekvence nebo pro všechny osoby bez rozdílu pohlaví, věku, atp.

Nepřímý vliv

Záporné ionty zlepšují mikrobiální mikroklima. Působení iontů na bakterie způsobuje jejich zánik nebo alespoň zpomalení jejich množení, což má na člověka nesporně kladný vliv. Tento postup se také využívá v lékařství k urychlení hojení ran, jizev, léčbě kožních chorob a popálenin [1]. Tuto teorii však nepotvrzuje bezesbtyku několik studií, jejichž výsledky ukázaly, že ne u všech bakterií dochází ke zpomalení růstu [8].

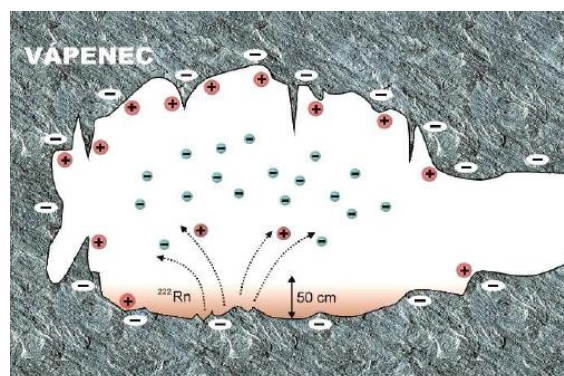
Stejně tak aerosolové mikroklima se díky přítomnosti vzdušných iontů zlepšuje. Znečištěný vzduch obsahuje mnoho kladně nabitých částic, které se stávají pro některé jedince škodlivými. Jsou to například spóry plísní, pyl, kouř, atp., které jsou z prostředí působením záporných iontů odstraněny a přestanou na člověka nepříznivě působit. Z toho důvodu působení záporných iontů často „léčí“ mnoho dýchacích či jiných zdravotních problémů (alergie, kašel, kýchaní, dráždění v krku, ...) [29].

Dále při vdechování vzduchu velmi znečištěného malými částicemi ($PM_{1,0}$ a $PM_{2,5}$) dochází k poškození kardiovaskulárního systému. Částice vdechnuté do plic jsou penetrovány a dráždí a korodují plicní tkáň, což ovlivňuje funkci plic a může vést až k rakovině. I tento problém je čištěním vzduchu pomocí záporných iontů odstraněn [8].

6.2.1. Speleoterapie

Již od pradávna člověk využíval vysoké koncentrace záporných iontů, když přebýval v jeskyních. I když bez jasného vysvětlení, už po dlouhou dobu jsou léčivé účinky pobytu v některých jeskyních známy a lidmi jsou jeskyně z tohoto důvodu vyhledávány. Dnes existuje množství hojně využívaných speleoterapeutických jeskyní v ČR (především v moravském krasu) i po světě (např. v Gruzii se za pomoci českých odborníků vyvíjejí [39], [28]).

Radon vyvěrá ze dna jeskyně. Na dně vybrané léčivé jeskyně se pak nachází plynná radonová jezírka (radionuklid Rn^{222}), která emitují atomy helia (Obrázek 9). Helium následně ionizuje okolní vzduch. Vzhledem k zápornému náboji zemské kůry a tedy i povrchu okolní jeskyně jsou pozitivně nabití ionty přitahovány ke stěně (kde jsou rekombinovány záporně nabitým povrchem). Oblý tvar jeskyně přispívá k tomu, že negativně nabitě stěny odpuzující negativní ionty do středu jeskyně záporně nabitě ionty kyslíku vytváří v prostoru jeskyně záporně nabitě mračno [28].



Obrázek 9 – Schéma principu speleoterapie [15]

Dle zkoumání Buřivala mají účinky speleoterapeutických jeskyní kladný vliv na dýchací, nervovou soustavu, na koncentraci, únavu a výkonost [28].

7. Iontové mikroklima v interiéru

7.1. Zdroje iontů v interiéru

V interiéru se mohou nacházet ionty, které se sem dostaly z exteriéru, ale i takové, které vznikly přímo uvnitř budovy. Zdroji v interiéru mohou být například elektrická pole, která zasahují do interiéru, stejně tak UV záření nebo použití ionizátorů [7].

Materiály obsažené v konstrukcích starších budov mohou obsahovat ve zvýšené míře produkty rozpadu radioaktivního radonu, což způsobuje, že je koncentrace uvnitř budovy vyšší než v exteriéru. Bohužel tyto radioaktivní produkty mohou mít ve zvýšené míře negativní vliv na lidský organismus [3].

Za určitých podmínek prospívá působení iontů i rostlinám, kdy pozitivně ovlivňuje jejich růst. Některé rostliny však mohou samy produkovat vzdušné ionty [23]. Ionizací rostlinami se podrobněji zabývá kapitola 4.1.1.

Silným zdrojem iontů v interiéru jsou i solária. Ta však jako vedlejší efekt produkují jedovatý ozon, a tak nemohou být používána jako ionizátory [3].

7.2. Hodnocení iontového mikroklima

Podmínky či hodnocení iontového mikroklima nejsou v českých normách nijak zakotveny. Lajčíková a Jokl, kteří se intenzivně zabývali problematikou iontového mikroklima, navrhují určité metodiky, doporučené hodnoty a hodnocení iontového mikroklima.

Jokl navrhuje tři parametry [3]:

- 1) Koncentrace lehkých iontů/cm³
 - a. Přípustná minimální 200 – 300 lehkých iontů/cm³ stanovenou na základě měření iontů v čistém městském ovzduší.
 - b. Optimální 1 000 – 1 500 lehkých iontů/cm³ stanovenou na základě měření v lese.
 - c. Optimální 2 000 – 2 500 lehkých iontů/cm³ stanovenou dle doporučených hodnot pro prostředí řízení kosmických lodí.
- 2) Unipolární koeficient, tedy poměr pozitivních a negativních iontů,
 - a. Přípustná hodnota 0,2 – 2,0
 - b. Optimální 1,1 – 1,4 stanovený na základě měření v horských střediscích.
- 3) Je nutno předcházet tvorbě středních a těžkých iontů. To lze zajistit pouze čistotou prostředí. Proto je potřeba podmínky a opatření iontového mikroklimatu řešit zároveň s klimatem aerosolovým, nikoli odděleně.

Hodnoty, které navrhuje, jsou stanoveny pro dýchací zónu, tj. 170 cm nad podlahou u stojící a 110 cm u sedící osoby. Místem měření je střed místnosti, tedy průsečík uhlopříček, popřípadě místo nejčastějšího výskytu osoby. Nestanovuje však délku měření ani podmínky, po jakou dobu musí být hodnoty splněny, či zda je lze splnit pouze např. v denním průměru.

V přehledu dosavadních studií je zmiňována hodnota 1000 iontů/cm³ jako kritérium pro čistý vzduch a doporučená koncentrace nad tuto hodnotu pro lepší funkci imunitního systému [8].

Délku měření ve své práci definuje Lajčíková. Její metodika sestává z průměru šesti hodnot naměřených v odstupu 5 min [30]. Dále studie věnující se hodnocení exteriérových prostředí používá ve své práci 12 hod. měření [20].

7.3. Doporučení pro zajištění optimálních podmínek iontového mikroklima v interiéru

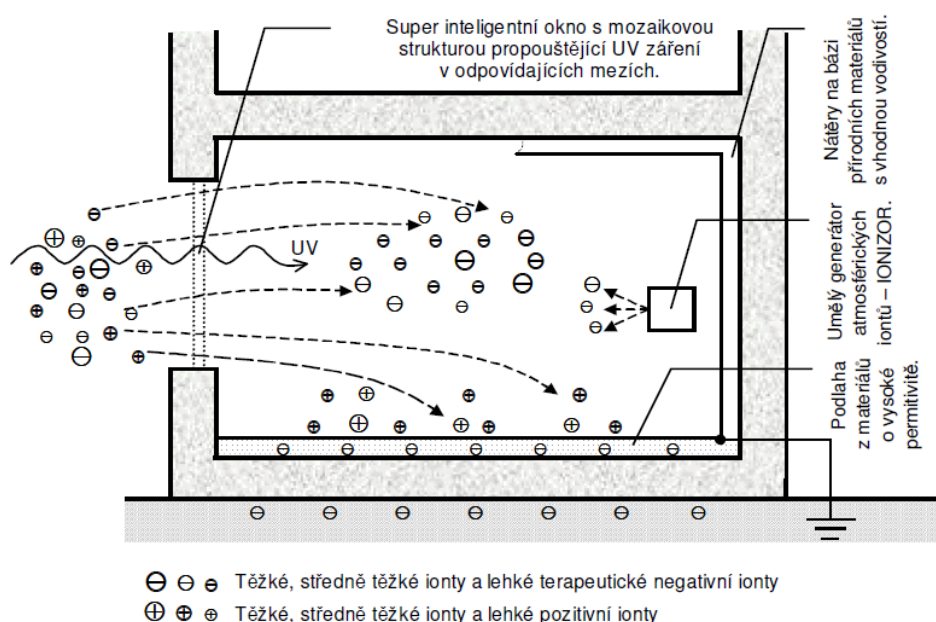
Na základě vlivů, které dle dostupných zdrojů ovlivňují koncentraci lehkých vzdušných iontů v interiéru lze vyvodit určitá doporučení pro vytvoření optimálních podmínek nebo alespoň zlepšení prostředí v interiérech. Buď můžeme omezovat faktory způsobující zánik, tedy prostředí interiéru nebo můžeme podporovat vznik nových iontů, tedy přidávat či stimulovat zdroje lehkých vzdušných iontů.

Z hlediska stavebních materiálů je vhodné preferovat tradiční materiály, jako např. dřevo či cihelné zdivo. Povrchové úpravy materiálů by měly být hladké, ne porézní. Materiály by měly mít vysokou permitivitu, proto bychom se v interiéru měli vyvarovat použití např. PVC a polyesteru, které mají permitivitu nízkou a řešením je také uzemnění takového prvku, tedy spojení se záporně nabitým povrchem Země (Obrázek 10) nebo využívání vodivých povrchů jako je např. dlažba.

Vhodné je nainstalovat ionizátory nebo pořídit květiny, které produkují ionty.

Pravděpodobně nejčastější příčinou zániku lehkých iontů je navázání na aerosol a změna na střední či těžký iont. Čím více je prostředí znečištěno, tím více lehkých iontů zaniká. Proto je vhodné vyvarovat zdrojům prachu, především omezit kouření a udržovat co nejčistší prostředí.

Přirozené zdroje iontů (kapitola 4.1.14.1.1 Přirozené zdroje) jsou především v exteriéru, proto je vhodné místnost dostatečně větrat. Při použití nuceného větrání se vyvarovat kovovému potrubí, ale použít jiné materiály [3].



Obrázek 10 – Doporučené úpravy pobytových místností [15]

7.4. Ionizátory

Ionizátory jsou přístroje, které uměle vytvářejí vzdušné iony. Existuje několik druhů, způsobů použití a principů, na kterých může ionizátor fungovat. Uplatnění ionizátorů má nespočetně podob. Jsou používány v čističích vzduchu, jako doplňky interiérových zvlhčovačů, existují fény s ionizátorem, ionizátory jsou přidávány do ledničky a v neposlední řadě také do VZT jednotek. Jejich častou nevýhodou je existence vedlejších produktů, především ozonu, který je ve větších koncentracích jedovatý. Na druhou stranu jsou energeticky nenáročné a bezhlučné. Nevhodné jsou pro velmi znečištěné provozy.

Elektrické ionizátory

Principem elektrických ionizátorů je nárazová ionizace, tedy výboj mezi elektrodami. Používáno je vysoké napětí, střídavý i stejnosměrný proud [34].

Elektrofluviální ionizátor funguje na základě tvorby vysokého napětí mezi dvěma opačně nabitými póly. Jeden pól je kovová síť, do které je přiváděno vysoké napětí, druhý pól je kovový hrot, který je uzemněn. Síť je natažena kolem hrotu a její elektrické pole působí na ionty v jeho blízkosti, které získávají takovou rychlost, že dochází k mechanismu nárazové ionizace. Záporně nabitá síť pak pohltí pozitivní ionty a negativní zůstávají v prostředí. První takový ionizátor byl sestaven v roce 1925 A. Sokolovem a později vylepšen A. Čiževským. Tento typ ionizátoru je určen pro velké plochy, tedy například hospodářské chovy. Tento ionizátor jako vedlejší produkt vytváří významné množství ozonu, oxidů dusíku a elektromagnetické pulzní pole [6].

Korónové ionizátory fungující na principu korónového výboje sestávají podobně jako elektrofluviální ze dvou opačně nabitých elektrod. Jedna z elektrod má ale výrazně menší rozměry než elektroda druhá, vzniká výboj již při nízkých napětích. Díky tomu vzniká výrazně méně ozonu a oxidů dusíku v porovnání s elektrofluviálními ionizátory. Tyto ionizátory s využitím drátků nebo uhlíkových vláken namísto hrotů jsou jedny z nejběžněji používaných [6].

Radioaktivní ionizátory

Tyto ionizátory obsahují radioaktivní zářič. V závislosti na typu zářiče (α , β , γ) mají dosah několik centimetrů až několik metrů. Kvůli pracovnímu riziku nejsou běžně rozšířené, používány jsou pouze experimentálně, mají však velmi vysoký výkon. K odstranění kladných iontů se používá pomocná elektroda [10].

Hydrodynamické

Hydrodynamické ionizátory vytvářejí ionty na základě Lenardova efektu, když se molekula štěpí na kladně a záporně nabitou část. K tomu zde dochází tříštěním vodního paprsku vytvořeného tryskou o nabitý rotující kotouč. Nedochozí zde k produkci ozonu či oxidů dusíku [10].

Ultrafialové ionizátory

Zdrojem ionizace v ultrafialovém ionizátoru je rtuťová výbojka. Ionizátor dále sestává z pomocné elektrody a ventilátoru. Tyto ionizátory také jako vedlejší produkt vytváří oxidy dusíku a ozon, k tomu navíc i UV záření. Z toho důvodu nejsou příliš časté. [10] Využívají se především k desinfekci prostor ve zdravotních zařízeních [40].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8. Úvod

Praktická část diplomové práce se zabývá měřením iontového mikroklima ve vnitřním prostředí s posouzením vlivu nuceného větrání a přirozeného větrání na koncentraci iontů v obytných místnostech.

První část měření probíhala v pěti různých objektech. Dva objekty (jeden rodinný dům a jeden bytový dům) byly větrány nuceným větráním, zbylé tři objekty (dva rodinné domy a jeden bytový) byly větrány přirozeně. Při měřeních byly na základě poznatků z rešerše testovány vlivy druhu větrání na koncentraci iontů v ovzduší. Na základě pozorování během měření pak byly zaznamenávány různé další podmínky vlivů na koncentraci iontů, jako například zvyšování teploty, víření prachu, pohyb osob nebo provětrávání místnosti otevřenými okny, stejně tak bylo měřeno i iontové mikroklima v exteriéru. Zjištěné průběhy hodnot byly porovnány.

Druhá část měření probíhala v demonstrační výukové laboratoři katedry technických zařízení budov na fakultě stavební ČVUT a v kanceláři vedoucí diplomové práce ve stejné budově sloužící jako srovnávací měření. V laboratoři bylo pracováno s aspektem nuceného větrání pomocí vzduchotechnické jednotky. Byly naměřeny průběhy hodnot koncentrace negativních vzdušných iontů v měřící kabině bez zapnutí nuceného větrání, dále venkovní hodnoty ve vzduchu před vstupem do vzduchotechnické jednotky a konečně hodnoty v měřící kabině laboratoře se zapnutou vzduchotechnikou. Zjištěné průběhy hodnot byly porovnány.

Obě dvě původní části, které se zabývaly především vlivem povahy větrání objektu, vyvolaly více otázek než odpovědí. Proto na základě výsledků měření byly vytvořeny a ověřovány další hypotézy příčin a nejasností, které z počátku nebyly součástí zkoumání.

9. Měření

9.1. Hypotéza

Základním cílem této práce bylo zhodnotit vliv nuceného větrání na koncentraci iontů v obytných místnostech. Při měření vzniklo několik dalších otázek a nejasností ohledně jiných možných vlivů na koncentraci záporných iontů v interiéru. V průběhu měření proto byly stanoveny níže uvedené hypotézy zkoumající vlivy dalších faktorů, které by mohly vysvětlovat tyto nejasnosti a být příčinou změn a rozdílností v iontovém mikroklima. Výsledky těchto hypotéz jsou také diskutovány v závěrech.

9.1.1. Vliv nuceného větrání v porovnání s přirozeným

Z práce Svába, Cobba, Richnera a Grabera a zkoumání Lajčíkové z roku 2004 je patrné, že klimatizace má podstatný vliv na množství iontů v přiváděném vzduchu (citováno dle [26], dle [3], [30]). Lajčíková naměřila v klimatizovaných objektech hodnoty od 30 do 165 iont/cm³, což je výrazně pod doporučenými limity, které stanovuje Jokl [3]. Cílem měření je tedy tuto hypotézu ověřit v praxi dalšími měřeními provedenými za současných standardů mikroklima v interiéru a porovnat výsledky z prostředí větraných nuceně a přirozeně.

Vybráno je několik obytných objektů s přirozeným větráním a několik s nuceným větráním k porovnání výsledků. Dále je k dispozici měřící kabina v demonstrační výukové laboratoři TZB na FSV ČVUT, která by měla poskytnout izolované měření koncentrace iontů s vlivem větrání vzduchotechnickou jednotkou, kterou je možné ovládat. Pro srovnání výsledků z laboratoře bylo

provedeno měření ve stejné budově v kanceláři vedoucí diplomové práce větrané přirozeně. Literatura uvádí, že 2 m potrubí o průměru 10 cm při rychlosti vzduchu 1,5 m/s snižují koncentraci iontů ve vzduchu o 20 % [3]. Proto předpoklad měření byl, že koncentrace v místnosti větrané vzduchotechnikou budou výrazně nižší než v té větrané přirozeně.

9.1.2. Vliv vyvětrání oknem

Přirozené větrání se velkou měrou odehrává otevřením okna. Proto se větrání oknem stalo jedním ze zkoumaných jevů. Hypotéza se zakládá na předpokladu prospěšnosti přirozeného větrání, kdy větráním se do interiéru dostane vzduch exteriérový, který je na záporné ionty bohatší, a proto koncentrace v interiéru stoupne.

Cílem měření je také ověřit tuto teorii, protože výsledek dvou prací zaměřených na koncentraci radonu v budově ukázal, že pokud je v místnosti přítomen radon, dojde vyvětráním naopak k poklesu koncentrace iontů v místnosti, jelikož je z ní radon vyvětrán [9] a [21].

9.1.3. Vliv pobytu osob

Z hlediska měření je posouzení pobytu osob v prostorách poměrně zásadní. Pobyt experimentátora může měření zásadně ovlivnit. Proto je vhodné stanovit, jaký dopad na měření má přítomnost osob a případný časový interval, po jakém je koncentrace iontů ustálena a lze výsledky měření brát jako průkazné. Stejně tak podmínky a doporučení, stanovená na základě izolovaných měření nemají výpovědní hodnotu o průběhu koncentrací iontů v reálném prostředí. Proto bylo provedeno několik měření, ve kterých byla očekávána snížená koncentrace iontů za přítomnosti osob v místnosti.

9.1.4. Vliv radonu

Na základě měření v laboratoři TZB na fakultně stavební ČVUT vznikla hypotéza, že zdrojem iontů v této místnosti, která stojí na terénu, by mohla být zvýšená koncentrace radonu. Radon vyvěrající z podloží je jeden ze základních faktorů ovlivňujících míru vzniku iontů v ovzduší.

Při měření účinků vzduchotechniky v laboratoři TZB byly naměřeny velmi vysoké hodnoty záporných iontů, pro takovou místnost neočekávané. Pro to bylo přikročeno k hledání jiného vlivu či zdroje, který by mohl takovéto hodnoty v jinak izolovaném interiéru způsobit. Vznikla hypotéza, že zdrojem iontů v této místnosti, která stojí na terénu, by mohla být zvýšená koncentrace radonu. Radon vyvěrající z podloží je jeden ze základních faktorů ovlivňujících míru vzniku iontů v ovzduší a do místnosti by mohl pronikat trhlinami a prostupy v konstrukci základů budovy a způsobovat tak vysoké koncentrace záporných iontů a při nárazově větších množstvích z podloží i vysvětlovat výkyvy v měření iontů (radonové problematice v souvislosti s iontovým mikroklima se blíže věnuje kapitola 4.3).

9.1.5. Vliv CO₂

Při hledání možného vysvětlení vysokých koncentrací záporných iontů v interiérech tam, kde nebyly předpokládány, byla vyvinuta hypotéza o možném vlivu koncentrace CO₂. Existují studie [23], které zkoumají souvislost koncentrace vzdušných iontů s jinými plyny znečišťujícími ovzduší, nicméně nebyly nalezeny žádné podklady studující závislost mezi CO₂ a koncentrací vzdušných iontů. Předpoklad byl, že vysoká koncentrace CO₂ by mohla zapříčiňovat snižování koncentrace iontů vzhledem k měřením provedeným Lajčíkovou [30], kdy krátká měření ve studovnách a kancelářích vykazovala všeobecně nízké hodnoty.

9.2. Přístroje

AlphaLab AIC2

Koncentrace iontů byla měřena měřičem iontů Air Ion Counter AIC2 od firmy AlphaLab Inc. kalibrovaným z továrny. Přístroj umožňuje měřit záporné i kladné ionty, nikoli však zároveň. Umožňuje nastavení kroku od 1 s postupně až po 5 min, zobrazuje (ale nezaznamenává) a teplotu, umožňuje kalibraci, napájení ze sítě i z akumulátoru.

Polarita iontů:	pozitivní nebo negativní, dle výběru
Měřicí rozsah:	do $2 \cdot 10^6$ nebo $200 \cdot \text{iont}/\text{cm}^3$, dle výběru
Rozlišení:	$10 \text{ iont}/\text{cm}^3$ ($2 \cdot 10^6$ rozsah), $100 \text{ iont}/\text{cm}^3$ ($200 \cdot 10^6$ rozsah)
Přesnost:	+/- 20%, repeatability 5%
Provozní teplota:	-1° C to 43° C
Provozní vlhkost:	0 - 90 % RH (bez kondenzace)
Provozní vítr:	< 15 km/h

Teploměr vlhkoměr Comet S3120

Datalogger byl použit pro záznam teploty a relativní vlhkosti. Záznam je prováděn do energeticky nezávislé elektronické paměti. Údaje lze kdykoli přenést do osobního počítače přes rozhraní USB, RS232, Ethernet nebo GSM modem pro další zpracování. Technická data přístroje:

<u>Teplotní senzor</u>		<u>Vlhkostní senzor</u>	
Měřicí rozsah:	-30 až +70 °C	Měřicí rozsah:	0 až 100 % Rh
Přesnost:	±0,4 °C	Přesnost:	±2,5 % RV od 5 do 95 % při 23 °C
Rozlišení:	0,1 °C	Rozlišení:	0,1 % Rh

Rosný bod

Měřicí rozsah:	-60 až +70 °C
Přesnost:	±1,5 °C při okolní teplotě $t < 25$ °C a $R_h > 30$ %
Rozlišení:	0,1 °C

Woehler CLD 210

Při měření koncentrace CO₂ byl použit záznamník měření oxidu uhličitého, teploty a vlhkosti vzduchu CDL 210 CO₂ Woehler. Technické specifikace senzoru CO₂:

Měřicí rozsah:	0 - 2.000 ppm (2.001 - 9.999 ppm mimo specifikovaný rozsah)
Přesnost:	50 ppm, ± 5% z naměřené hodnoty (0 – 2.000 ppm)
Rozlišení:	1 ppm
Princip měření:	NDIR - postup (nedispersivní infračervená absorpce)

Graywolf 3016-IAQ

K měření počtu částic v některých místnostech byl použit přenosný měřič částic GrayWolf Handheld PC-3016IAQ. Přístroj odebírá vzorek ovzduší isokinetickou sondou s průtokem 2,83 litru za minutu a optickou metodou analyzuje počet částic v šesti kanálech podle jejich aerodynamického průměru. Měření byly počty částic přepočtené na m^3 (nikoli hmotnostní koncentrace jak přístroj také nabízí). Technické specifikace přístroje:

Rozsah:	0.3 – 10.0 μm
Frakce PM:	0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0 μm
Provozní teplota:	+10 až +40 °C
Provozní relativní vlhkost:	20–95 %

Radonová sonda Tesla TSR4M

Pro měření koncentrace radonu byla použita radonová sonda Tesla. Základem sondy je měřicí komora s polovodičovým fotodetektozem. Radon vstupuje do komory difuzí přes vstupní filtr ve dně sondy. Sonda autonomně nepřetržitě měří a zpracovává výsledky ve 4-minutových intervalech, z kterých průběžně počítá hodnotu krátkodobé koncentrace radonu (1 hodinový klouzavý průměr – průměr z 15 po sobě jdoucích 4 minutových zpracování). Sonda ukládá do vnitřní paměti časové záznamy hodnot koncentrace radonu (v intervalu 1 hodina). Technické specifikace přístroje:

Průměrná citlivost měření:	0,125 imp/hod/Bq. m^{-3} (metoda RaA+RaC; 15°C ÷ 30°C; rel. vlh. 20% ÷ 40%)
Rozsah měření:	MDA – 10 ⁶ Bq/ m^3 (MDA = 100 Bq/ m^3 při 1 hodině měření nebo 20 Bq/ m^3 při 24 hodinovém měření)
Nejistota měření	< 18 % při 300 Bq/ m^3 a 1 hodině měření; < 4% při 300 Bq/ m^3 a 24 hodinovém měření

9.3. Metodika

Jedinou známou metodiku v ČR přiblížil Jokl, který stanovuje průměrné hodnoty pro dýchací zónu, tj. 170 cm nad podlahou u stojící a 110 cm u sedící osoby. Místem měření je střed místnosti, tedy průsečík uhlopříček, popřípadě místo nejčastějšího výskytu osoby [3]. Nestanovuje však délku měření ani podmínky, po jakou dobu musí být hodnoty splněny, či zda je lze splnit pouze např. v denním průměru. Délku měření se naopak stanovuje ve své práci Lajčíková [30]. Její metodika sestává z průměru šesti hodnot naměřených v odstavu 5 min. Australská studie sledující koncentrace iontů v exteriéru používá pro hodnocení mikroklima 12ti hodinová měření [20].

Pro toto měření se metodika Lajčíkové ukázala jako nevyhovující. Při zkušebních měřeních během hodin i dnů docházelo k velkým výchylkám koncentrací, které nebyly takto krátkým měřením dostatečně zmapovány. Proto bylo zvoleno měření denního průběhu. Dle možností bylo měření denního průběhu zopakováno 1x – 2x. V některých případech bylo měření z nedostatku času zkráceno, vždy však alespoň na několikahodinový průběh. Při sledování konkrétních jevů (větrání atp.) byla délka měření přizpůsobena potřebám. Pro dostatečný detail při posuzování vlivů např. větrání či změn teplot byl zvolen interval měření 5 s.

Měření bylo prováděno ve výšce do 1 m nad povrchem podlahy v dostatečné vzdálenosti od obvodových stěn tak, aby byl vyloučen vliv případných elektrostatických vlastností stěn či jiných objektů.

Měřicí přístroj byl při měřeních uzemněn uzemňovacím kabelem do sítě.

Před měřením byl ověřen vliv dalších měřících přístrojů, které byly používány souběžně s měřičem koncentrace iontů. Byl zjištěn vliv měřiče prachových částic, a proto bylo měření prachu vždy prováděno v dostatečné vzdálenosti od měřiče či až po skončení, resp. před začátkem měření. Dále byl zjištěn vliv přístroje měřícího radon a proto byl během měření umístěn v dostatečné, (odzkoušené) vzdálenosti od měřiče iontů tak, aby neovlivňoval měření koncentrace iontů.

Měřičem iontů AIC2 nelze měřit pozitivní i negativní ionty současně, proto pro zjištění unipolárního koeficientu bylo po, resp. před, měřením provedeno jedno krátké referenční orientační měření koncentrace pozitivních iontů. Shodná metoda byla použita i pro srovnávací měření koncentrace iontů v exteriéru.

9.4. Popis objektů

Souhrnný přehled všech sledovaných vlastností v měřených objektech zobrazuje Tabulka 5. Hodnocení radonového indexu bylo odečteno z map portálu České geologické služby [41].

Tabulka 5 – Souhrn vlastností objektů, ve kterých proběhla měření

Objekt	Místnost	Rok výstavby	Prostředí	Konstrukce	Větrání	Okna	Orientace	Stěny	Podlaha	Vybavení	Rn index [D15]
1. BD Smíchov											
	1.1 (1PP)	2018	městské	ŽB	nucené s rekuperací	dřevěná 4 m ²	J	sádrová omítka	dřevo	ne	střední
	1.2 (2NP)			Vápenopísk. tvárnice		dřevěná 4m ²	J	sádrová omítka	dřevo	ne	
2. BD Dejvice											
	2.1 (Ložnice)	± 1930	městské	Keramické tvárnice	přirozené	dřevěná 8 m ²	JZ	sádrová omítka	koberec	dýhový nábytek	střední
	2.2 (Obývací pokoj)					dřevěná 4 m ²	J		parkety	pohovka	
	2.3 (Ložnice)					dřevěná 5 m ²	Z		parkety	dřevěný nábytek	
3. RD Velká Dobrá											
	3.1 (Obývací pokoj)	± 2000	venkov. zástavba	Keramické tvárnice	přirozené	dřevěná 15 m ²	S-SV-J	sádrová omítka	dlažba	dřevěný, pohovka	nízký
	3.2 (Pracovna)					dřevěná 3 m ²	Z - JZ		dřevěná	dřevěný	
	3.3 (Dětský pokoj)					dřevěná 2 m ²	JV		lino	dřevěný	
4. RD Kladno	4.1 (Ložnice)	± 2016	městské, rodinné domy	Vápenopísk. tvárnice	nucené 75% výkonu	plastová 3 m ²	SZ	vápeno písk. omítka	dřevo	dřevěný nábytek	nízký
5. RD Jizerské h.		2003	venkov. zástavba	Keramické tvárnice	přirozené	dřevěná 2 m ²	SZ		koberec	dýhový nábytek	vysoký
6. Budova A FSV ČVUT											
	Laboratoř TZB	1964 (2008)	městské	ŽB skelet, SDK příčky	nucené	ne	ne	stěrka, olejový nátěr	dlažba	ne	střední
	Kancelář 2NP	1964	městské	ŽB skelet, LOP	přirozené	LOP 5 m ²	JZ	sádrová omítka	dlažba	dýhový nábytek	

9.4.1. Objekt č. 1 – Bytový dům Smíchov

Novostavba bytového domu se nachází městské, dopravně v klidné části Prahy 5 obklopené zelení. Budova má šest nadzemních podlaží a dvě podzemní, je nadstandardně zateplena a okna jsou s izolačními trojskly. Stavba je ve finální fázi dokončovacích prací, není však ještě obydlena.

Měření bylo prováděno ve dvou bytech. Byty mají řízené větrání s rekuperací, vytápěny jsou konvektory. V obou bytech je pouze dřevěná podlaha, jinak nebyly nijak dále zařízeny ani obývány. Okna o přibližné ploše 4 m², jsou orientována na jih a při měření byla zatažena žaluzií. Byt v 1. PP (1.1) má konstrukci z železobetonu, s omítkou pohlcující vlhkost. Část podlaží je zapuštěna do svahu. Pod tímto podlažím se nalézá 2.PP, v kontaktu se zemí je tedy jen obvod. Druhý měřený byt v 2. NP (1.2) má konstrukci z vápenopískových tvárnic se sádrovou omítkou. Mezi měřenými byty byl tedy rozdíl pouze v konstrukci a podlaží.

9.4.2. Objekt č. 2 – Bytový dům Dejvice

Druhým místem měření byl byt v městské frekventované pražské čtvrti Dejvice. Jedná se o klasickou budovu z 30. let 20. století, vystavenou z tradičního materiálu – keramických dutých tvárnic. Později, v roce 2004, byl celý objekt dodatečně zateplen polystyrenovou izolací. Byt se nachází ve 4.NP, větrán je přirozeně. V roce 1999 prošel celkovou rekonstrukcí. Omítky v bytě jsou klasické, sádrové. Okna jsou nová dřevěná s dvojitým zasklením.

V ložnici, resp. dětském pokoji (2.1) je na podlaze položen koberec. Velikost oken je 8 m², polovina je orientována na jih, polovina na západ. Pokoj je rohový (ze dvou stran v kontaktu s exteriérem) orientovaný směrem do parku. Místnost je vybavena dřevěným nábytkem potaženým dýhou, postelí a nachází se zde větší množství květin, televize a počítač, které byly v době měření vypnuty. Exteriérové měření bylo provedeno na balkónu přímo u měřené místnosti.

Obývací pokoj (2.2) je orientován na jih, plocha oken tvoří 2 m², podlaha je dřevěná, parketová. Místnost je vybavena látkovou pohovkou, dřevěným nábytkem a velkoplošnou televizí, která byla během měření zapnuta.

Druhá ložnice, resp. dětský pokoj (2.3) je orientován na západ s okny v ploše 5 m². Místnost je vybavena dřevěným nábytkem, nachází se zde televize a počítač, které byly v době měření vypnuty. Exteriérové měření bylo provedeno na balkónu přímo u měřené místnosti.

9.4.3. Objekt č. 3 - Rodinný dům Velká Dobrá

Třetí měření proběhlo v rodinném domě poblíž Kladna, v poklidné rodinné zástavbě venkovského typu. Jedná se o novostavbu z keramických tvárnic z roku 2000. Okna objektu jsou dřevěná, všechny místnosti jsou omítnuty vápenocementovou omítkou a vybaveny dřevěným nábytkem. Objekt je větrán přirozeně.

Obývací pokoj (3.1) se nachází na terénu. Okna jsou orientována na více stran (sever, severovýchod, jih) a dohromady mají plochu cca 15 m². Podlaha je dřevěná a v místnosti je základní dřevěný nábytek, pohovka s textilním potahem a televize.

Pracovna (3.2) se nachází v 1.NP. Okna jsou orientována na západ a jihozápad v celkové ploše 3m². Vybavena je běžným nábytkem, podlaha je dřevěná.

Dětský pokoj (3.3) se nachází ve 2. NP. Stěny místnosti jsou sádrokartonové příčky, na podlaze je položeno linoleum. Místnost má jedno střešní okno a jedno vikýřové o přibližném součtu ploch 2 m² orientované na jihovýchod. V místnosti se nachází dřevěný nábytek, postel a počítač, který byl v době měření za přítomnosti osob zapnutý.

9.4.4. Objekt č. 4 - RD Kladno

Objekt č. 4 je dvoupodlažní rodinný dům z vápenopískových cihel s železobetonovým stropem nacházející se v městské zástavbě Kladna. Měření proběhlo v ložnici ve 2.NP. Podlaha v místnosti je dřevěná, stejně jako nábytek, okna jsou nová, plastová, orientovaná na severozápad o celkové ploše přibližně 3m². Dále se zde nenachází žádné květiny ani elektrostatické vybavení. Objekt je nuceně větraný. Při měření bylo nucené větrání spuštěno na 75 % projektovaného výkonu.

9.4.5. Objekt č. 5 – Rodinný dům Jizerské hory

Nový rodinný dům s rozlehlou zahradou se nalézá v malé klidné, přírodou obklopené obci v Jizerských horách 710 m. n. m. Vystavěn byl v r. 2003. Jedná se o dvoupodlažní dům vystavěný z keramických tvárníc s tepelnou polystyrenovou izolací. Místo se nachází v oblasti vysokého radonového indexu [41]. Při výstavbě byla provedena protiradonová opatření v podobě utěsněné asfaltové hydroizolace. Okna jsou nová, dřevěná s dvojsklem. Sledovaná místnost se nachází v 2.NP, má plochu oken 2 m² a je orientovaná na západ. Omítky jsou sádrové, na podlaze je položen koberec. V místnosti je dýhový nábytek, postel a televize, která byla v době měření vypnutá. Exteriérová měření byla provedena na terase objektu v 1.NP.

9.4.6. Objekt č. 6 - Budova A Fakulty stavební ČVUT

Budova A Fakulty stavební ČVUT v Praze se nachází v městském prostředí Dejvic. Konstrukce budovy je železobetonový skelet doplněný o lehký obvodový plášť. Stavba pochází z let 1971 - 1983 a od té doby prošla několika rekonstrukcemi, včetně výměny lehkého obvodového pláště v roce 2018.

Demonstrační výuková laboratoř technických zařízení budov se nachází v 1.PP, respektive v úrovni terénu. Dokončena přestavba prostorů laboratoře a uvedena do provozu byla v r. 2008. Laboratoř obsahuje měřicí kabinu (6.1) s regulovatelným větráním se vzduchotechnickou jednotkou a vytápěním (resp. chlazením) pomocí kapilárních rohoží zabudovaných do sádrokartonových stěn, krytých tenkou stěrkovou omítkou s olejovým nátěrem. Objem kabiny je 30 m³, nemá okna, podlahu tvoří keramické dlaždice. Vzduch je do kabiny přiváděn kruhovými plechovými potrubím o průměru 25 cm a délce cca 20 m, na kterém je osazen tlumič. Exteriérová měření byla provedena před budovou poblíž laboratoře.

Srovnávací měření bylo provedeno v kanceláři (6.2) v 2. NP budovy. Kancelář je orientována na jihozápad, okno v lehkém obvodovém plášti je asi 5 m² velké, větrání je přirozené. Místnost je vybavena laminovaným nábytkem a několika počítači, omítky jsou sádrové, na podlaze je položen koberec.

9.5. Podmínky měření

Všechna měření se uskutečnila v pobytových místnostech v období od 2.2.2019 do 14.5.2019, tedy na přelomu jara a léta.

Měření probíhala za různých podmínek – teploty, relativní vlhkosti, počasí, přítomnosti osob atp. Všechny klimatické podmínky jsou souhrnně sepsány v tabulce níže (Tabulka 6 -Tabulka 8), kde:

- t [°C] je teplota v interiéru
- Φ [%] je relativní vlhkost v interiéru
- CO₂ [ppm] je koncentrace CO₂ v interiéru

t_e [°C] je teplota v exteriéru
 Φ_e [%] je relativní vlhkost v exteriéru
 p [Pa] je atmosférický tlak v exteriéru

Uvedeny jsou průměrné hodnoty vypočítané ze získaných záznamů v exteriéru a naměřených hodnot v interiéru přímo v časovém úseku prováděného měření koncentrace iontů. Hodnoty teploty, relativní vlhkosti, popř. dalších veličin v interiéru byly měřeny současně s měřením koncentrace iontů.

Relativní vlhkost, teplota a tlak v exteriéru byly měřeny meteorologickou stanicí na Praze 6 - Strahov, provozovanou Studentskou unií ČVUT, klubem Silicon Hill. Krok měření je 5 min. Všechna data jsou volně přístupná z webových stránek [42]. Relativní vlhkost, teplota a tlak v exteriéru v Kladně byla získána z dat meteorologické stanice Zichovec, okr. Kladno, provozované P. Rohlem [43]. Poskytnuty jsou hodnoty s 5 min krokem. Data jsou volně přístupná z webu z portálu In-pocasi.cz provozovaným firmou InMeteo s.r.o. [44]. Informace o počasí byla získána při měření nebo také z portálu In-pocasi.cz, provozovaným firmou InMeteo s.r.o., který poskytuje archiv záznamů stavu počasí v krajích pro jednotlivé dny. Data jsou volně přístupná z webových stránek [44].

Tabulka 6 – Podmínky měření (část 1)

Objekt	Datum měření	Začátek měření	Konec měření	Průměrné hodnoty						
				t [°C]	Φ [%]	CO ₂ [ppm]	Počasí	te [°C]	Φe [%]	p [Pa]
1 (BD)	22.02.19	11:09	17:35	18	59,8	1465	Oblačno až zataženo	2,84	77,75	1036,17
	25.02.19	10:55	23:59	17,4	64,2	-	Jasno až polojasno	12,11	38,86	1039,98
	26.02.19	0:00	23:59	17,8	41,1	-	Polojasno až oblačno	9,64	42,95	1033,20
	27.02.19	0:00	23:59	17,4	54	-	Jasno až polojasno	10,09	54,58	1027,95
	28.02.19	0:00	23:59	17,8	54,2	-	Jasno až skoro jasno	11,08	54,24	1013,99
	01.03.19	0:00	15:10	17,3	69,71	-	Oblačno až zataženo, déšť 25'	8,76	75,80	1010,60
	01.03.19	15:30	23:59	17,7	67	-	Dešťové přeháňky	8,76	75,80	1010,60
	02.03.19	0:00	10:02	17,8	54,9	-	Oblačno až zataženo	3,12	82,20	1017,33
	03.03.19	10:24	10:38	18,7	66,8	-	Oblačno až zataženo	9,55	70,75	1014,68
	11.03.19	10:55	23:59	18,1	62,3	812	Oblačno až zataženo	2,67	78,11	1016,03
	12.03.19	0:00	23:59	17,9	61,2	423	Oblačno až polojasno	3,71	73,43	1020,67
	13.03.19	0:00	23:59	18,2	55,8	519	Zataženo až oblačno, místy déšť	6,14	59,35	1009,43
	14.03.19	0:00	9:46	18,6	55,6	496	Oblačno až zataženo	4,62	77,97	1008,69
	14.03.19	10:10	23:59	17,2	43,6	-	Oblačno až zataženo	5,43	77,03	1002,49
	15.03.19	0:00	13:52	-	-	-	Oblačno až zataženo	6,23	73,96	1005,25
2 (BD)	29.03.19	19:48	23:59	22,1	38,2	-	Polojasno až oblačno	8,89	70,16	1030,11
	30.03.19	0:00	23:59	23,5	36	-	Jasno až polojasno	6,29	80,13	1028,09
	31.03.19	0:00	12:51	23,1	38,9	-	Jasno až polojasno	14,85	42,76	1022,43
	31.03.19	13:56	22:26	23,7	35	-	Jasno až polojasno	10,89	64,83	1021,68
	01.04.19	12:30	23:59	17,3	15,6	-	Jasno až skoro jasno	9,35	41,96	1023,25
	02.04.19	0:00	23:59	24,3	30,6	-	Jasno až polojasno	9,38	53,16	1015,66
	03.04.19	0:00	23:59	23,5	31,5	-	Oblačno až zataženo	15,91	47,62	1002,92
	04.04.19	0:00	23:59	24,3	31,8	-	Jasno až polojasno, místy oblačno	13,77	55,43	999,20
	05.04.19	0:00	23:59	23,6	33,1	-	Skoro jasno až polojasno	12,94	61,72	1004,44
	06.04.19	0:00	23:59	22,8	37	-	Jasno až oblačno	10,95	64,50	1007,00
	07.04.19	0:00	23:59	22,6	38,6	-	Polojasno až oblačno	11,31	63,88	1007,49
	08.04.19	0:00	10:10	22	41,6	-	Polojasno až oblačno, přechodně zataženo	9,84	71,84	1009,05
	08.04.19	12:07	23:59	23,2	37,5	-	Polojasno až oblačno, přechodně zataženo	13,95	57,00	1009,70
	09.04.19	0:00	23:59	22,9	38	-	Polojasno až skoro jasno	11,38	63,26	1010,56
	10.04.19	0:00	23:59	22,2	35,9	-	Polojasno až oblačno	5,60	62,25	1016,79
11.04.19	0:00	13:31	21,5	35,6	-	Oblačno až zataženo	2,92	70,26	1019,61	

Tabulka 7 – Podmínky měření (část 2)

Objekt	Datum měření	Začátek měření	Konec měření	Průměrné hodnoty						
				t [°C]	Φ [%]	CO ₂ [ppm]	Počasí	te [°C]	Φe [%]	p [Pa]
3(RD)	02.02.19	20:18	20:20	-	-	-	Oblačno až zataženo, občasný déšť	2,20	94,00	1000,40
	03.02.19	14:00	20:14	-	-	-	Zataženo se sněžením	0,61	97,00	1011,69
	04.02.19			-	-	-	Oblačno až zataženo	1,28	94,00	1027,50
	05.02.19	16:34	21:47	-	-	-	Oblačno až polojasno	3,72	90,00	1027,93
	07.02.19	16:19	16:37	-	-	-	Nízká oblačnost	2,90	94,00	997,65
	07.02.19	20:08	21:31	-	-	-	Nízká oblačnost	0,78	95,00	1001,60
	15.03.19	21:04	21:55	-	-	-	Skoro jasno až polojasno	7,64	70,00	1031,57
	16.03.19	22:51	23:26	-	-	-	déšť, větrno	7,11	85,00	1005,70
	17.03.19	11:12	19:10	-	-	-	polojasno - jasno, větrno	15,65	41,00	1001,11
	13.04.19	21:27	23:59	21	35,3		Oblačno až zataženo	3,38	69,00	1019,05
	14.04.19	0:00	20:00	20,3	35,4		Převážně zataženo, místy déšť, mrholení	3,03	87,00	1009,05
15.04.19	?	?	-	-	-	Jasno až polojasno	6,07	55,00	1018,65	
4(RD)	13.04.19	14:25	20:19	22,7	30,2	-	Oblačno až zataženo	6,07	55,00	1018,65
5 (RD)	18.04.19	21:00	23:59	19,1	38	969	Jasno až polojasno	6,80	66,03	-
	19.04.19	0:00	5:13	19,7	38,2	914	Většinou jasno	6,42	66,88	-
	19.04.19	11:54	23:59	19,9	38,2	978	Jasno	4,28	35,65	-
	20.04.19	0:00	23:59	20,4	39	863	Jasno až skoro jasno	12,00	45,40	-
	21.04.19	0:00	12:35	20,6	38,4	881	Jasno až skoro jasno	6,95	59,69	-
	21.04.19	15:03	17:26	20,5	38,8	733	Jasno až skoro jasno	16,95	35,47	-

Tabulka 8 – Podmínky měření (část 3)

Objekt	Datum měření	Začátek měření	Konec měření	Průměrné hodnoty						
				t [°C]	Φ [%]	CO ₂ [ppm]	Počasí	te [°C]	Φe [%]	p [Pa]
6 (ČVUT)	20.02.19	18:26	23:59	-	-	-	Většinou oblačno, místy polojasno	6,26	71,90	1026,81
	21.02.19	0:00	15:47	-	-	-	Zataženo	5,88	78,96	1027,52
	11.04.19	14:45	23:59	25,1	21,1	847	Oblačno	5,33	53,17	1022,36
	12.04.19	0:00	17:59	24,1	22,5	836	Oblačno až zataženo	2,34	64,13	1023,99
	24.04.19	10:43	17:12	26,4	33,5	-	Oblačno až zataženo	19,99	59,78	1009,48
	29.04.19	11:25	17:11	22,6	41	-	Děšť 7:20-17:55	7,38	92,43	1016,88
	07.05.19	11:10	23:59	23,8	23,1	-	Polojasno až oblačno	10,36	55,06	1019,32
	08.05.19	0:00	23:59	23,9	24,4	-	Skoro jasno až polojasno	12,00	54,88	1010,70
	09.05.19	0:00	23:59	24,5	30,9	-	Oblačno až zataženo	13,33	66,55	1002,57
	10.05.19	0:00	23:59	24,8	30,6	-	Polojasno až oblačno	13,27	62,17	1009,11
	11.05.19	0:00	23:59	25,00	33,00	-	Polojasno - oblačno - děšť, podvečer bouře	10,76	80,67	1011,50
	12.05.19	0:00	23:59	25,2	29,9	-	Oblačno až zataženo, občas děšť	9,33	76,00	1023,77
	13.05.19	0:00	23:59	25,2	22,0	-	Oblačno až zataženo	10,25	74,00	1032,64
	14.05.19	0:00	16:27	25,0	21,0	-	Dešťové přeháňky	7,40	61,63	1029,52

10. Měření koncentrace vzdušných iontů

Bylo provedeno více než 100 měření za podmínek popsanych v kapitole 9.5.

Měření č. 1.01 – 1.09 bylo provedeno v objektu č. 1 (v místnosti 1.1 v 1.PP a 1.2 v 2.NP) v časovém rozmezí od 22.2.2019 do 15.3.2019 (ve třech sériích). Po celou dobu měření bylo spuštěno nucené větrání (výkon přibližně 30 %) a byla uměle simulována vysoká vlhkost. Vlhkost byla navyšována sušením ručníků a provozem ultrazvukového zvlhčovače HUM 770 Hyundai Electronics. Ten byl zapnut na několik hodin dvakrát: 25.4. v 10:50 (měření č. 1.02) a 1.3 v 15:00 (měření č. 1.04). Provoz ultrazvukového zvlhčovače ovlivňoval koncentraci iontů v interiéru. Při měření neměly být přítomny osoby, avšak nelze vyloučit, že došlo k neregistrovanému vstupu dělníků do místnosti. Provedeno bylo několik měření kladných i záporných iontů.

Měření č. 2.01 – 2.41 bylo provedeno v objektu č. 2 ve čtyřech sériích od 29.3. do 11.4.2019. První série (2.01 – 2.16) probíhala v ložnici bez vlivu přítomnosti osob, střídavě bylo prováděno větrání oknem za slunečného počasí. Druhá série měření probíhala v obývacím pokoji, kde byly v průběhu dne různě přítomny osoby, docházelo také k větrání okny, počasí bylo slunečné. Třetí a čtvrtá série probíhaly v ložnicích za různých podmínek a různého počasí. Provedeno bylo vždy několik měření kladných, záporných iontů i srovnávací měření v exteriéru na balkóně přiléhajícím těsně k místnostem.

Měření č. 3.01 – 3.18 probíhalo v objektu č. 3 za různých podmínek a v různých místnostech v celkem třech sériích od 2.2. do 14.4.2019. Měření byly přítomny osoby (běžný pobyt v rodinném domě) a kromě měření č. 3.15 nebyl pobyt osob ani větrání do exteriéru nijak zaznamenávány a měření č. 3.03 proběhlo izolovaně bez pobytu osob. Provedeno bylo vždy několik měření kladných, záporných iontů i srovnávací měření v exteriéru na terase objektu.

Měření č. 4.01 – 4.03 probíhalo v objektu č. 4. Měření byla izolovaná – v místnosti nebyly přítomny osoby ani neprobíhalo přirozené větrání. Po celou dobu měření bylo spuštěné nucené větrání na 75 % výkonu. Počasí bylo zatažené.

Měření č. 5.1 – 5.07 probíhalo v objektu č. 5. po dobu čtyř dní (18.4. – 21.4.2019). Měření byla izolovaná – v místnosti nebyly přítomny osoby ani neprobíhalo přirozené větrání. Počasí bylo slunečné. Provedeno bylo vždy několik měření kladných, záporných iontů i srovnávací měření v exteriéru na terase objektu v 1. NP.

Měření 6.1 – 6.26 probíhalo v objektu č. 6 v pěti sériích od 22.2. do 14.5.2019. První série proběhla v kanceláři vedoucí střídavě s a bez vlivu přítomnosti osob. Druhá, třetí a čtvrtá série probíhala v laboratoři TZB, téměř všechny bez pobytu osob. Druhá série sestávala ze zkušebního měření bez vlivu VZT, kdy byla kabina laboratoře uzavřena. Třetí série zkoumala vliv zapnutí a provozu VZT. Čtvrtá, týden trvající série pak sledovala závislost koncentrace iontů na přítomnosti radonu. U všech sérií bylo provedeno i měření pozitivních iontů a srovnávací měření v exteriéru.

Souhrnný přehled výsledků všech měření je uveden v následující tabulce (Tabulka 9 - Tabulka 12). Grafické zobrazení všech měření koncentrace záporných iontů se nachází v kapitole 11.

Č. měření	Č. místnosti	Polarita +/-	Začátek měření	Konec měření	Délka měření [hh:mm:ss]	Koncentrace iontů [10 ³ iont/cm ³]				Poznámka
						Průměr	Medián	Max	Min	
Objekt č. 1 - BD Smíchov										
1.01	1.1	-	22.02.2019 11:09	22.02.2019 17:35	6:26:54	-0,45	-0,45	1,45	-7,71	nucené větrání, umělé zvlhčování prostředí
1.02	1.1	-	25.02.2019 10:55	01.03.2019 14:35	99:39:59	-0,86	-0,62	0,05	-8,49	
1.03	1.1	+	01.03.2019 14:39	01.03.2019 15:10	0:31:21	4,64	4,61	8,68	0,00	
1.04	1.2	-	01.03.2019 15:30	03.03.2019 10:02	42:32:14	-13,25	-0,08	0,53	-171,11	
1.05	1.2	+	03.03.2019 10:24	03.03.2019 10:38	0:14:43	2,62	2,62	4,82	0,00	
1.06	1.2	-	11.03.2019 10:55	14.03.2019 09:06	70:11:27	-2,19	-2,30	-0,10	-7,97	
1.07	1.2	+	14.03.2019 09:10	14.03.2019 09:46	0:36:15	5,94	6,07	8,84	1,68	
1.08	1.1	-	14.03.2019 10:10	15.03.2019 13:29	27:19:01	-2,07	-1,98	-0,01	-10,31	
1.09	1.1	+	15.03.2019 13:30	15.03.2019 13:52	0:22:23	7,33	7,45	10,83	0,25	
Objekt č. 2 - BD Dejvice										
2.01	2.1	-	29.03.2019 19:48	30.03.2019 00:37	4:49:50	-1,38	-1,07	0,00	-3,43	1x větrání oknem
2.02	2.1	-	30.03.2019 00:38	30.03.2019 11:30	10:52:41	-1,23	-1,20	-0,31	-2,78	1x větrání oknem
2.03	2.1	-	30.03.2019 12:53	30.03.2019 15:45	2:52:00	-1,32	-1,30	-0,09	-2,64	1x větrání oknem
2.04	2.1	+	30.03.2019 15:49	30.03.2019 16:18	0:29:43	2,48	2,51	3,49	0,24	-
2.05	2.1	-	30.03.2019 16:22	30.03.2019 17:14	0:52:05	-2,09	-2,14	-0,37	-3,25	-
2.06	Exteriér	-	30.03.2019 17:17	30.03.2019 17:29	0:12:55	-1,08	-1,09	0,00	-1,46	-
2.07	2.1	-	30.03.2019 17:33	30.03.2019 22:07	4:34:26	-1,60	-1,91	0,03	-3,43	2x větrání oknem
2.08	2.1	-	30.03.2019 22:09	31.03.2019 00:42	2:33:45	-1,00	-1,00	-0,28	-1,78	-
2.09	2.1	-	31.03.2019 00:43	31.03.2019 12:51	12:08:05	-2,33	-2,21	-0,92	-4,59	-
2.10	2.1	+	31.03.2019 13:56	31.03.2019 14:27	0:31:05	3,68	3,77	5,19	2,04	-
2.11	Exteriér	-	31.03.2019 14:30	31.03.2019 15:07	0:37:30	-0,96	-0,97	0,00	-1,68	-
2.12	2.1	-	31.03.2019 15:15	31.03.2019 19:25	4:10:13	-1,60	-1,51	-0,30	-3,76	1x větrání oknem
2.13	2.1	+	31.03.2019 19:28	31.03.2019 19:48	0:20:45	2,17	2,12	3,09	1,30	1x větrání oknem
2.14	2.1	-	31.03.2019 19:50	31.03.2019 19:58	0:08:10	-1,67	-1,67	-0,55	-2,01	1x větrání oknem
2.15	2.1	+	31.03.2019 20:00	31.03.2019 20:09	0:09:10	1,83	1,84	2,39	1,27	-
2.16	2.1	-	31.03.2019 20:12	31.03.2019 22:26	2:14:20	-1,84	-1,87	-0,30	-3,52	ztlumení topení
2.17	Exteriér	-	01.04.2019 12:30	01.04.2019 12:58	0:28:40	-0,78	-0,79	-0,24	-1,25	-
2.18	Exteriér	+	01.04.2019 12:58	01.04.2019 13:01	0:02:40	1,43	1,35	2,20	1,05	-
2.19	2.2	-	01.04.2019 13:01	01.04.2019 16:43	3:42:31	-0,75	0,80	0,09	-2,71	pohyb osob, větrání

Tabulka 9 – Souhrn všech měření (část 1)

Č. měření	Č. místnosti	Polarita +/-	Začátek měření	Konec měření	Délka měření [hh:mm:ss]	Koncentrace iontů [10 ³ iont/cm ³]				Poznámka
						Průměr	Medián	Max	Min	
Objekt č. 2 - BD Dejvice										
2.20	2.2	-	01.04.2019 16:46	01.04.2019 22:26	5:40:00	-1,12	-1,12	-0,07	-2,26	pohyb osob, větrání
2.21	2.2	-	01.04.2019 23:00	02.04.2019 01:44	2:44:30	-0,70	-0,47	-0,04	-2,65	
2.22	2.2	-	02.04.2019 01:47	02.04.2019 10:59	9:12:00	-1,52	-1,55	0,16	-5,98	
2.23	2.2	+	02.04.2019 11:01	02.04.2019 10:47	0:13:50	1,13	1,14	2,26	0,14	
2.24	2.2	-	02.04.2019 11:28	03.04.2019 11:23	23:55:20	-0,89	-0,83	0,92	-5,33	
2.25	Exteriér	-	03.04.2019 11:30	03.04.2019 11:45	0:15:10	-1,01	-1,01	-0,59	-1,41	-
2.26	Exteriér	+	03.04.2019 12:00	03.04.2019 12:29	0:29:30	1,28	1,29	1,91	0,22	-
2.27	2.2	-	03.04.2019 12:36	03.04.2019 13:35	0:59:10	-0,69	-0,65	-0,14	-1,79	pohyb osob, větrání
2.28	2.2	-	03.04.2019 13:40	04.04.2019 12:36	22:56:32	-1,15	-0,96	0,53	-0,36	
2.29	2.2	+	04.04.2019 12:41	04.04.2019 12:59	0:18:03	1,76	1,81	2,52	0,18	
2.30	Exteriér	+	04.04.2019 13:00	04.04.2019 13:03	0:03:30	1,45	1,48	1,80	0,00	-
2.31	Exteriér	-	04.04.2019 13:06	04.04.2019 13:11	0:05:40	-1,16	-1,20	-0,50	-1,58	-
2.32	2.2	-	04.04.2019 13:16	05.04.2019 13:56	24:40:41	-1,35	-1,28	0,69	-4,51	pohyb osob, větrání
2.33	2.2	+	05.04.2019 13:57	05.04.2019 14:08	0:11:38	0,77	0,59	1,86	0,03	
2.34	2.2	-	05.04.2019 14:11	05.04.2019 23:51	9:40:08	-1,09	-1,02	0,89	-6,37	
2.35	2.2	+	05.04.2019 23:52	06.04.2019 00:07	0:15:28	2,15	2,18	2,56	0,71	-
2.36	Exteriér	-	06.04.2019 0:30	06.04.2019 00:48	0:18:25	-1,20	-1,21	-0,52	-1,86	
2.37	Exteriér	+	06.04.2019 0:47	06.04.2019 00:57	0:10:45	1,41	1,43	1,88	0,95	-
2.38	2.1	-	06.04.2019 1:12	08.04.2019 10:10	56:58:32	-3,40	-3,54	0,83	-7,23	pohyb osob, větrání
2.39	2.3	-	08.04.2019 12:07	10.04.2019 17:38	53:31:56	-2,38	-2,45	-0,03	-4,94	
2.40	2.3	-	10.04.2019 19:15	11.04.2019 13:27	18:12:28	-3,30	-3,32	-0,13	-6,49	
2.41	Exteriér	-	11.04.2019 13:27	11.04.2019 13:33	0:06:30	-0,65	-0,66	-0,28	-1,20	-
Objekt č. 3 - RD Velká Dobrá										
3.01	3.1	+	02.02.2019 20:18	02.02.2019 20:20	0:02:50	0,09	0,10	0,30	-0,03	-
3.02	3.1	-	03.02.2019 14:00	03.02.2019 20:14	4:07:15	-3,29	-3,39	-0,26	-4,88	-
3.03	3.2	-	05.02.2019 16:34	05.02.2019 21:47	4:33:12	-0,01	0,01	0,31	-0,85	-
3.04	3.1	+	07.02.2019 16:19	07.02.2019 16:37	0:17:01	0,20	0,17	1,20	-0,02	-
3.05	3.1	-	07.02.2019 20:08	07.02.2019 21:31	1:23:00	-1,18	-1,12	1,82	-3,75	-
3.06	3.1	-	15.03.2019 21:04	15.03.2019 21:55	0:51:00	-0,26	-0,15	0,87	-2,93	-
3.07	3.1	+	16.03.2019 22:52	16.03.2019 23:05	0:13:44	4,27	4,78	8,79	-0,26	-

Tabulka 10 – Souhrn všech měření (část 2)

Č. měření	Č. místnosti	Polarita +/-	Začátek měření	Konec měření	Délka měření [hh:mm:ss]	Koncentrace iontů [10 ³ iont/cm ³]				Poznámka
						Průměr	Medián	Max	Min	
Objekt č. 3 - RD Velká Dobrá										
3.08	3.1	-	16.03.2019 23:06	16.03.2019 23:26	0:20:33	-0,24	-0,13	0,16	-2,69	-
3.09	3.1	-	17.03.2019 11:12	17.03.2019 13:26	2:14:44	-0,22	-0,20	0,06	-2,10	-
3.10	3.1	+	17.03.2019 13:28	17.03.2019 17:41	4:13:44	2,42	2,41	4,99	0,64	pobyt osob
3.11	3.1	-	17.03.2019 17:43	17.03.2019 19:10	1:27:55	-0,19	-0,15	0,18	-1,70	
3.12	Exteriér	-	13.04.2019 20:45	13.04.2019 21:03	0:18:10	-0,61	-0,63	-0,11	-1,03	-
3.13	Exteriér	+	13.04.2019 21:03	13.04.2019 21:17	0:14:25	0,99	1,05	1,56	0,40	-
3.14	3.3	+	13.04.2019 21:27	14.04.2019 00:26	2:59:45	0,77	0,75	1,64	-0,99	-
3.15	3.3	-	14.04.2019 00:26	14.04.2019 19:31	19:04:50	-0,08	-0,07	0,04	-0,99	větrání oknem, pobyt osoby
3.16	3.3	+	14.04.2019 19:31	14.04.2019 20:00	0:29:01	0,86	0,79	2,42	-0,30	-
3.17	Exteriér	+	14.04.2019 20:10	14.04.2019 20:13	0:03:05	0,76	0,74	1,10	0,58	-
3.18	Exteriér	-	14.04.2019 20:13	14.04.2019 20:15	0:02:25	-0,64	-0,54	-0,30	-1,64	-
Objekt č. 4 - RD Kladno										
4.01	4.1	+	13.04.2019 14:25	13.04.2019 14:43	0:18:40	1,30	1,34	1,87	0,29	nucené větrání
4.02	4.1	-	13.04.2019 14:43	13.04.2019 20:14	5:30:55	-0,34	-0,03	1,19	-1,30	
4.03	4.1	+	13.04.2019 20:14	13.04.2019 20:19	0:04:45	0,75	0,68	1,34	0,13	
Objekt č. 5 - RD Jizerské hory										
5.01	Exteriér	-	18.04.2019 21:00	18.04.2019 21:28	0:28:00	-1,85	-1,80	-0,36	-4,35	-
5.02	5.1	-	18.04.2019 21:52	19.04.2019 05:13	7:21:36	-5,27	-5,24	-3,12	-8,81	-
5.03	5.1	-	19.04.2019 11:54	21.04.2019 12:35	48:41:09	-5,47	-5,33	-1,37	-12,14	-
5.04	5.1	-	21.04.2019 15:03	22.04.2019 16:46	25:43:57	-4,19	-4,15	-1,15	-8,38	-
5.05	Exteriér	-	21.04.2019 17:00	21.04.2019 17:07	0:07:05	-2,06	-2,01	-1,39	-3,03	-
5.06	Exteriér	+	21.04.2019 17:07	21.04.2019 17:17	0:10:40	2,17	2,20	2,81	1,60	-
5.07	5.1	-	21.04.2019 17:26	21.04.2019 17:26	0:00:40	4,40	4,65	5,48	2,58	-

Tabulka 11 – Souhrn všech měření (část 3)

Č. měření	Č. místnosti	Polarita +/-	Začátek měření	Konec měření	Délka měření [hh:mm:ss]	Koncentrace iontů [10 ³ iont/cm ³]				Poznámka
						Průměr	Medián	Max	Min	
Objekt č. 6 - Budova A FSv ČVUT										
6.01	6.2	-	20.02.2019 18:26	21.02.2019 15:47	21:20:30	-0,09	-0,07	1,49	-0,91	větrání oknem
6.02	6.2	+	21.02.2019 16:55	22.02.2019 9:18	16:23:00	1,10	1,29	2,89	-0,23	
6.03	6.2	-	11.04.2019 14:45	11.04.2019 16:35	1:50:00	-0,11	-0,09	1,29	-0,64	větrání oknem, pohyb osob
6.04	6.2	+	11.04.2019 16:35	11.04.2019 17:13	0:38:05	0,41	0,37	0,50	-0,41	
6.05	6.2	-	12.04.2019 09:05	12.04.2019 16:28	7:23:09	-0,18	-0,13	0,08	-1,40	
6.06	6.2	+	12.04.2019 16:28	12.04.2019 17:33	1:05:24	0,11	0,08	1,80	-0,16	
6.07	Exteriér	+	12.04.2019 17:45	12.04.2019 17:55	0:10:15	1,16	1,18	1,81	0,78	-
6.08	Exteriér	-	12.04.2019 17:56	12.04.2019 17:59	0:03:55	-0,68	-0,68	-0,18	-0,92	-
6.09	6.1	-	24.04.2019 10:43	24.04.2019 10:57	0:14:05	-1,14	-1,11	0,02	-2,29	pohyb osob, větrání
6.10	6.1	-	24.04.2019 10:58	24.04.2019 11:23	0:25:23	-1,08	-1,08	-0,01	-2,20	-
6.11	6.1	+	24.04.2019 11:24	24.04.2019 11:29	0:05:58	1,51	1,51	2,29	0,17	-
6.12	6.1	-	24.04.2019 11:54	24.04.2019 13:51	1:55:38	-1,74	-1,84	-0,03	-2,88	-
6.13	Exteriér	-	24.04.2019 14:03	24.04.2019 14:15	0:12:15	-0,73	-0,73	-0,16	-1,33	-
6.14	Exteriér	+	24.04.2019 14:15	24.04.2019 14:30	0:15:25	1,38	1,42	2,00	0,21	-
6.15	6.1	+	24.04.2019 14:41	24.04.2019 14:43	0:02:30	1,96	2,06	2,52	0,33	-
6.16	6.1	-	24.04.2019 14:47	24.04.2019 16:45	1:58:00	-0,58	-0,51	-0,20	-1,15	-
6.17	6.1	+	24.04.2019 16:47	24.04.2019 17:12	0:25:18	2,00	1,97	3,50	0,29	pobyt osoby
6.18	Exteriér	-	29.04.2019 11:25	29.04.2019 11:41	0:16:25	-2,08	-1,93	-0,72	-4,70	-
6.19	Exteriér	+	29.04.2019 11:42	29.04.2019 11:52	0:10:30	-2,08	-1,93	-0,72	-4,70	-
6.20	6.1	-	29.04.2019 12:06	29.04.2019 15:40	3:34:50	-2,26	-2,05	-0,16	-4,21	13:17 zapnutí VZT
6.21	6.1	+	29.04.2019 15:41	29.04.2019 16:24	0:43:30	2,18	2,23	2,71	0,84	VZT zapnuta
6.22	6.1	-	29.04.2019 16:24	29.04.2019 17:04	0:40:20	-1,97	-1,96	-1,69	-2,31	
6.23	6.2	-	29.04.2019 17:10	29.04.2019 17:11	0:01:20	-1,48	-1,51	-0,88	-1,97	
6.24	6.1	-	07.05.2019 11:10	14.05.2019 16:01	172:51:45	-2,58	-2,61	-0,45	-4,37	měření radonu
6.25	6.1	+	14.05.2019 16:02	14.05.2019 16:27	0:25:00	2,62	2,73	3,99	0,93	
6.26	6.2	-	14.05.2019 16:37	14.05.2019 17:15	0:38:22	-0,38	-0,33	0,10	-0,33	větrání oknem

Tabulka 12 – Souhrn všech měření (část 4)

10.1. Vliv nuceného větrání v porovnání s přirozeným

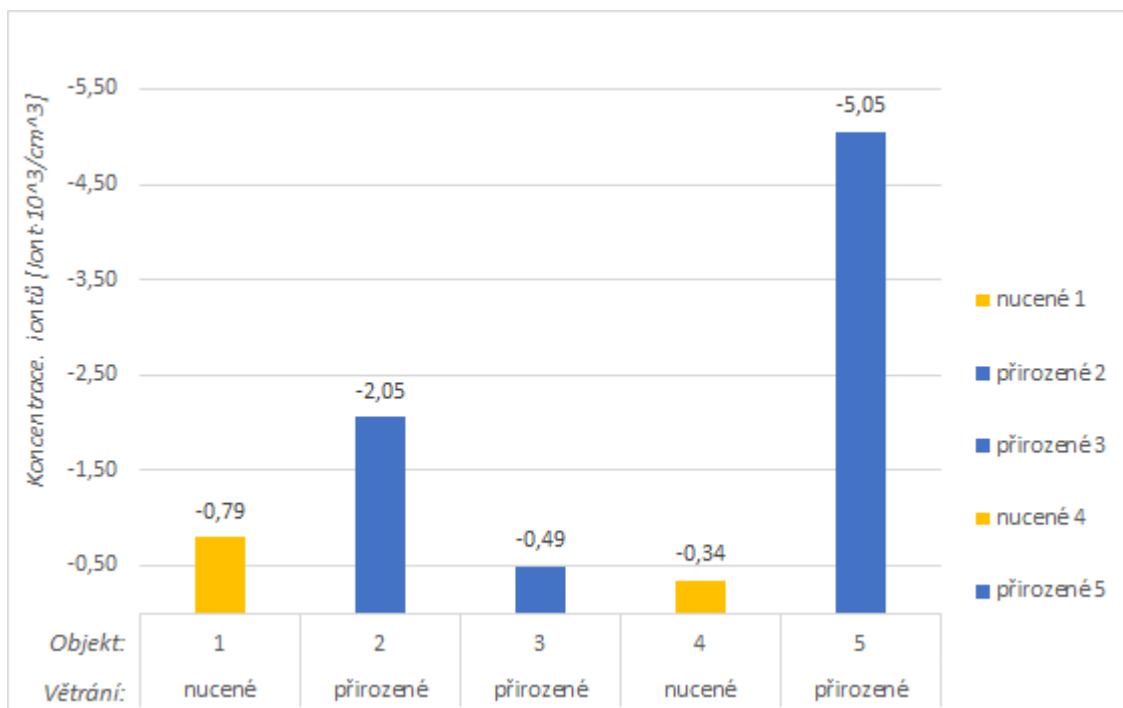
Celkové srovnání

Pro srovnání byla vybrána měření v různých objektech. Vybrány byly pro porovnání tři rodinné a dva bytové domy lišící se vždy přirozeným a nuceným větráním. Oba dva bytové domy se nachází v Praze a dva rodinné domy se nachází v klidnější zástavbě v okrese Kladno, třetí v Jizerských horách. Dle možností přístupnosti objektů bylo provedeno několik měření s co největší délkou tak, aby bylo vystihnuto co nejvíce možných situací (počasí, roční období, denní doba, ...) a případné okamžité výkyvy způsobené vlivy jako je například přítomnost osob či větrání oknem. Měření tedy pokrývá různé situace i za podmínek, které odpovídají skutečnému stavu pobytových místností v realitě. Naměřená data jsou dále průměrována (Tabulka 13) a okamžité průběhy zanášeny do grafů (kapitola 11) a porovnávány mezi sebou.

V objektu č. 1 při měření docházelo k nucenému vlhčení vzduchu ultrazvukovým zvlhčovačem. Hodnoty měření koncentrace iontů, v období, kdy byl zvlhčovač zapnutý, byly z průměrů vyjmuty, protože ultrazvukový zvlhčovač tvorbou vodní mlhy ovlivňuje i koncentraci iontů v místnosti a měření by tak bylo zkresleno, jak je zřetelné např. z měření č. 1.02 (Graf 16 - Graf 19).

Tabulka 13 – Porovnání měření v objektech s přirozeným a nuceným větráním

Objekt	Č.m.	Místnost	Datum měření	Začátek měření	Délka měření celkem [hh:mm]	Interiér		Exteriér		Poznámky
						n- [i _{ont} ·10 ³ /cm ³]	n+ [i _{ont} ·10 ³ /cm ³]	n- [i _{ont} ·10 ³ /cm ³]	n+ [i _{ont} ·10 ³ /cm ³]	
1 (BD)	1.01	1.1	22.02.19	11:09	6:30	-0,45	-	-	-	nucené větrání, umělé vlhčení
	1.02	1.1	25.02.19	17:30	41:00	-0,56	-	-	-	
	1.02	1.1	28.02.19	18:30	20:00	-0,72	4,64	-	-	
	1.04	1.2	02.03.19	8:30	25:30	0,04	2,62	-	-	
	1.08	1.1	14.03.19	12:00	25:20	-2,14	7,33	-	-	
2 (BD)	2.01	2.1	29.03.19	19:48	50:38	-1,67	2,76	-0,99	-	větrání okny
	2.19	2.2	01.04.19	13:01	106:50	-1,14	2,03	-0,98	1,32	pobyt osob, větrání
	2.38	2.1	06.04.19	1:12	56:58	-3,40	-	-1,20	1,41	-
	2.39	2.3	08.04.19	12:07	53:21	-2,38	-	-1,06	1,41	pobyt osob
	2.40	2.3	10.04.19	19:15	18:12	-3,30	-	-0,65	-	větrání okny
3 (RD)	3.02	3.1	03.02.19	14:00	4:07	-3,29	-	-	-	pohyb osob větrání okny
	3.04	3.2	07.02.19	16:19	2:44	0,02	-	-	-	-
	3.03	3.2	05.02.19	16:34	2:29	0,00	-	-	-	-
	3.05	3.1	07.02.19	20:08	1:23	-1,18	0,20	-	-	pobyt osob
	3.06	3.1	15.03.19	21:04	0:51	-0,26	2,42	-	-	pobyt osob
	3.09	3.1	17.03.19	11:12	2:14	-0,22	2,42	-	-	pobyt osob
	3.11	3.1	17.03.19	17:43	1:27	0,19	2,42	-	-	pobyt osob
	3.15	3.3	14.04.19	0:26	19:04	-0,08	0,78	-0,64	0,76	pobyt osob
4 (RD)	4.2	4.1	14.04.19	0:26	19:04	-0,34	1,20	-0,61	0,99	nucené větrání
5 (RD)	5.02	5.1	18.04.19	21:52	7:21	-5,27	3,91	-1,85	-	-
	5.03	5.1	19.04.19	11:54	48:41	-5,47	3,91	-3,03	1,6	-
	5.04	5.1	21.04.19	15:03	25:43	-4,19	3,91	-3,03	1,6	-



Graf 1 – Srovnání průměrných hodnot koncentrací záporných iontů v objektech s nuceným a přirozeným větráním

Hodnoty byly následně zprůměrovány pro všechna měření v daném objektu. V grafu (Graf 1) jsou tyto hodnoty znázorněny s vyznačením, které budovy byly větrány nuceně a které přirozeně. Je jasně zřetelné, že nejlepší výsledky byly naměřeny v objektu č. 5 v Jizerských horách. Tuto skutečnost lze přisoudit čistému horskému ovzduší, přírodnímu prostředí a vysoké pravděpodobnosti vlivu přítomného radonu.

V dalších čtyřech objektech byly naměřeny hodnoty výrazně nižší. Ačkoli z dvojice objektů bytových domů (objekty 1 a 2) a rodinných domů (objekty 3 a 4) je koncentrace záporných iontů vždy v nuceně větraném objektu nižší než v objektu větraném přirozeně (o 29 % v případě BD 30 % v případě RD), nelze z výsledků vyvodit obecný závěr. Objekty větrané shodně vykazují vzájemně výrazně větší rozdíly koncentrací (především ty větrané přirozeně, ale i mezi nuceně větranými je rozdíl více než 50 %) než objekty podobné povahy větrané rozdílně (např. RD). Proto se za nejdůležitější vliv způsobující rozdíl v koncentracích nedá jednoznačně považovat způsob větrání objektu (ačkoli tento vliv nelze ani vyloučit), ale pravděpodobně výraznější vliv bude mít jiný faktor.

Dále je také z měření zřetelné (Tabulka 13), že v jednom objektu je koncentrace často velmi rozdílná. Např. v objektu č. 3 jsou průměrné hodnoty většiny měření velmi nízké, měření 3.11 má dokonce celkově kladnou průměrnou bilanci, nicméně měření č. 3.02 a 3.05 dosahuje až trojnásobných hodnot. Podobných rozdílů si můžeme povšimnout i u objektu č. 1.

Porovnání rodinných domů větraných rozdílně

Pro detailnější rozbor měření byla vybrána měření, která byla provedena v typově podobných objektech. Objekt č. 3 (RD Velká Dobrá) je větrán přirozeně a objekt č. 4 (RD Kladno) je větrán nuceně. Oba objekty se nachází v jedné oblasti (ve vzdálenosti do 10 km) a současně odpovídají svým rozsahem (dvoupodlažní rodinný dům) i konstrukcí (tvárnice zdivo). Obě měření byla provedena v 2. NP v pokoji využívaném jako ložnice (místnosti 3.3 a 4.1). Mezi měřeními byl pouze jednodenní rozdíl. Z měření byla pro porovnání vybrána ta část, která se shoduje i denní dobou,

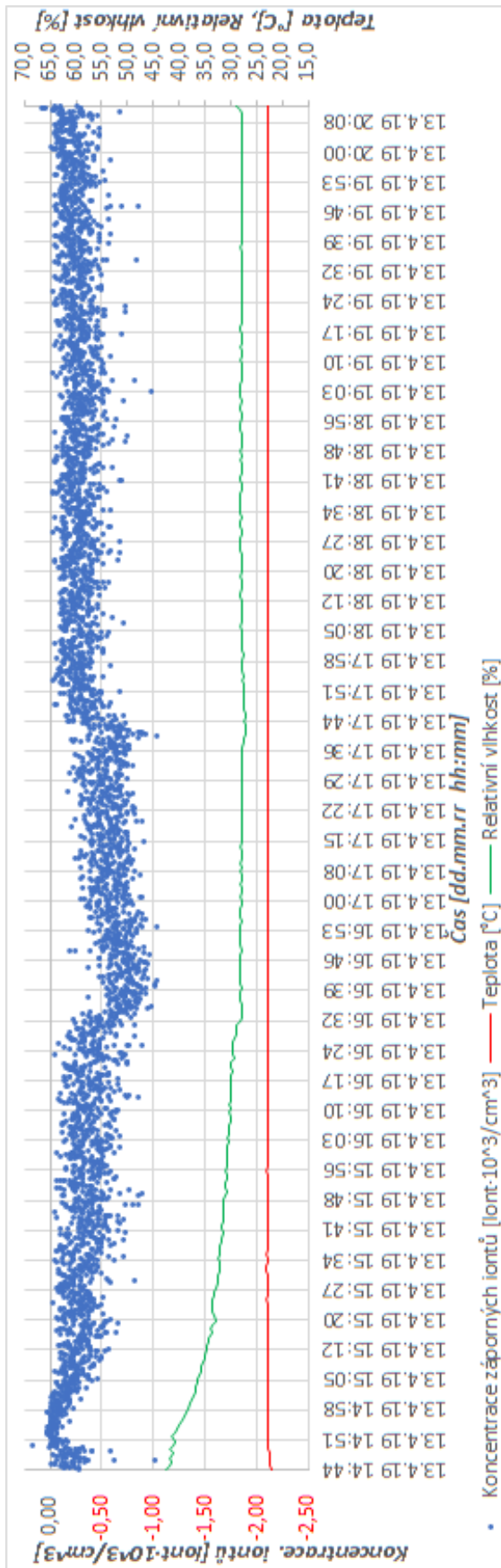
tedy 4,75 hod úsek 14:45 – 19:30. V objektu č. 3 byla v místnosti přítomna osoba, nicméně její měření č. 5.02 probíhalo již dlouhodobě a z grafu (Graf 51) je patrné, že koncentraci iontů příchod ani pobyt osoby nijak neovlivnil.

Data byla následně souhrnně zpracována (Tabulka 14) a upravena do grafů (Graf 2, Graf 3).

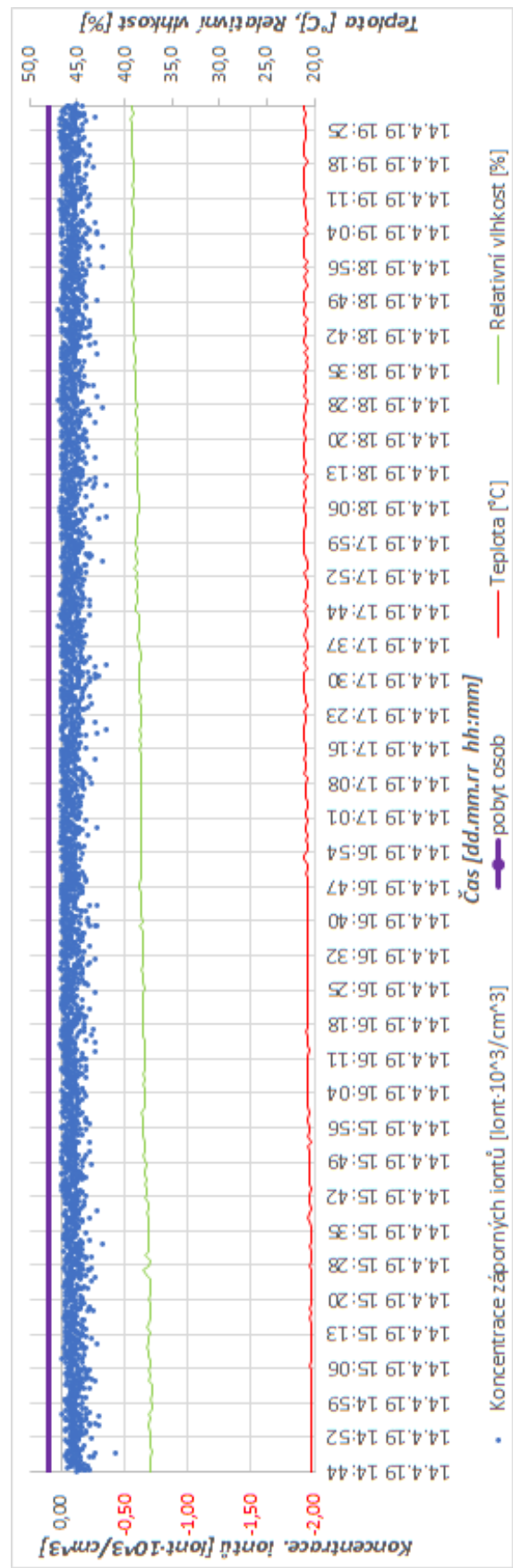
Tabulka 14– Srovnání výsledků měření v Objektu č. 3 a Objektu č. 4

Objekt	Datum měření	Interiér					Exteriér			
		n- [iont·10 ³ /cm ³]	n+ [iont·10 ³ /cm ³]	UQ [-]	t [°C]	Φ [%]	n- [iont·10 ³ /cm ³]	n+ [iont·10 ³ /cm ³]	UQ [-]	Počasí
4	13.04.19	-0,34	1,20	-3,53	22,8	30,0	-0,61	0,99	-1,62	zataženo
3	14.04.19	-0,08	0,78	-9,79	20,8	38,3	-0,64	0,76	-1,19	mírný déšť

Jak je zřetelné jak ze souhrnu měření v daných objektech (Tabulka 14) tak z grafů (Graf 2, Graf 3), koncentrace iontů v obou interiérech je nižší než v exteriéru a hluboko pod doporučovými hodnotami. V objektu s nuceným větráním (č. 4) je však mírně vyšší než v objektu s přirozeným větráním (č. 3). Není jasné, čím byl tento rozdíl způsoben a není tedy tímto měřením možné potvrdit hypotézu, že nucené větrání má za každých podmínek horší vliv na koncentraci iontů v ovzduší interiéru než větrání přirozené. Vedle způsobu větrání má na koncentraci iontů vliv i mnoho dalších faktorů, a proto není možné pro objekt č. 4 jednoznačně určit, zda je snížená koncentrace iontů v interiéru v porovnání s exteriérovými hodnotami způsobena právě průchodem vzduchu větracím systémem a jaká je příčina nízkých hodnot v objektu č. 3.



Graf 2 – Koncentrace záporných iontů včetně záznamu teploty a relativní vlhkosti - Objekt č. 4 s nuceným větráním, měření č. 4.02



Graf 3 – Koncentrace záporných iontů včetně záznamu výskytu osob, teploty a relativní vlhkosti - Objekt č. 3 s přirozeným větráním, měření č. 3.15

Laboratoř TZB

V laboratoři TZB bylo provedeno měření bez nuceného větrání, kdy byla vzduchotechnická jednotka vypnutá. Předpoklad byl, že v místnosti nebude téměř žádné množství iontů, jelikož je vzduchově téměř úplně utěsněna a nemá žádná okna. Naměřeny však byly poměrně hodně vysoké hodnoty – série měření v první měřící den (měření č. 6.01 – 6.16) ukázala průměrné hodnoty koncentrace 1 000 – 2 000 iont/cm³. Podniknuto bylo několik zkušebních opatření, jako je například vypínání a zapínání zářivkového světla (podezření jiskření), opakovaná recalibrace měřícího přístroje, odstranění dalších měřících přístrojů, uzavírání místnosti, přítomnost osob atp. avšak nebylo zjištěno, co je zdrojem iontů v jinak uzavřeném prostoru obklopeném sádkartonovými stěnami, do kterého vede pouze vzduchotechnické potrubí, které bylo v době měření uzavřeno klapkami a VZT jednotka byla vypnutá.

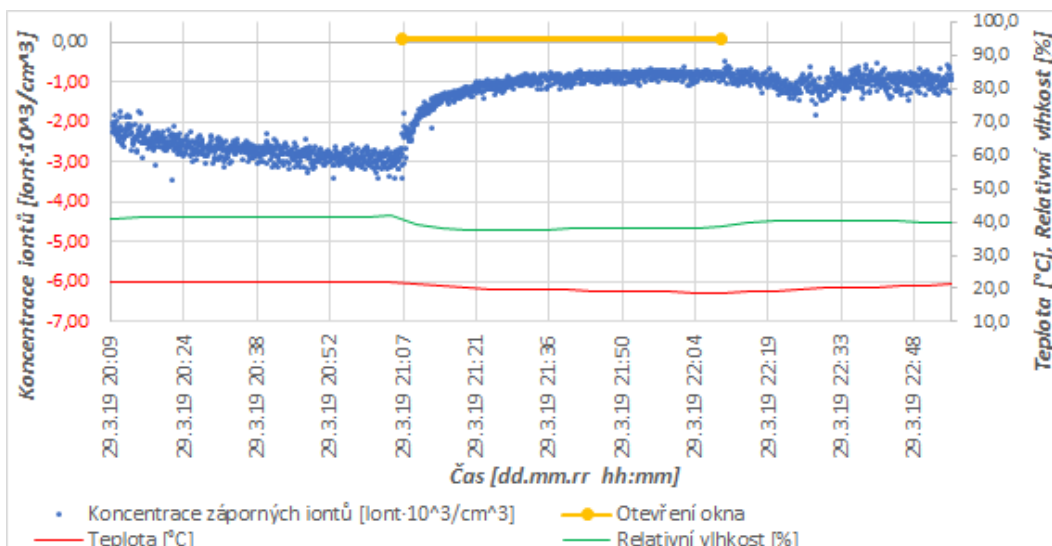
Další série měření zkoumala vliv provozu nuceného větrání (měření č. 6.18 – 6.23), kdy byla nejprve změřena koncentrace iontů ve vzduchu v exteriéru před vstupem do potrubí (měření č. 6.18 a 6.19), následně bylo provedeno měření v interiéru a byla zapnuta vzduchotechnika (měření č. 6.20). Průměrná hodnota 10ti minutového měření v exteriéru (měření č. 6.18) byla - 2 080 iont/cm³. Koncentrace v interiéru před zapnutím VZT jednotky byla stálá - mírně oscillovala kolem -3 000 iontů/cm³. (průměrně -2 970 iontů/cm³). Po zapnutí VZT rázem klesla na stálý průměr -1 870 iont/cm³ tedy o 1 000 iont/cm³ méně, než bylo v nehybném vzduchu kabiny laboratoře, ale pouze o 210 iont/cm³ nižší hodnotu, než byla v exteriéru. Jedná se tedy pouze o 10 % pokles. Je však nutné uvést, že potrubí vedoucí z exteriéru do měřící kabiny je pouze cca 20 m dlouhé.

Jako srovnávací měření ve stejné budově slouží několik měření provedených v kanceláři vedoucího ve 2.NP. Měření 6.01 poskytuje velmi nízké výsledky. Průměrná hodnota -90 iont/cm³ je hluboce pod doporučovanými hodnotami a nedosahuje ani běžně uváděných hodnot. Krátké měření 6.26 o dva měsíce později ukazuje průměrnou hodnotu koncentrace záporných iontů 380 iont/cm³, což je sice výrazně lepší výsledek, nicméně ani zdaleka nedosahuje hodnot naměřených v nuceně větrané laboratoři. Proto i z těchto výsledků měření vyplývá, že v laboratoři TZB musel nutně být přítomen nějaký nezjištěný zdroj iontů.

10.2. Vliv větrání oknem

Tato část měření byla zaměřena na posouzení vlivu větrání interiéru oknem na koncentraci záporných vzdušných iontů. Měření bylo prováděno v obytné místnosti, kde není riziko přítomnosti radonu a nebyl vliv přítomnosti osob, což by mohlo ovlivňovat měření, ačkoli okno bylo vždy otevíráno ručně a proto osoba do místnosti musela vždy krátkodobě vstoupit.

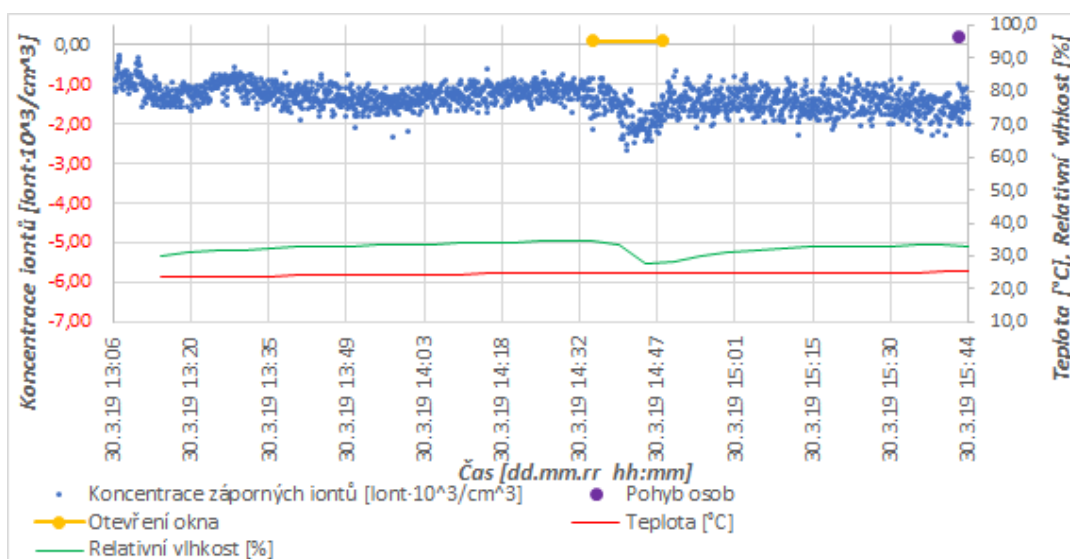
V ložnici (2.1) objektu č. 2 byla kontinuálně měřena koncentrace záporných iontů ve vzduchu po dobu několika dní (série měření č. 2.01 – 2.07, 2.08 – 2.16, 2.19 – 2.24, 2.33 – 2.34). V těchto dnech bylo několikrát záměrně vyvětráno v různých délkách otevření oken. Z měření byly vytaženy následující výseky k porovnání:



Graf 4 – Detail z měření č. 2.01

V měření č. 2.01 (Graf 27) bylo otevřeno okno od 21:07 do 22:10, tedy po dobu 01:03 hod (hh:mm).

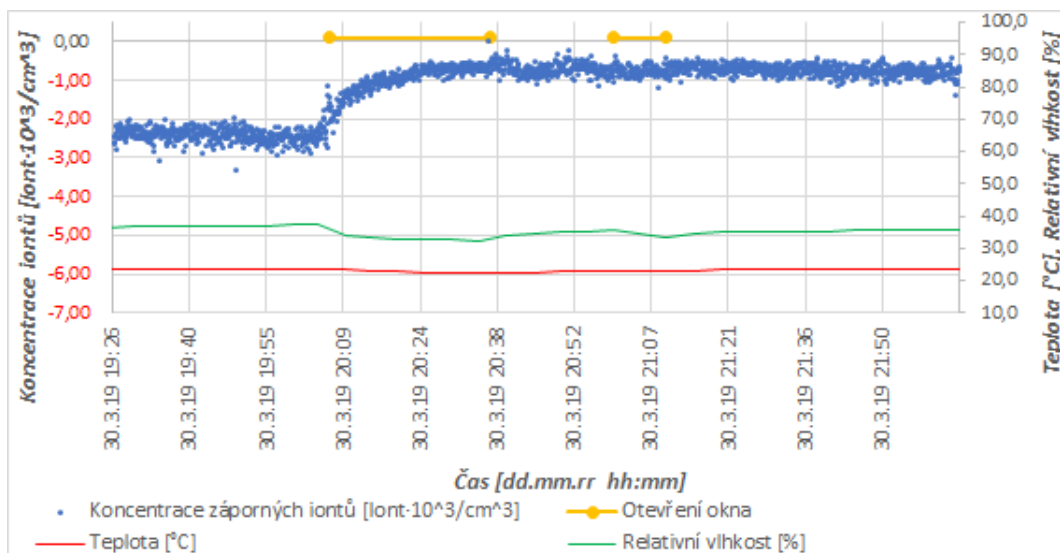
Z Graf 4 je zřejmé, že po otevření okna dochází k zásadnímu snížení koncentrace záporných iontů. Průměrná hodnota v části před 21:07 hod, kde měla koncentrace iontů spíše vzrůstající tendenci, byla $n = -2\,550$ iont/cm³. Po zavření okna se hodnota koncentrace ustálila na hodnotě $n = -950$ iont/cm³ a už znovu nestoupla na původní hodnoty.



Graf 5 – Detail z měření č. 2.03

V měření č. 2.03 (Graf 27) bylo otevřeno okno od 14:35 do 14:48, tedy po dobu 00:13 hod (hh:mm).

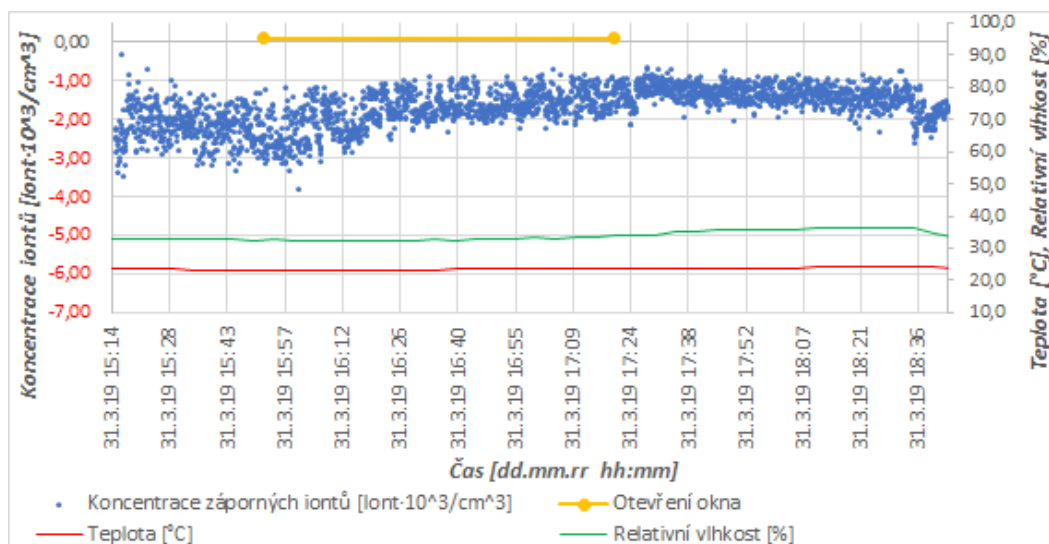
Z Graf 5 je zřejmé, že po otevření okna dochází k mírnému navýšení koncentrace záporných iontů. Průměrná hodnota v části před 14:35 hod byla $n = -1\,240$ iont/cm³. Maximum v době větrání bylo $n = -2\,640$ iont/cm³ a průměrná hodnota $n = -1\,520$ iont/cm³. Po zavření okna se hodnota koncentrace ustálila na mírně zvýšené průměrné hodnotě $n = -1\,440$ iont/cm³.



Graf 6 – Detail z měření č. 2.07

V měření č. 2.07 (Graf 27) bylo okno otevřeno dvakrát. Poprvé od 20:07 do 20:37, tedy po dobu 00:30 hod (hh:mm), podruhé od 21:00 do 21:10 tedy po dobu 00:10 hod (hh:mm).

Z Graf 6 je zřejmé, že po prvním otevření okna k zásadnímu snížení koncentrace záporných iontů. Průměrná hodnota v části před 20:07 hod, kde měla koncentrace iontů stálou tendenci, byla $n^- = -2\ 360$ iont/cm³. Po zavření okna se hodnota koncentrace ustálila na hodnotě $n^- = -700$ iont/cm³. Po druhém, výrazně kratším vyvětrání ve 21:00, kdy už hodnoty v místnosti byly nízké z předchozího větrání, nedošlo k žádné změně.

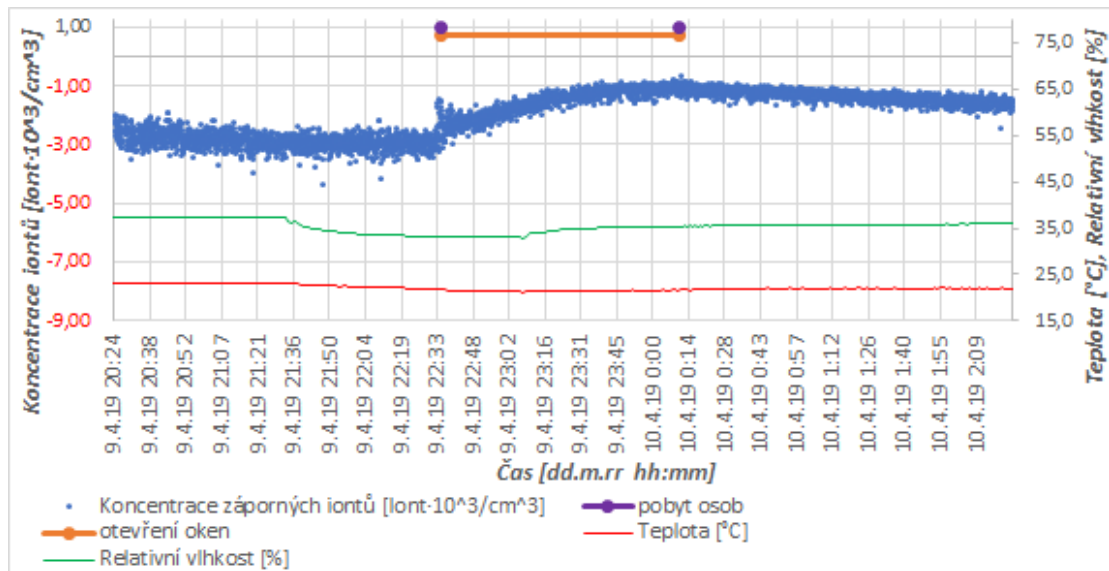


Graf 7 – Detail z měření č. 2.12

V měření č. 2.12 bylo otevřeno okno od 15:52 do 17:20, tedy po dobu 01:28 hod (hh:mm). Průměrné exteriérové hodnoty naměřené po 14:30 hod byly $n_e^- = -960$ iont/cm³.

Z Graf 7 je zřejmé, že po otevření okna dochází k mírnému snížení koncentrace záporných iontů. Průměrná hodnota v části před 15:52 hod byla $n^- = -2\ 120$ iont/cm³. Po zavření okna se průměrná hodnota koncentrace snížila na hodnotu $n^- = -1\ 290$ iont/cm³ a už znovu nestoupla na původní hodnoty. Vzhledem k nízké hodnotě koncentrace iontů v exteriéru se pokles jeví jako vliv přísunu exteriérového vzduchu. Není jasné, co je zdrojem tak vysoké koncentrace iontů v interiéru

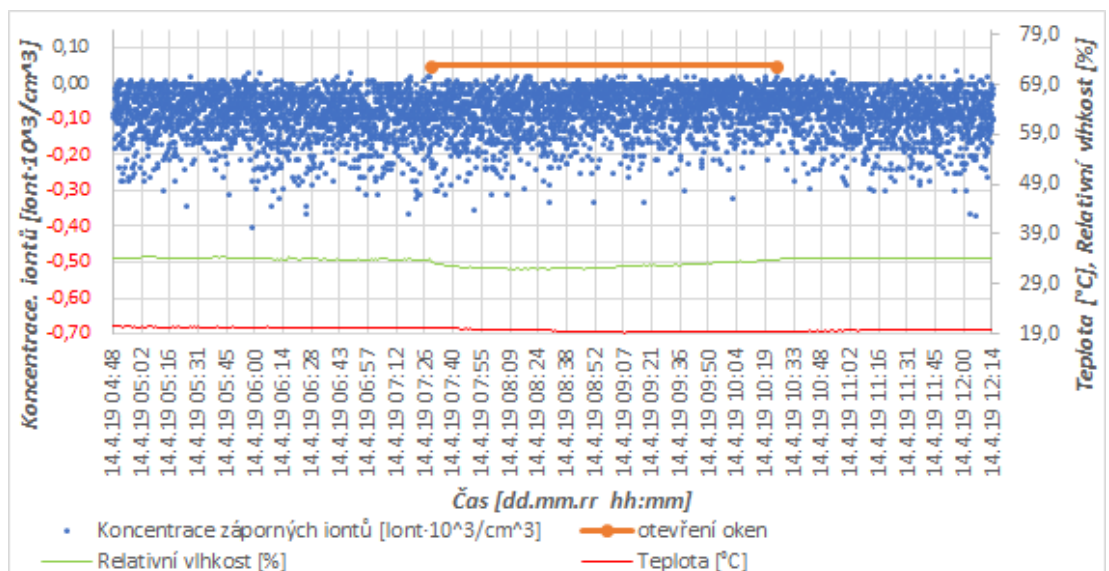
v porovnání s exteriérem. V místnosti 2.1 bylo přítomno větší množství rostlin, avšak není známo, zda tyto pokojové rostliny produkují záporné ionty.



Graf 8 – Detail z měření č. 2.39

V měření č. 2.39 bylo otevřeno okno od 22:35 do 0:10 druhého dne, tedy po dobu 1:35 hod (hh:mm).

Z Graf 8Graf 7 je zřejmé, že po otevření okna dochází k zásadnímu poklesu koncentrace záporných iontů. Průměrná hodnota v části před 22:35 hod, kde měla koncentrace iontů stoupající tendenci, byla $n^- = -2\,930$ iont/ cm^3 . Po zavření okna se hodnota koncentrace ustálila na hodnotě $n^- = -1\,270$ iont/ cm^3 . Po zavření okna se hodnota koncentrace dostala na původní hodnotu až po cca 12 hod.



Graf 9 – Detail měření č. 3.15

V měření č. 3.13, které bylo provedeno v objektu č. 3, na rozdíl od předchozích, bylo otevřeno okno od 07:29 do 10:25, tedy po dobu 2:56 hod (hh:mm).

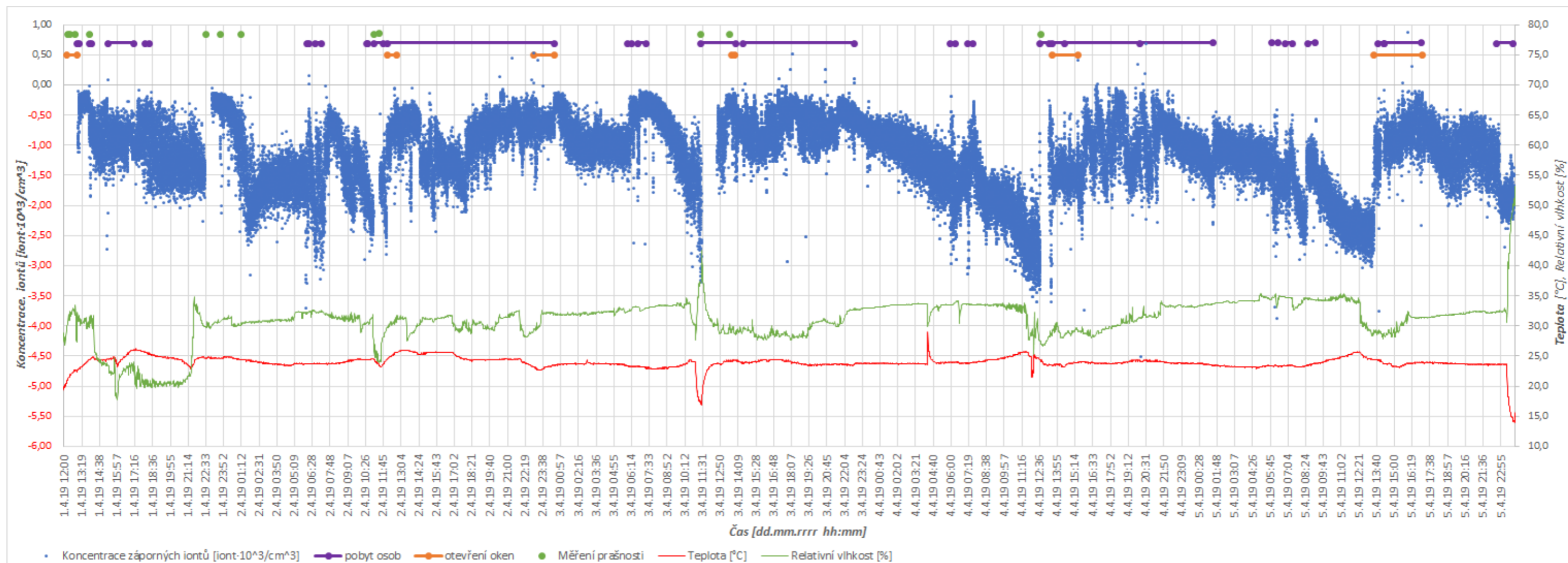
Z Graf 9 Graf 7 je zřejmé, že po otevření okna nedochází k žádné změně stavu koncentrace záporných iontů, která zůstává nadále na průměrné hodnotě $n = - 80 \text{ iont/cm}^3$.

Dle získaných výsledků měření není vliv větrání oknem za různých podmínek jednoznačný. Na průběh koncentrace záporných iontů může mít vliv nejen koncentrace iontů v exteriéru (jak tomu bylo např. u měření 2.12), ale i délka větrání, intenzita větrání, proudění vzduchu v místnosti a především také zvýšená prašnost, již jsou přisouzeny zjištěné poklesy záporných iontů po vyvětrání v objektu č. 2.

10.3. Vliv pobytu osob

Tato část měření se věnovala orientačnímu posouzení vlivu pobytu osob v místnosti na koncentraci záporných vzdušných iontů. Prováděno bylo měření obytných místnostech, kde byl veden podrobný zápis o přítomnosti osob v podobě času příchodu a odchodu. Sledovány byly i další události, které by mohly teoreticky být důvodem výrazné změny průběh koncentrace iontů, jako je například větrání.

Měření proběhlo v obývacím pokoj v Objektu č. 2 (série měření 2.17 – 2.37) v období 1.4 – 6.4.2019. Přítomny byly až čtyři osoby. Měření byla následně zpracována do grafů.



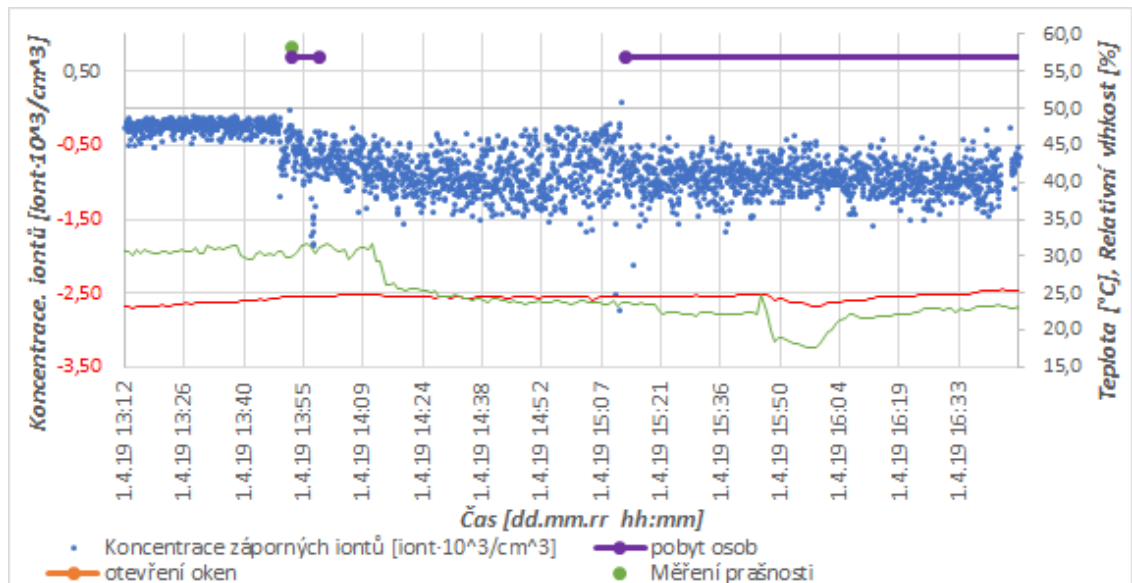
Graf 10 – Koncentrace záporných iontů [iont·10³/cm³] včetně záznamu výskytu osob, teploty a relativní vlhkosti, série měření č. 2.17 – 2.35

Graf 10 obsahuje měření koncentrace záporných vzdušných iontů [iont·10³/cm³] zobrazené modrými body. Protože přístroj nedovoluje měřit současně pozitivní a negativní ionty a zároveň byl k dispozici pouze jeden, bylo prováděno měření pozitivních iontů a exteriérová měření v pauzách mezi měřeními záporných iontů. To způsobuje několik mezer ve sloučeném vyobrazení průběhu koncentrace několika měření po sobě.

Současně byla s měřením iontů měřena i vlhkost a teplota, je v grafu zanesena. Relativní vlhkost v interiéru [%] zobrazuje zelená čára, teplotu v interiéru [°C] pak čára červená.

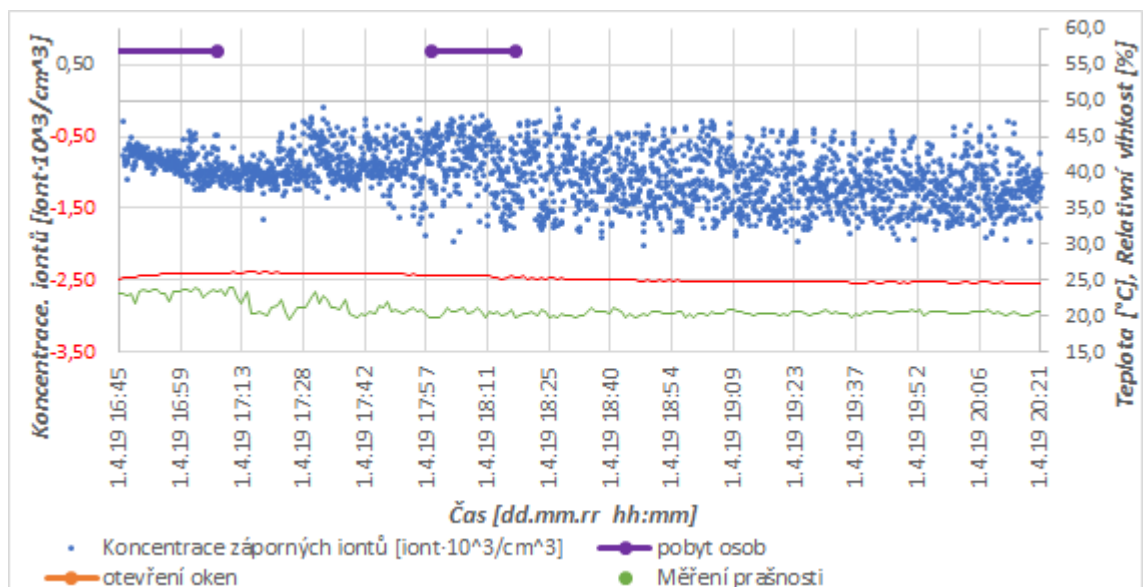
Nad grafem jsou také znázorněny časové úseky, kdy byly při měření zaznamenány určité vlivy. Fialovou barvou je zobrazena přítomnost osob v místnosti, oranžovou pak období, kdy byla místnost větrána přirozeným větráním. Dále jsou místy zaznamenávány okamžiky měření prachu, kdy do místnosti vstoupila osoba či i samotný měřič prachových částic mohl koncentraci iontů ovlivnit.

Pro lepší rozbor výsledků měření byly z celkového měření (Graf 10) vygenerovány detailnější výseky průběhů koncentrace iontů v oblastech, kdy do místnosti přijdou osoby a zároveň nejsou známy žádné další vnější vjemy, které by mohly koncentraci záporných iontů ovlivňovat současně a být tedy příčinou změn.



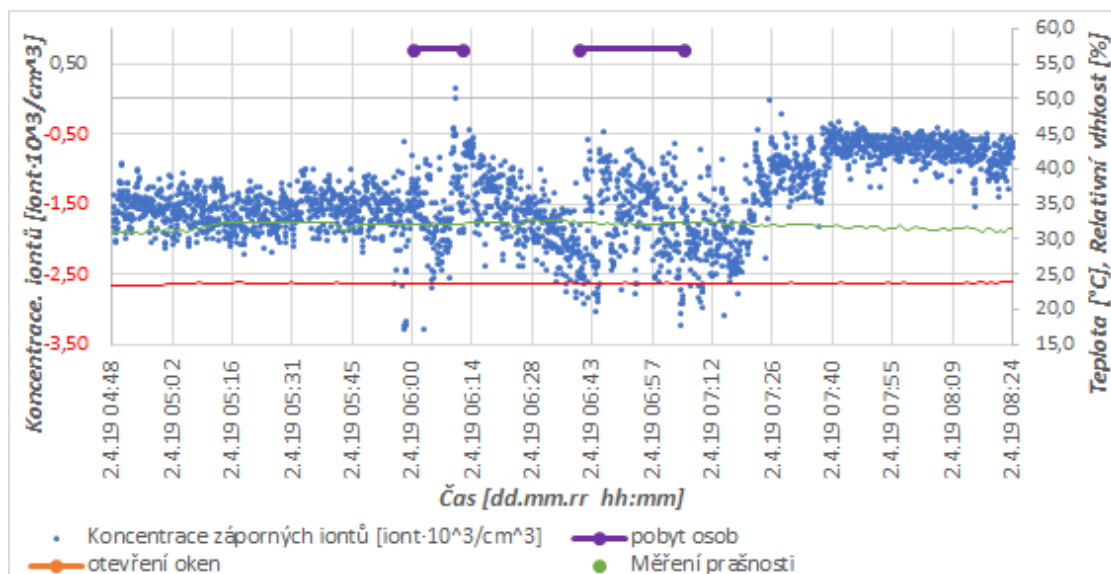
Graf 11 – Koncentrace záporných iontů [$\text{iont} \cdot 10^3 / \text{cm}^3$], měření č.2.17

Z Graf 11 je zřejmé, že po vstupu osob do prostoru dochází ke zvýšení koncentrace záporných iontů. Průměrná hodnota v části před 13:52 hod, kdy došlo k prvnímu vstupu je $n = -280 \text{ iont} / \text{cm}^3$, následně v intervalu 13:52 – 15:13 hod, než došlo k druhému vstupu osoby do prostoru, je průměrná hodnota koncentrace $n = -840 \text{ iont} / \text{cm}^3$. Po druhém vstupu osoby v intervalu 15:15 – 16:15 je průměrná koncentrace $n = -920 \text{ iont} / \text{cm}^3$



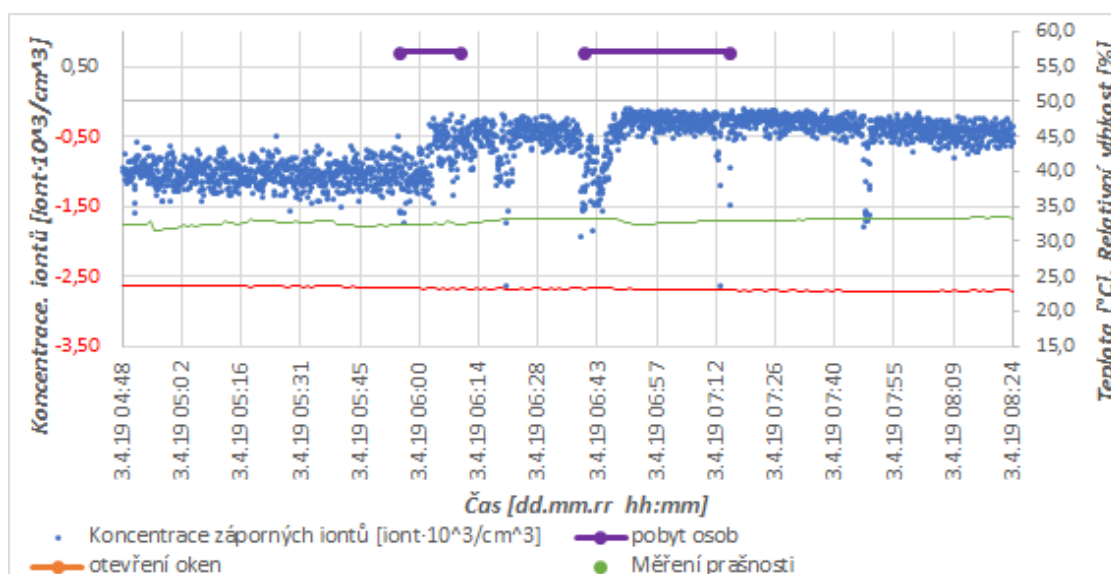
Graf 12 – Koncentrace záporných iontů [$\text{iont} \cdot 10^3 / \text{cm}^3$], měření č. 2.20

Naopak u následujícího příchodu v osoby ve 21:17 hod do prostoru (Graf 12) můžeme pozorovat, že na koncentraci iontů v tomto případě neměla přítomnost osoby žádný výrazný vliv.



Graf 13 – Koncentrace záporných iontů [$\text{iont} \cdot 10^3 / \text{cm}^3$], měření č. 2.22

Dále pak ve výřezu (Graf 14) dvou příchodů do místnosti v podobnou denní dobu (v 6:00 a 6:40 hod) a srovnatelných podmínek můžeme vidět v průběhu koncentrace vzdušných iontů shodný nárůst množství iontů v obou po sobě jdoucích příkladech.



Graf 14 – Koncentrace záporných iontů [$\text{iont} \cdot 10^3 / \text{cm}^3$], měření č. 2.24

Naopak ale ve výřezu shodného času o den později (Graf 14), tedy výřezu dvou příchodů do místnosti v podobnou denní dobu (v 5:55 a 6:40 hod) a srovnatelných podmínek, můžeme vidět v průběhu koncentrace vzdušných iontů pokles u prvního příchodu, a naopak náhlý krátký nárůst a výsledný pokles v případě druhého příchodu.

Z celého měření bylo vyjmuta jen několik příkladů vlivu pohybu osob po místnosti. Přes to je ale jasně zřejmé, že nelze jednotně určit, jaký vliv pohyb osob na koncentraci iontů v této místnosti skutečně má. V některých případech totiž nebyl vliv zřetelný, v jiných způsobil dočasný nárůst ale celkový pokles iontů v místnosti, jinde zase pouze pokles. Vliv na koncentraci iontů v tomto případě může mít sám člověk, který vydechuje kladné ionty nebo CO_2 . Nepřímo pak může působit

elektrostaticky například nošené oblečení. Jako nejpravděpodobnější vysvětlení se nabízí, že člověk svým pohybem v místnosti způsobí zvýšenou prašnost zvířením vzduchu, kdy se prach usazený na površích zvedne do ovzduší. Proto čím čistší by prostředí místnosti bylo, tím menší by pohyb člověka měl na koncentraci iontů vliv.

10.4. Vliv radonu

Pro změření účinků radonu na koncentraci iontů bylo provedeno týden trvající měření. Do laboratoře TZB byl kromě měřiče iontů (tentokrát byl krok měření navýšen na 30s) umístěn i měřič koncentrace radonu a pro sledování možných dalších procesů byla měřena i teplota a vlhkost. Do laboratoře po celou dobu měření nevstupovaly osoby.

Přes stále vysoké hodnoty koncentrace záporných iontů výsledky měření ukázaly velmi nízké hodnoty radonu. V průměru se zde za sedm měřených dní nacházelo 12 Bq/m^3 . To je běžné množství, jež je ekvivalentní množství i v ostatních místnostech budovy, tedy i kanceláři, kde byly naměřeny nízké koncentrace iontů. Proto se hypotéza nepotvrzuje. Stejně tak i průběhy koncentrace radonu (Graf 80) nenasvědčují, že by výkyvy koncentrace iontů souvisely s množstvím radonu v místnosti. Např. Graf 81 zobrazuje dlouhodobě (tj. 4 hodiny) nulovou koncentraci radonu, čemuž ale neodpovídá stále konstantní koncentrace iontů. Naopak Graf 85 zobrazuje více než 12 hodinový úsek, kde je radon nad průměrem tohoto měření ($30\text{--}40 \text{ Bq/m}^3$) a koncentrace iontů v tomto úseku se nezvyšuje (je dokonce nižší než při před a po tomto úseku).

10.5. Vliv CO_2

Provedeno bylo několik měření koncentrace CO_2 . Pro jasnější ověření hypotézy bylo provedeno více měření a v objektu č. 1 při vysoké (uměle navozené) koncentraci CO_2 v místnosti. Měření byla spolu s koncentrací záporných iontů zpracována do grafů (Graf 73 - Graf 79).

U měření č. 5.02, 5.03 a 5.04 koncentrace CO_2 nebyla navyšována uměle ani ovlivňována pobytem osob. Jedná se o stejnou místnost měření ve třech po sobě následujících dnech, nárůst a podmínky by tedy měly být podobné. Měření 5.02 i měření 5.04 vykazují značné výkyvy v koncentraci iontů v čase, ale průběhy koncentrace CO_2 jsou v čase poměrně stálé – během 24 hodin dochází pouze k nárůstu či poklesu maximálně o 150 ppm. Z toho důvodu byl sledován vliv dlouhodobější. V měření č. 5.03 dochází k postupnému lineárnímu poklesu koncentrace CO_2 o přibližně 100 ppm za 12 hodin (z 1050 ppm na 750 ppm) po celou dobu měření. Nicméně průměrná koncentrace iontů v první polovině měření klesá a v druhé polovině naopak stoupá. Proto je i dlouhodobá závislost koncentrace iontů na koncentraci CO_2 v tomto měření vyvrácena.

Měření 6.03 a 6.06 poskytuje příklad nestálé koncentrace CO_2 , vzhledem k tomu, že v kanceláři, kde bylo měření prováděno, se pohybují osoby, větrá se atp. Z grafů měření 6.03 a 6.06 (Graf 78, Graf 79) je zřejmé, že krátkodobé změny v koncentraci CO_2 se na koncentraci záporných iontů často jinak neprojeví. V některých případech, a to právě při pobytu osob a větrání oknem, měly průběhy hodnot píky, ale tam kde ke změně v koncentraci CO_2 docházelo svévolně, je koncentrace iontů konstantní.

V měření č. 1.01 bylo do místnosti nastříkáno CO_2 . Nedochozí vlivem enormního navýšení koncentrace CO_2 k rapidnímu snížení koncentrace záporných iontů ani k postupnému navyšování s úbytkem CO_2 . U měření č. 1.06 lze pozorovat naopak úbytek iontů spolu s úbytkem CO_2 , avšak vzhledem k tomu, že se jedná o shodnou místnost a postup jako při měření 1.01, není možné vyvodit z obou měření závěr, že s koncentrací CO_2 klesá i koncentrace záporných iontů. Pravděpodobně lze tendence pozorované v měření, které jsou shodné i s tendencemi relativní vlhkosti u tohoto měření spojit s režimem nuceného větrání, která má tedy současně vliv nejen na

vlhkost a koncentraci CO₂, ale proudění a výměna vzduchu v místnosti ovlivňuje i pohyby koncentrace záporných iontů. K tomuto měření je také nutné zmínit, že při takto markantních rozdílech v koncentraci CO₂ by, pokud vzájemná závislost existuje, měly změny být výrazně patrné.

Ani porovnání průměrných hodnot všech provedených měření nenasvědčuje potvrzení hypotézy ani nalezení jiné jasné závislosti koncentrace záporných iontů na koncentraci CO₂, viz. Tabulka 15, a to jak napříč všemi měřeními, tak ani pro měření provedená v jednotlivých objektech.

Tabulka 15 – Porovnání naměřených koncentrací n- a CO₂

Č. měření	n- [10 ³ iont/cm ³]	CO ₂ [ppm]
1.01	-0,45	508,39
1.06	-2,19	702,03
5.02	-5,27	929,06
5.03	-5,47	874,28
5.04	-4,19	728,72
6.03	-0,11	847,12
6.05	-0,18	836,24

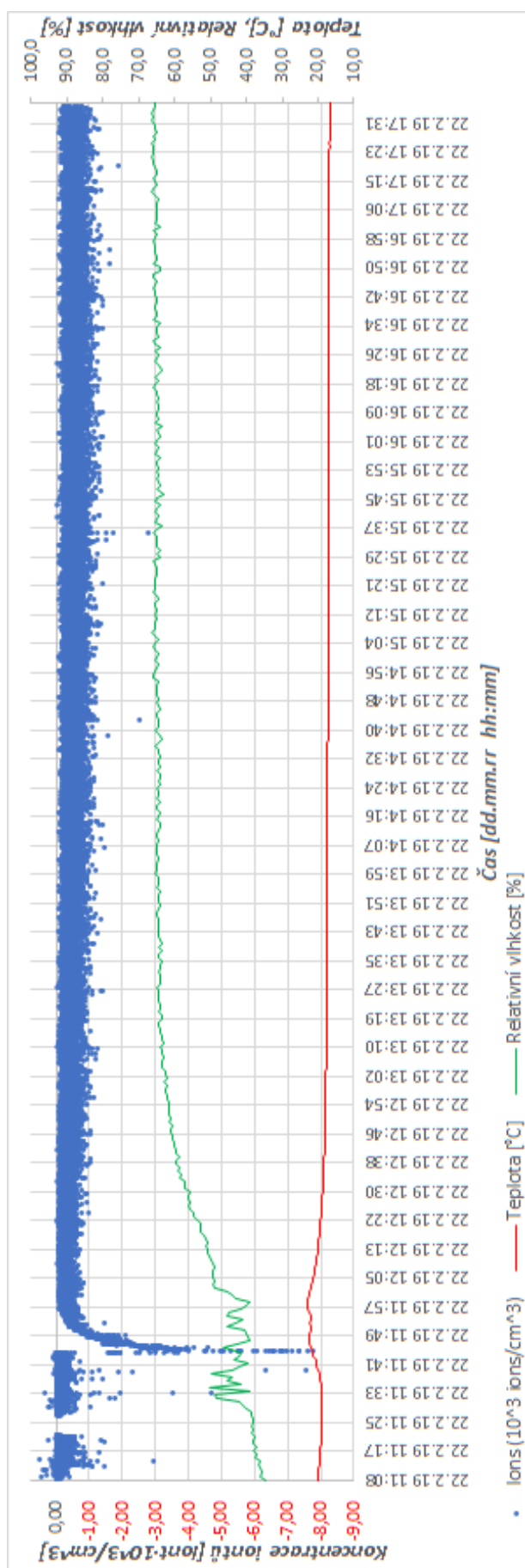
11. Grafická část

V grafické části práce jsou v grafech zobrazena všechna měření záporných iontů.

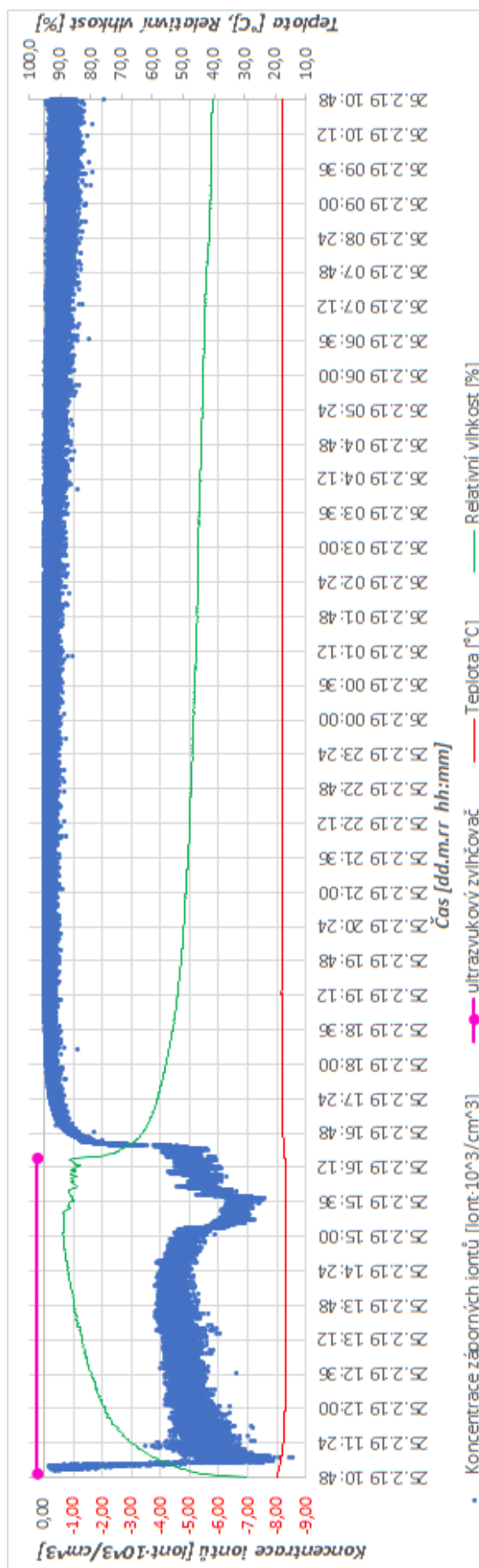
Graf obsahuje vždy měření koncentrace záporných vzdušných iontů zobrazené modrými body. Protože přístroj nedovoluje měřit současně pozitivní a negativní ionty a zároveň byl k dispozici pouze jeden, bylo prováděno měření pozitivních iontů a exteriérová měření v pauzách mezi měřeními záporných iontů. To způsobuje několik mezer ve sloučeném vyobrazení průběhu koncentrace několika měření po sobě.

Pokud byla současně s měřením iontů měřena i vlhkost a teplota, je v grafu zanesena. Relativní vlhkost v interiéru [%] zobrazuje zelená čára, teplotu v interiéru [°C] pak čára červená.

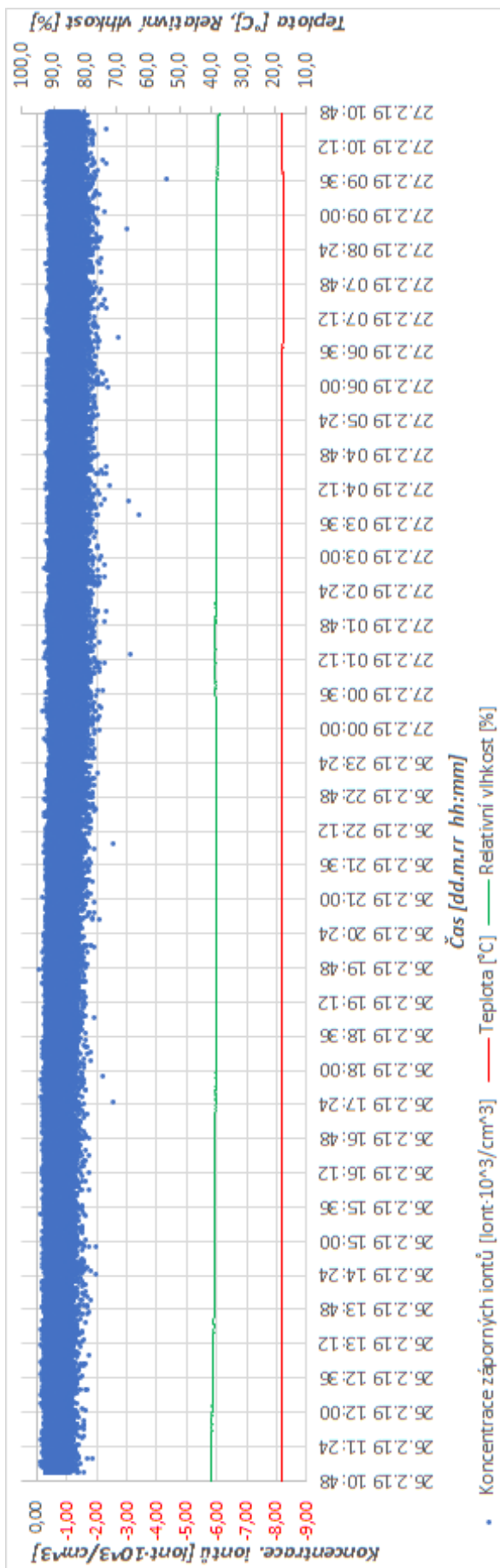
Nad grafem jsou také znázorněny časové úseky, kdy byly při měření zaznamenány určité vlivy. Fialovou barvou je zobrazena přítomnost osob v místnosti, oranžovou pak období, kdy byla místnost větrána přirozeným větráním. Dále jsou místy zaznamenávány další vlivy jako je například měření prachu, kdy do místnosti vstoupila osoba či i samotný měřič prachových částic mohl koncentraci iontů ovlivnit atp.



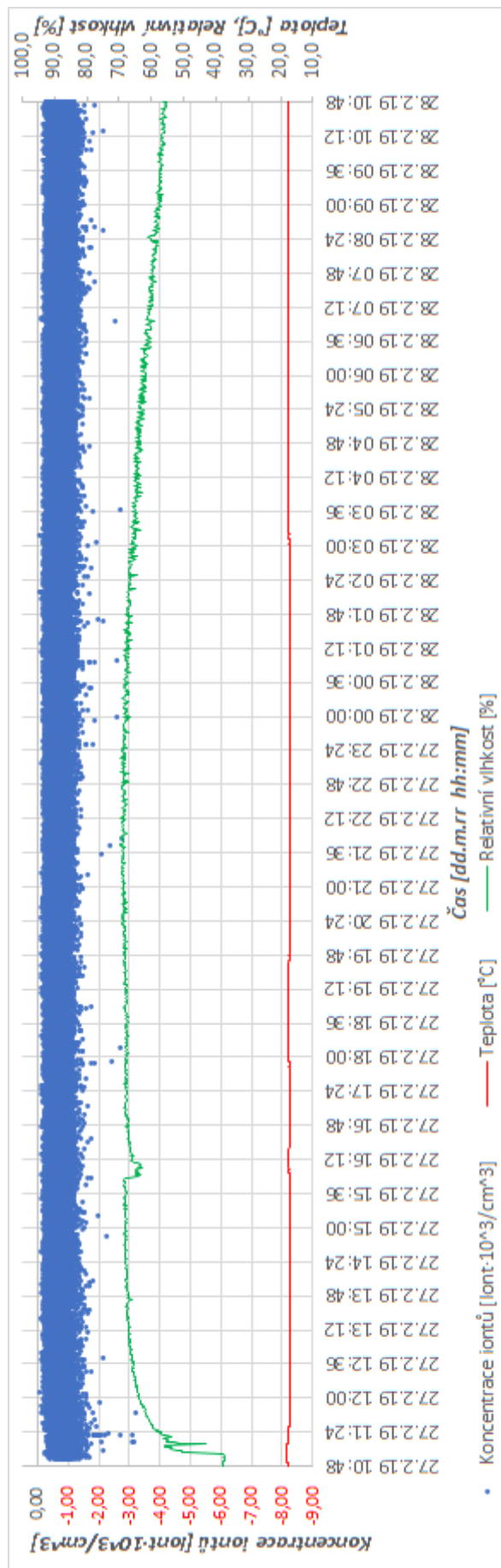
Graf 15 – Měření č. 1.01



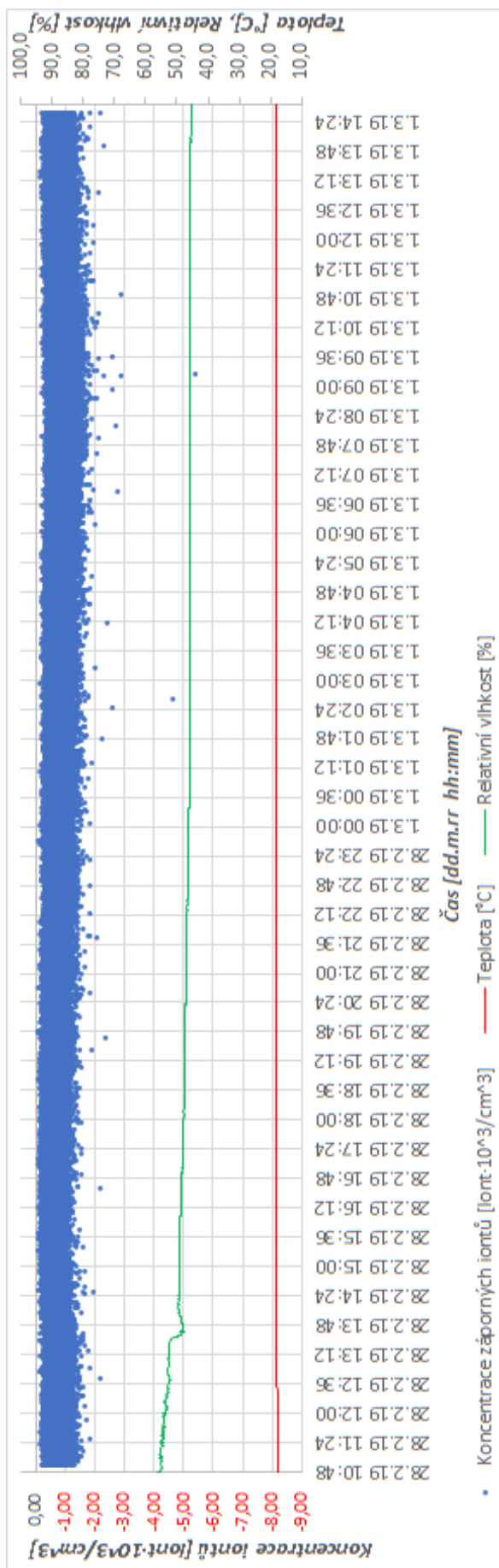
Graf 16 – Měření č. 1.02 (část 1)



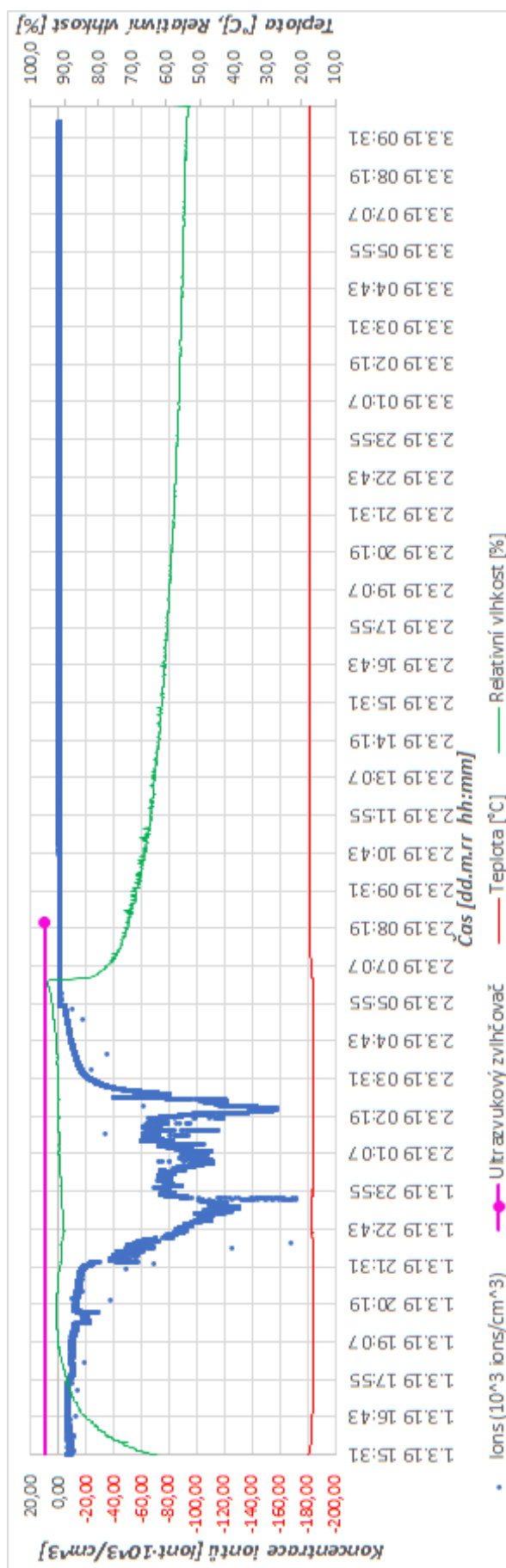
Graf 17 – Měření 1.02 (část 2)



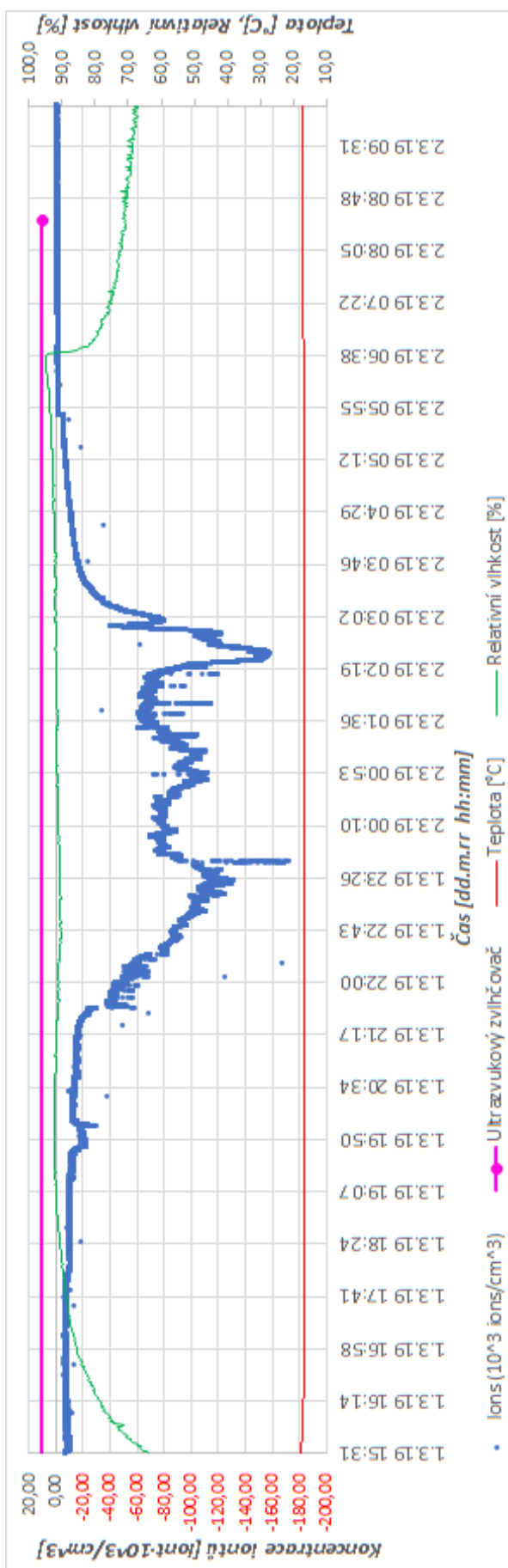
Graf 18 – Měření č. 1.02 (část 3)



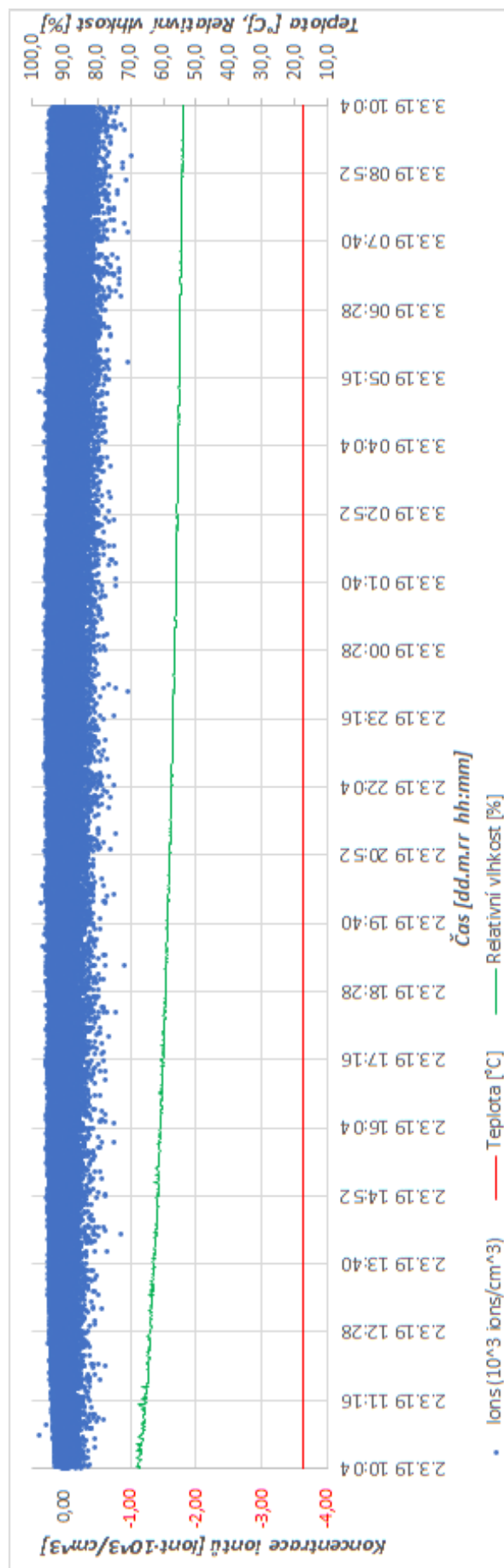
Graf 19 – Měření č. 1.02 (část 4)



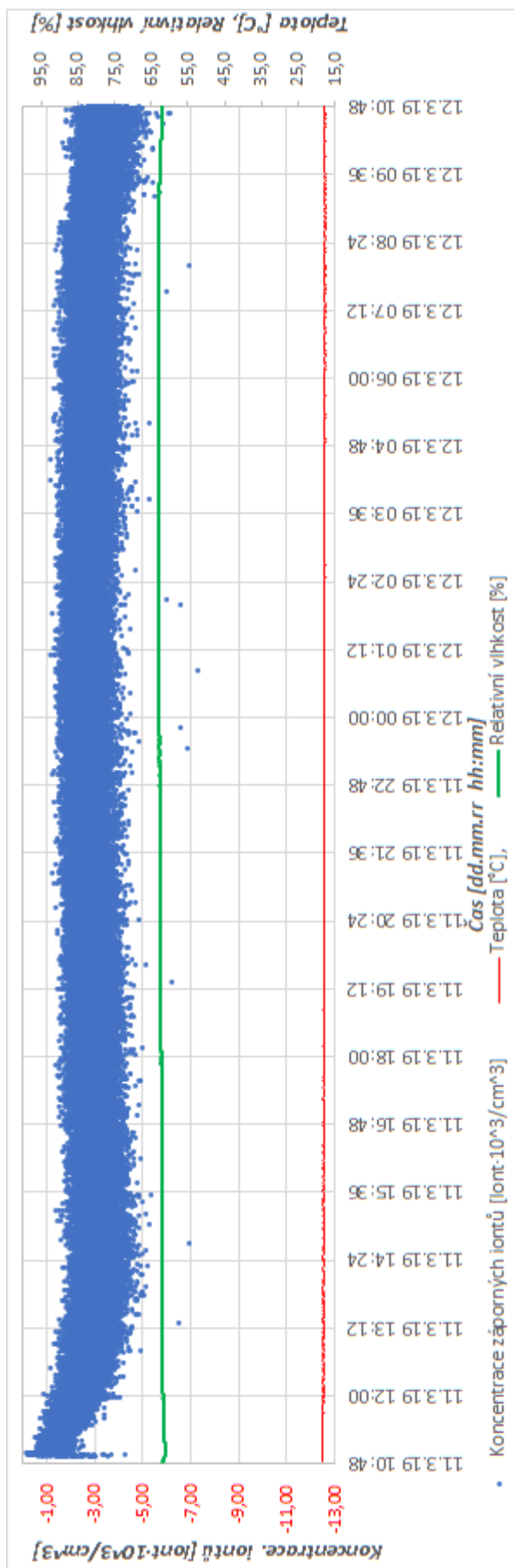
Graf 20 – Měření č. 1.04



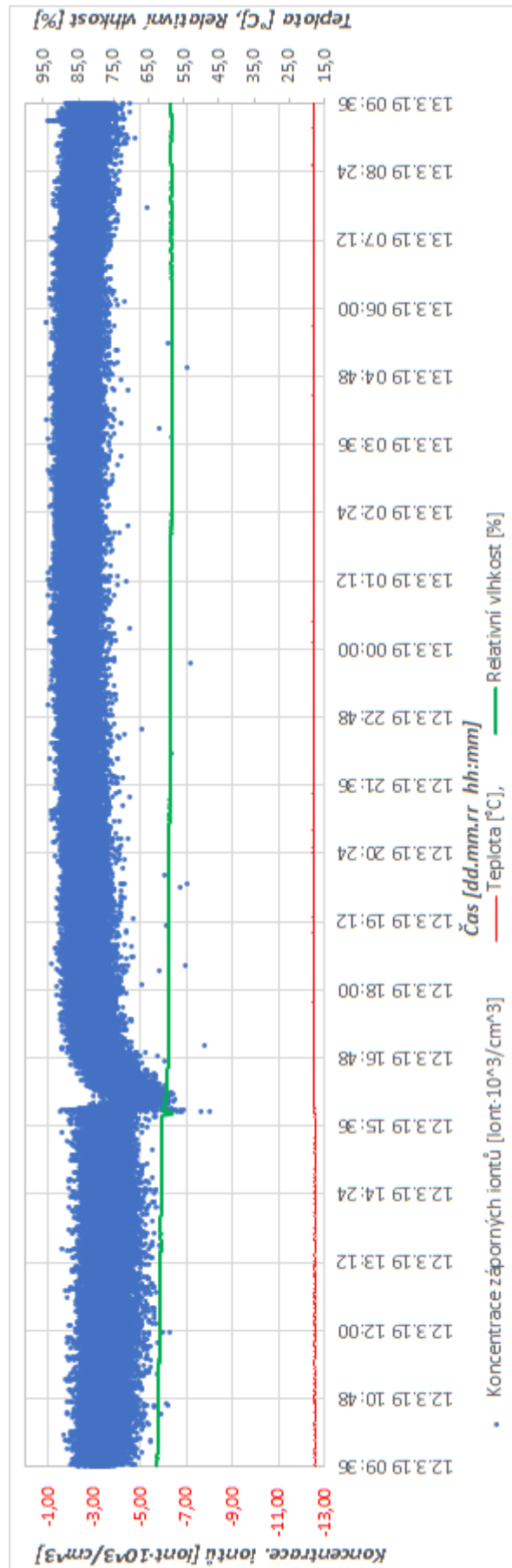
Graf 21 – Měření č. 1.04 detail (část 1)



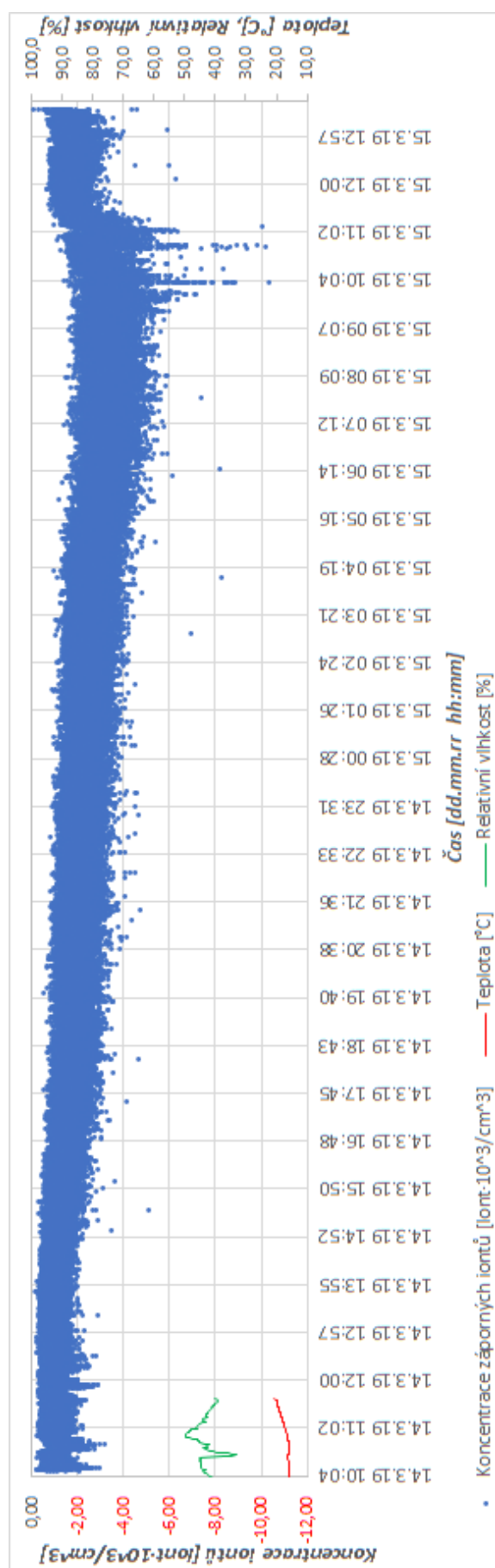
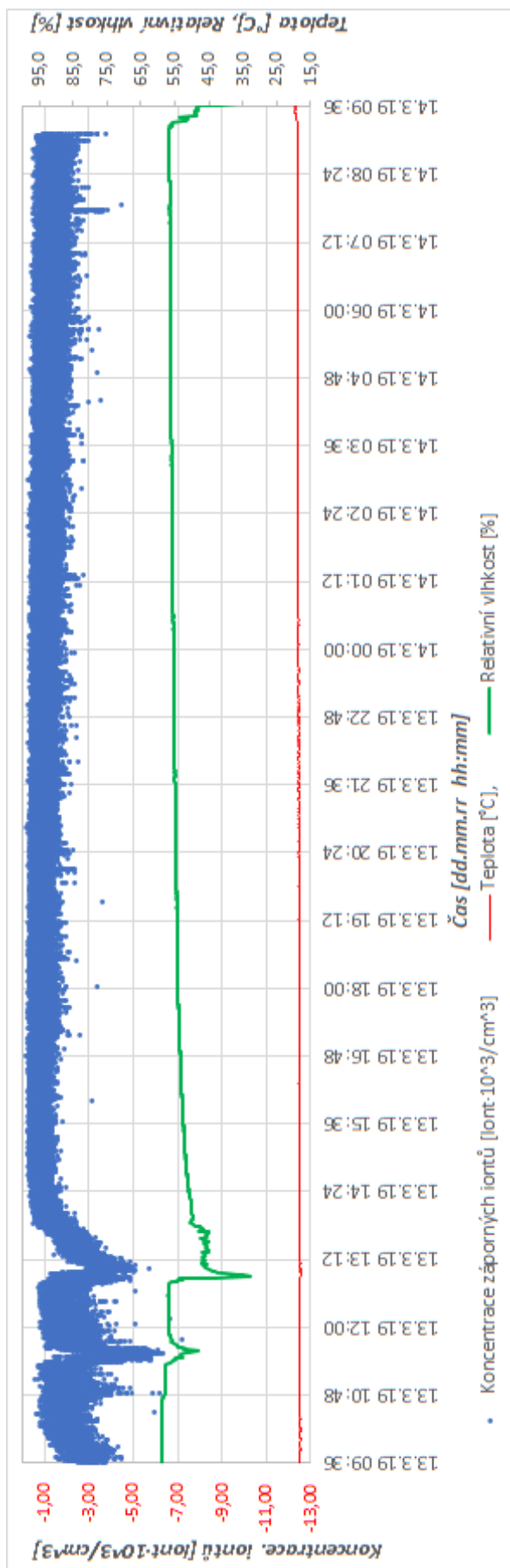
Graf 22 – Měření č. 1.04 detail (část 2)

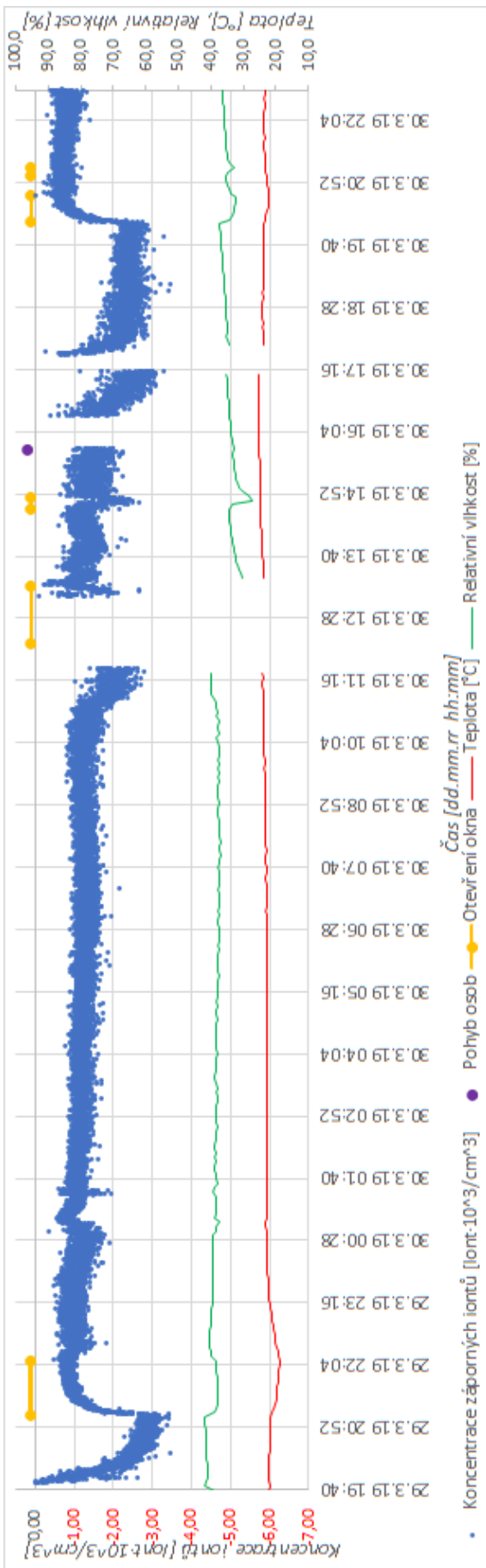


Graf 23 – Měření č. 1.06(část 1)

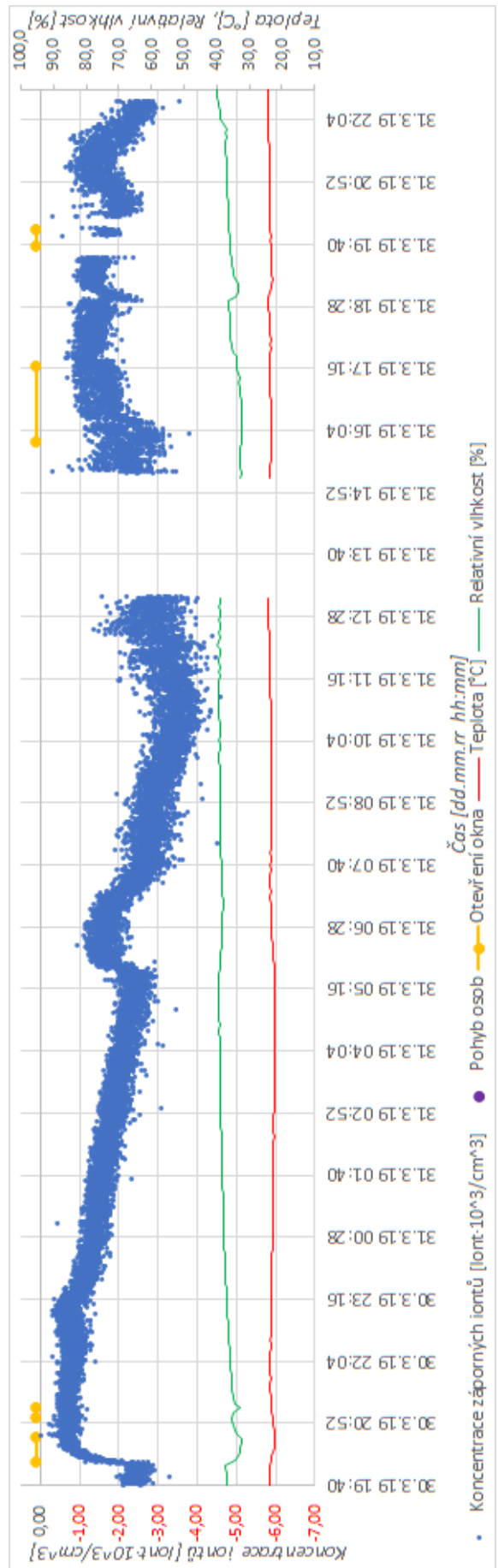


Graf 24 – Měření č. 1.06 (část 2)

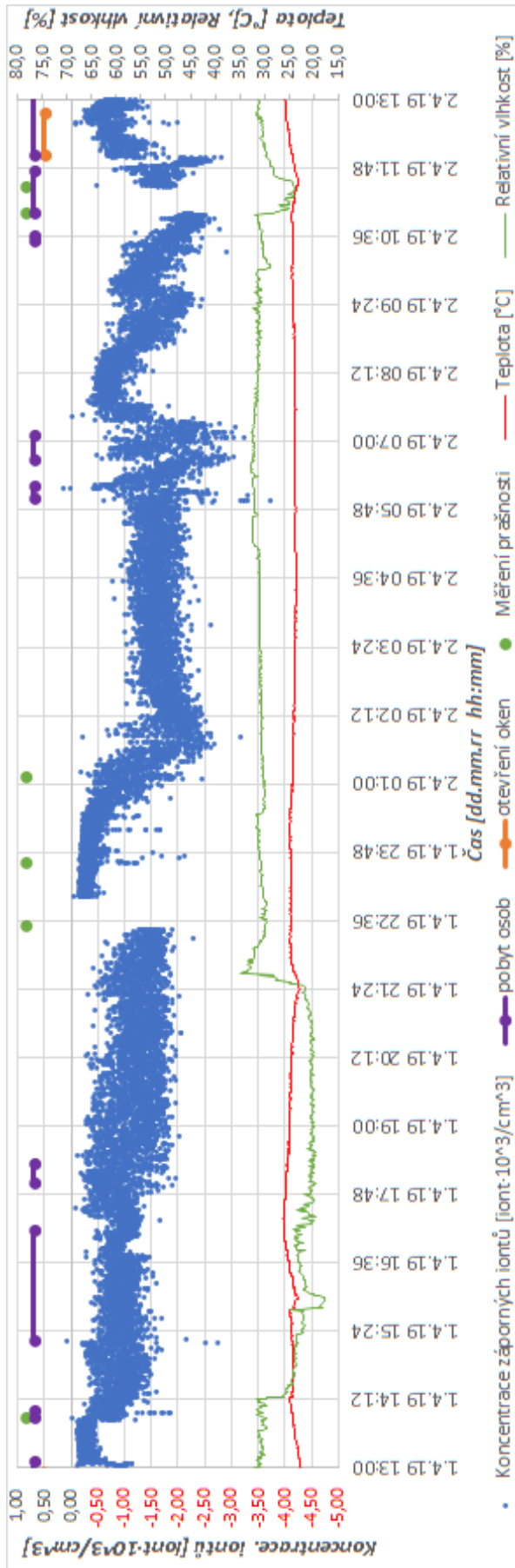




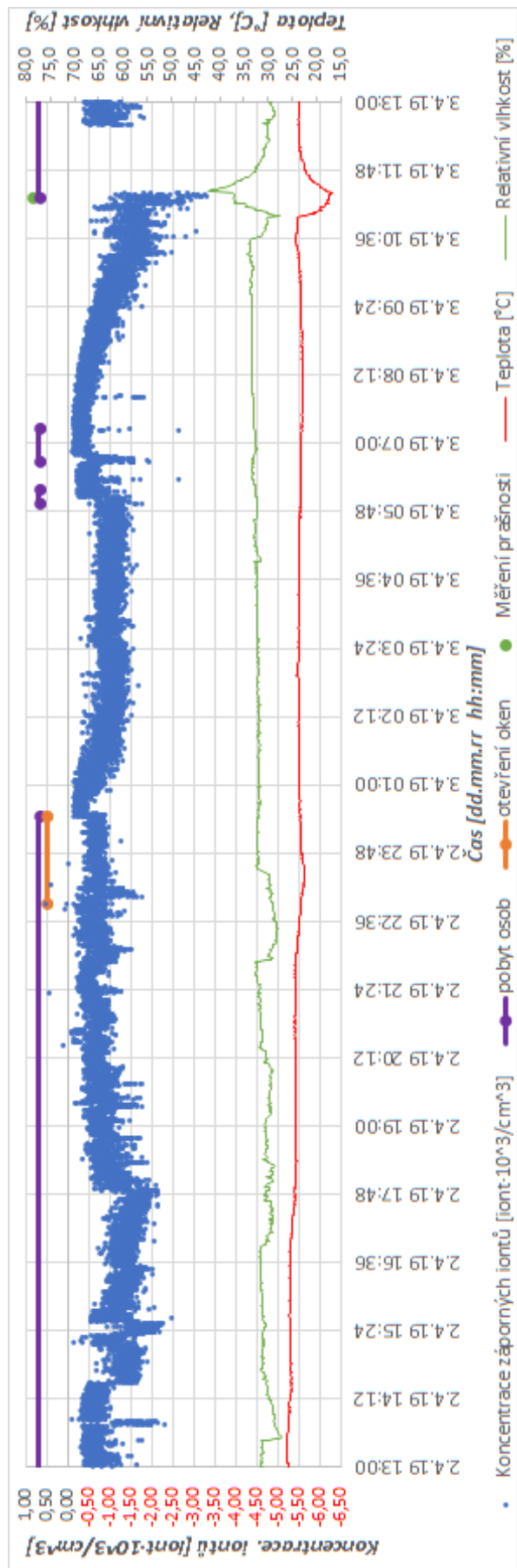
Graf 27 – Měření č. 2.01 – 2.07



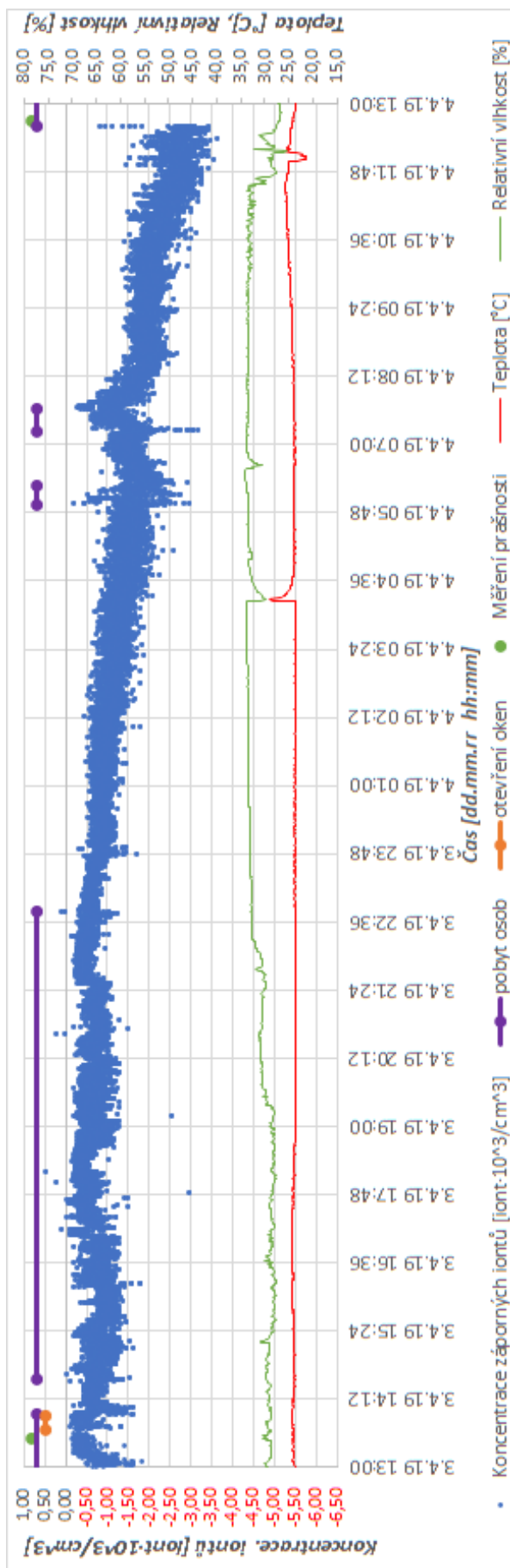
Graf 28 – Měření č. 2.08 - 2.16



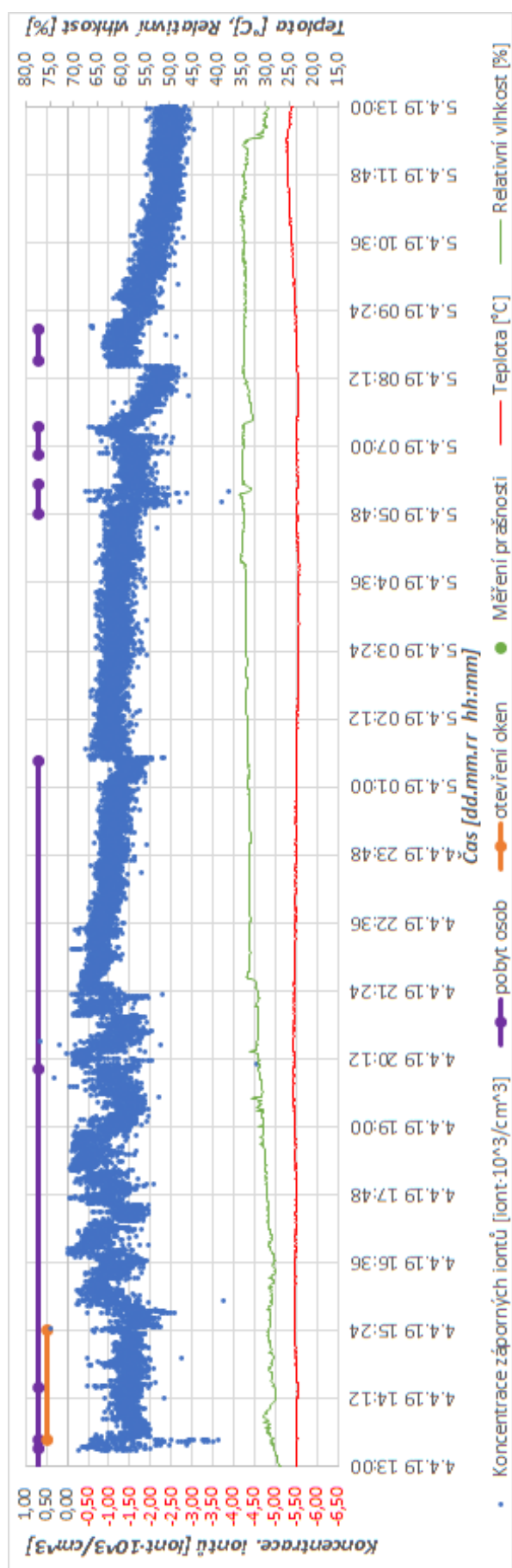
Graf 29 – Měření č. 2.19 – 2.24



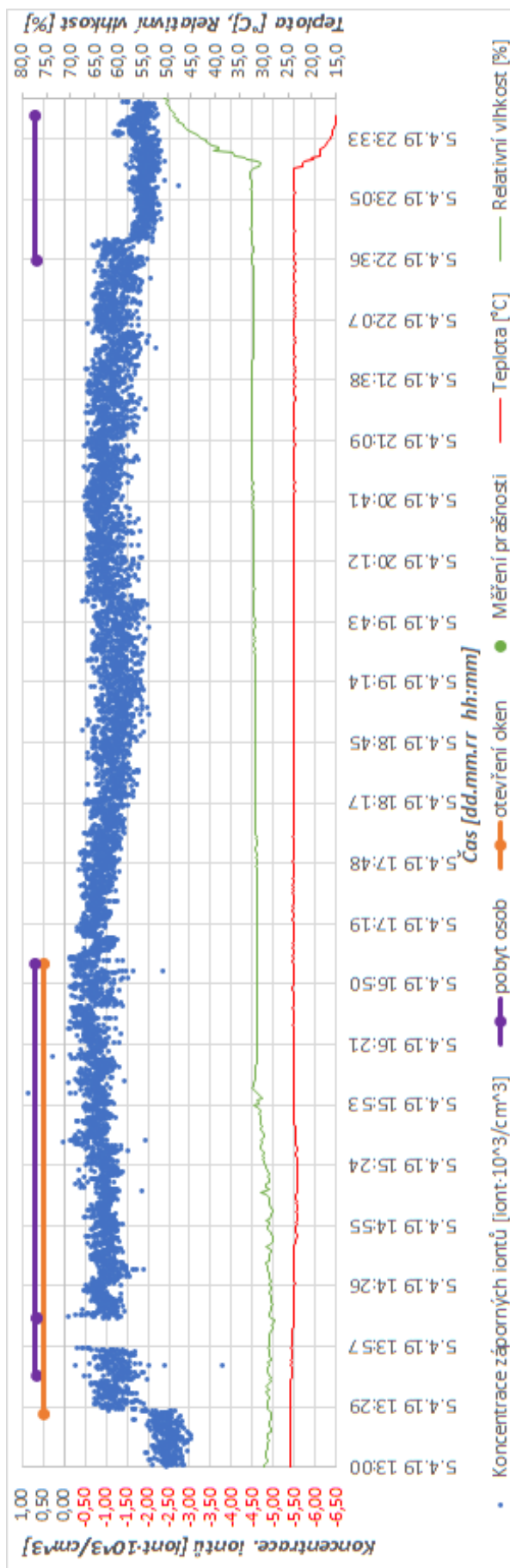
Graf 30 – Měření č. 2.24 – 2.27



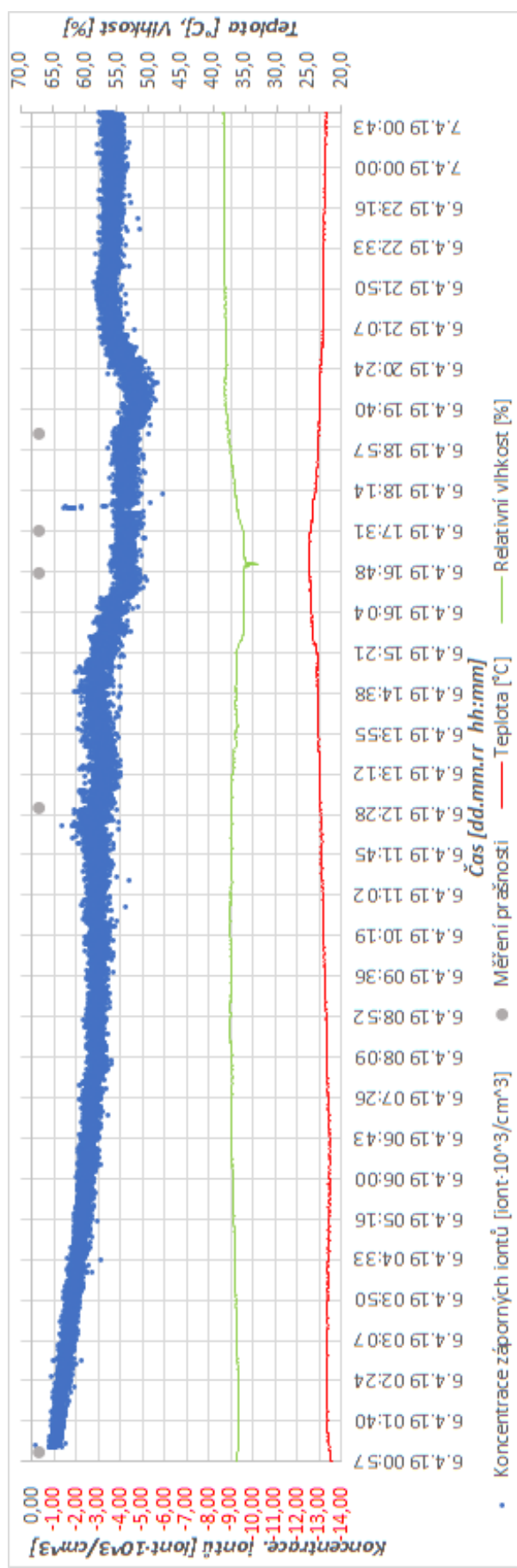
Graf 31 – Měření 2.27 – 2.28



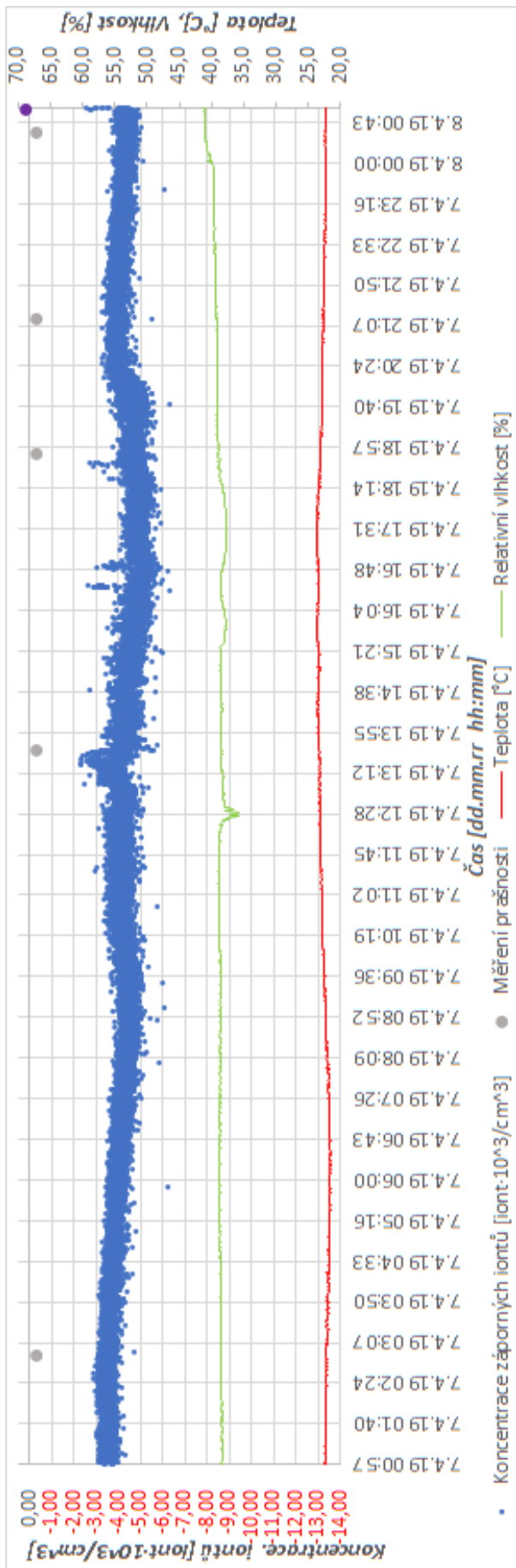
Graf 32 – Měření č. 2.29 – 2.33



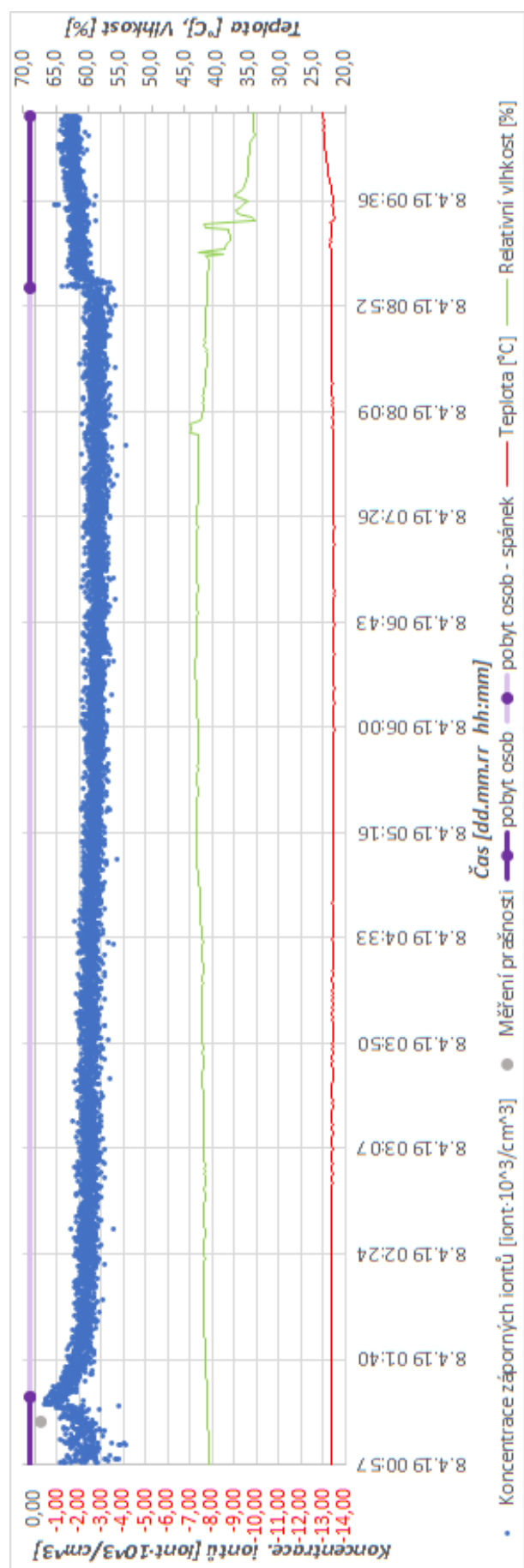
Graf 33 – Měření č. 2.33 – 2.34



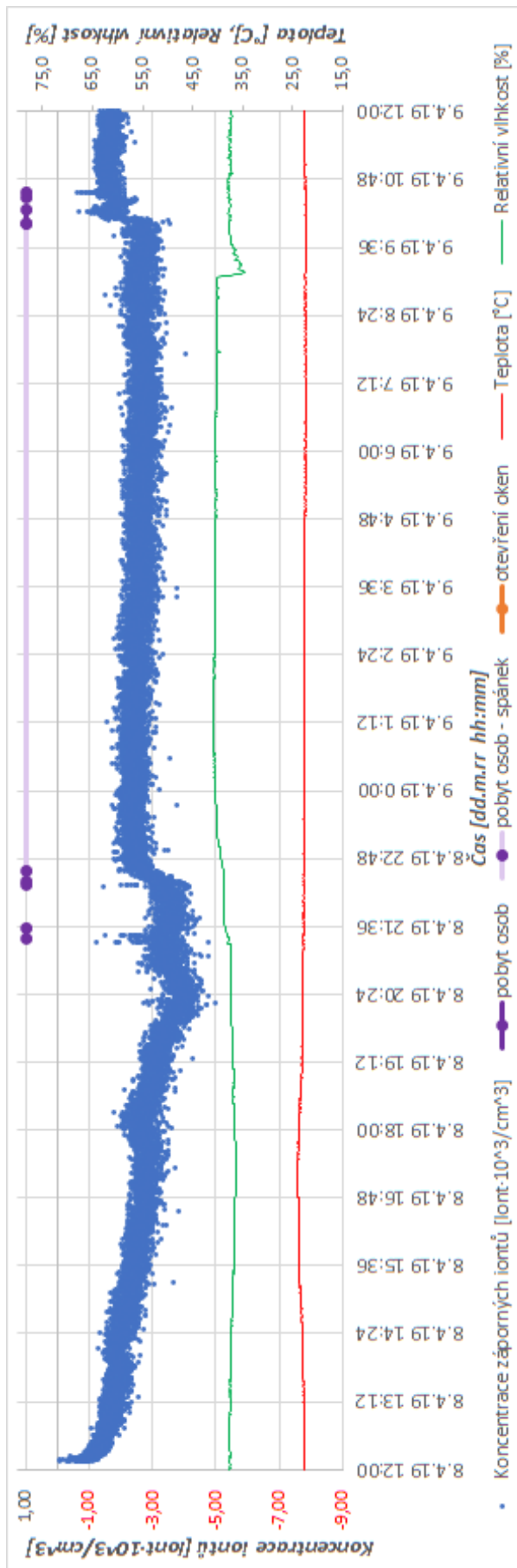
Graf 34 – Měření č. 2.38 (část 1)



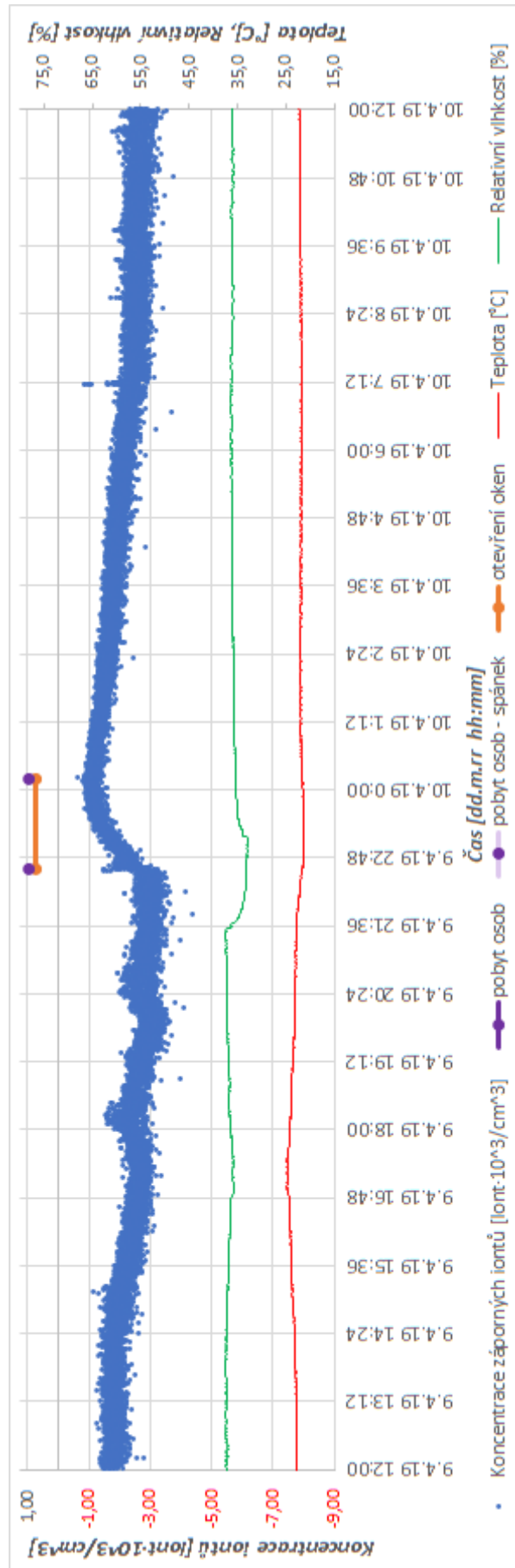
Graf 35 – Měření č. 2.38 (část 2)



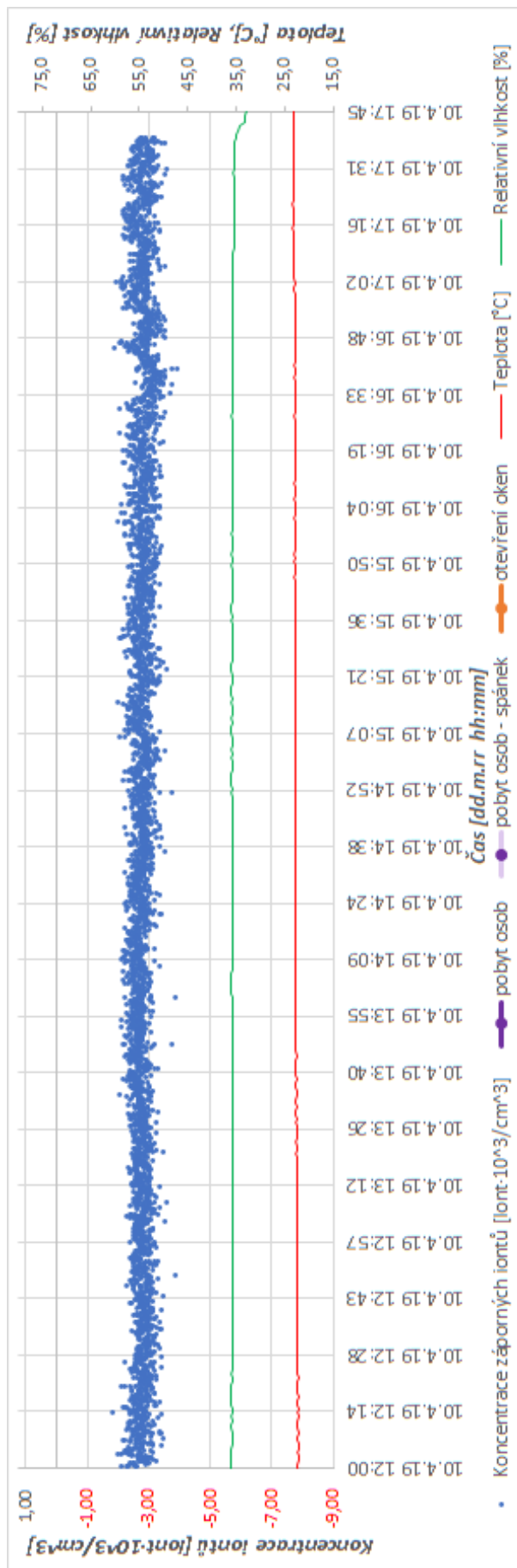
Graf 36 – Měření č. 2.38 (část 3)



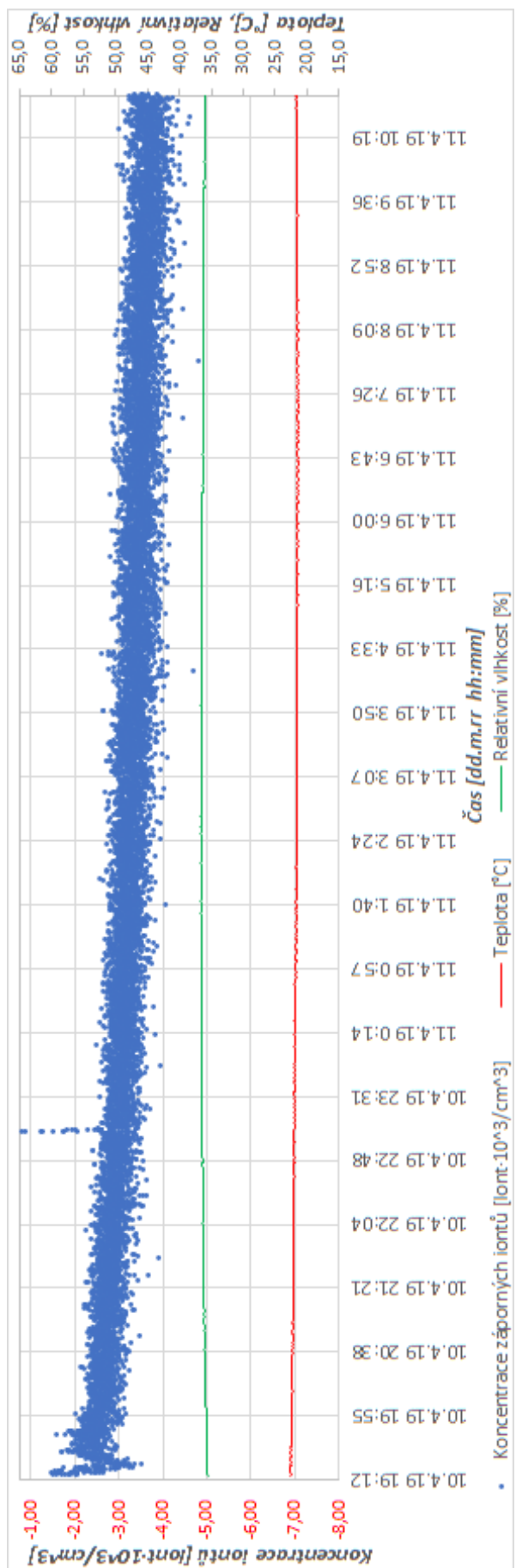
Graf 37 – Měření 2.39 (část 1)



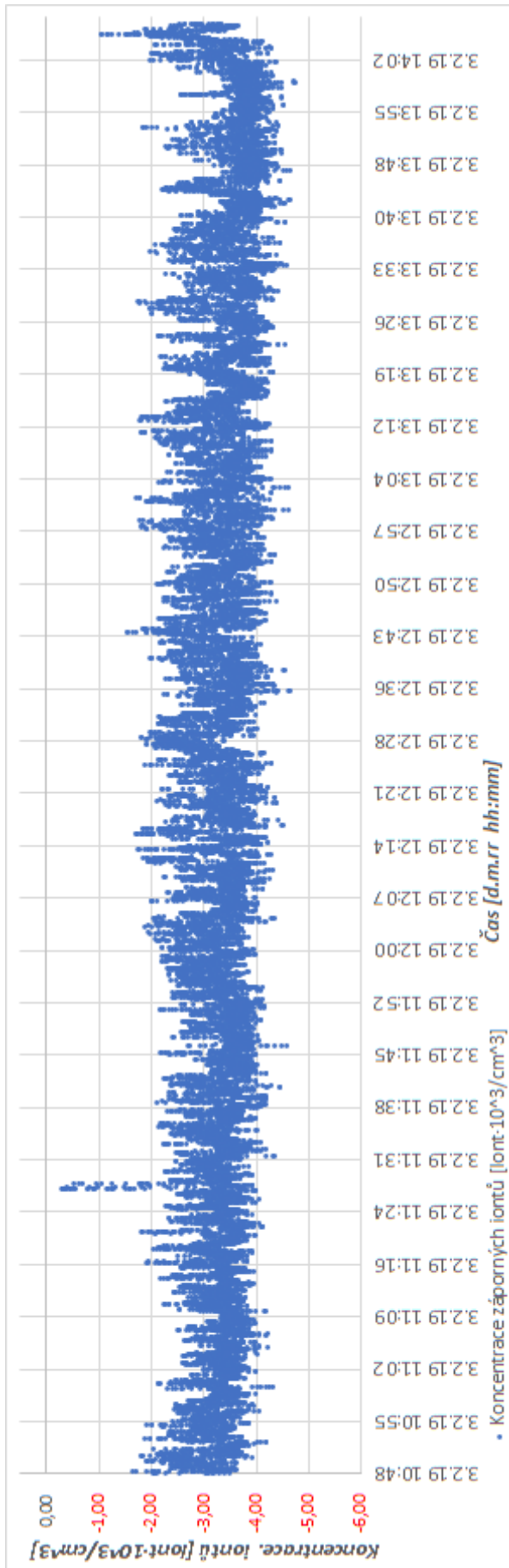
Graf 38 – Měření č. 2.39 (část 2)



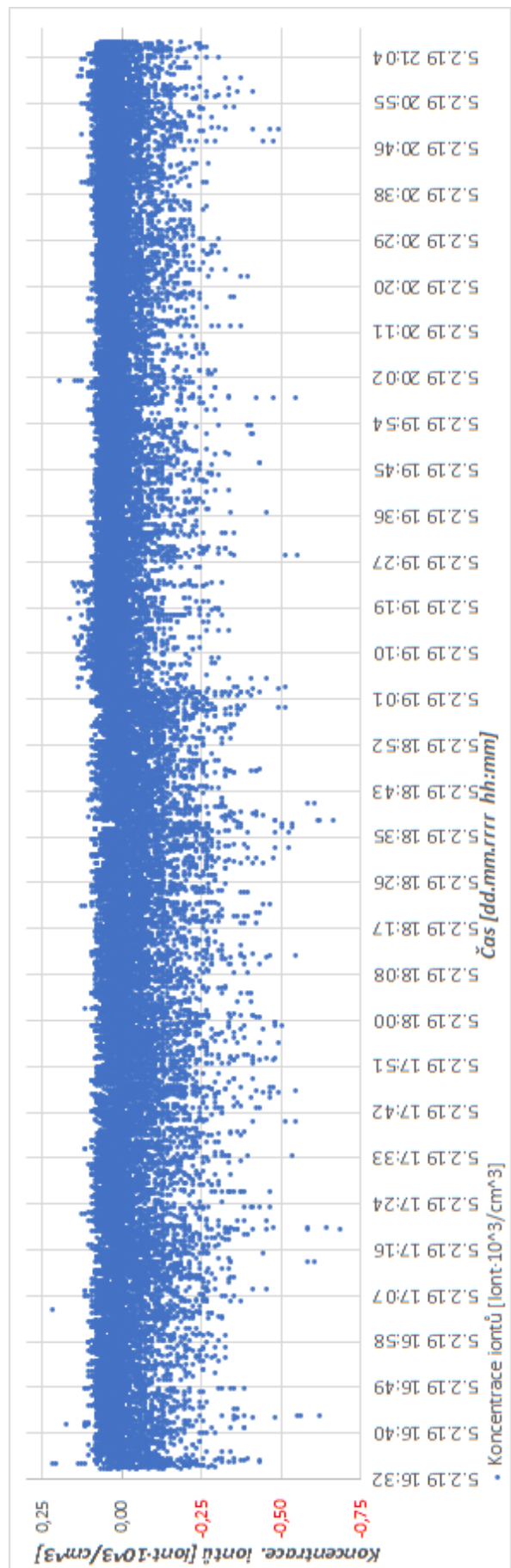
Graf 40 – Měření č. 2.39 (část 3)



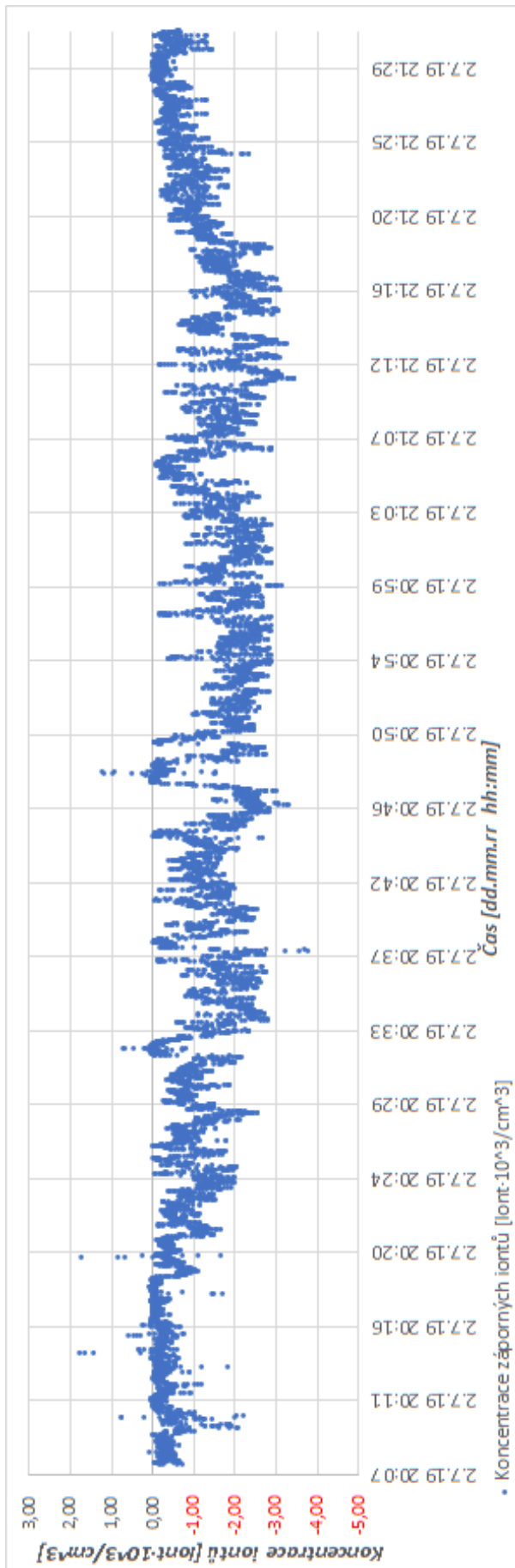
Graf 41 – Měření č. 2.40



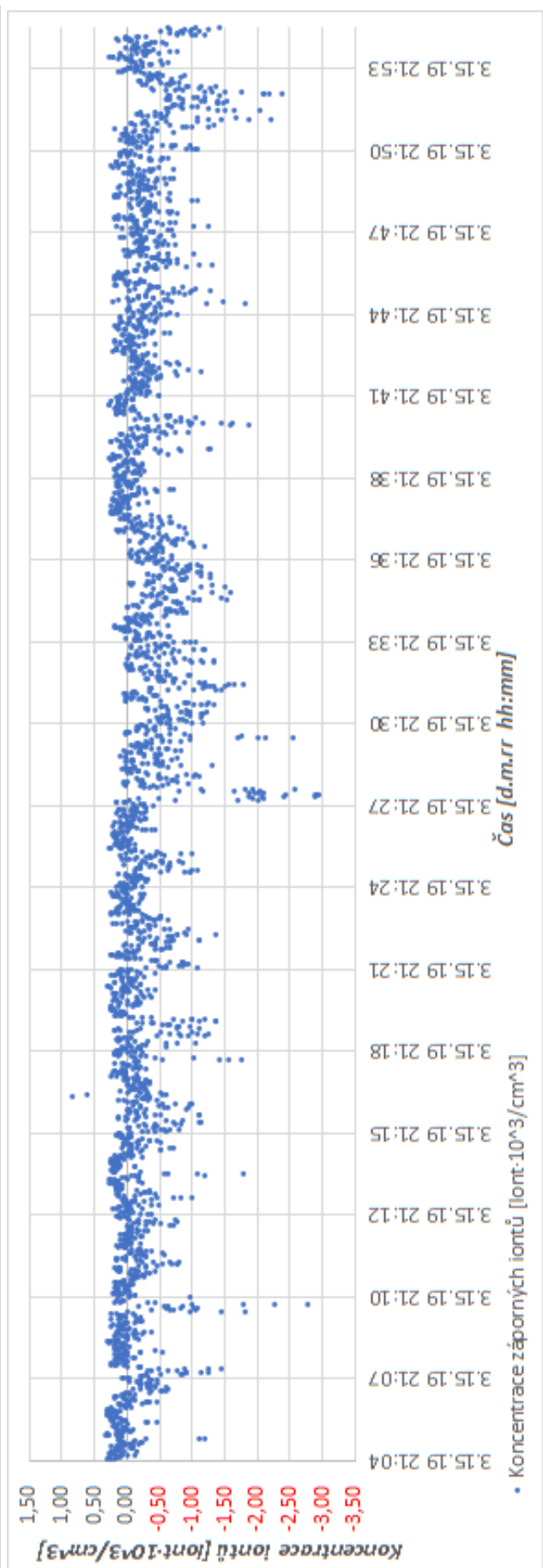
Graf 42 – Měření č. 3.02



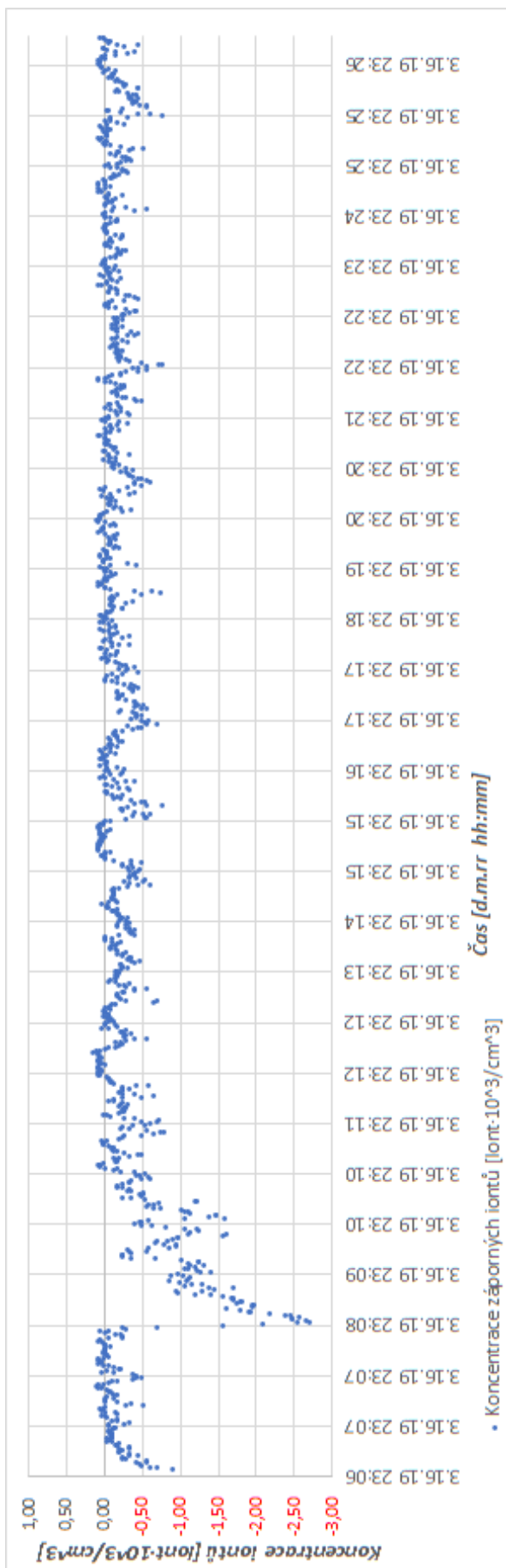
Graf 43 – Měření č. 3.03



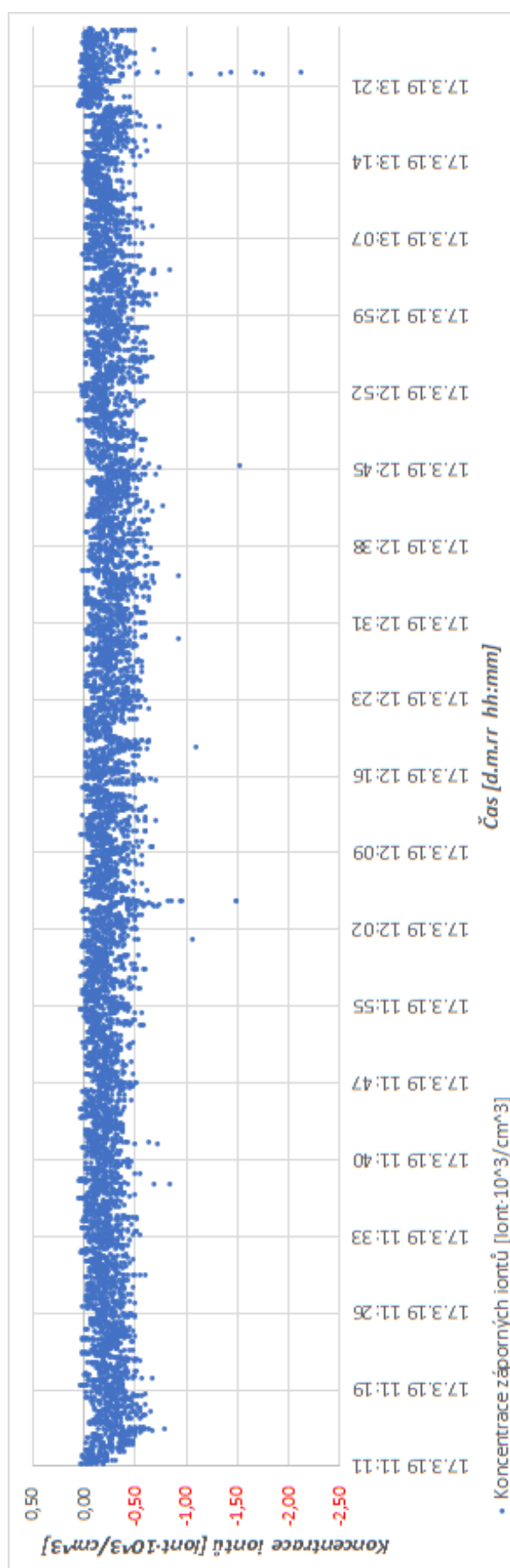
Graf 44 – Měření č. 3.05



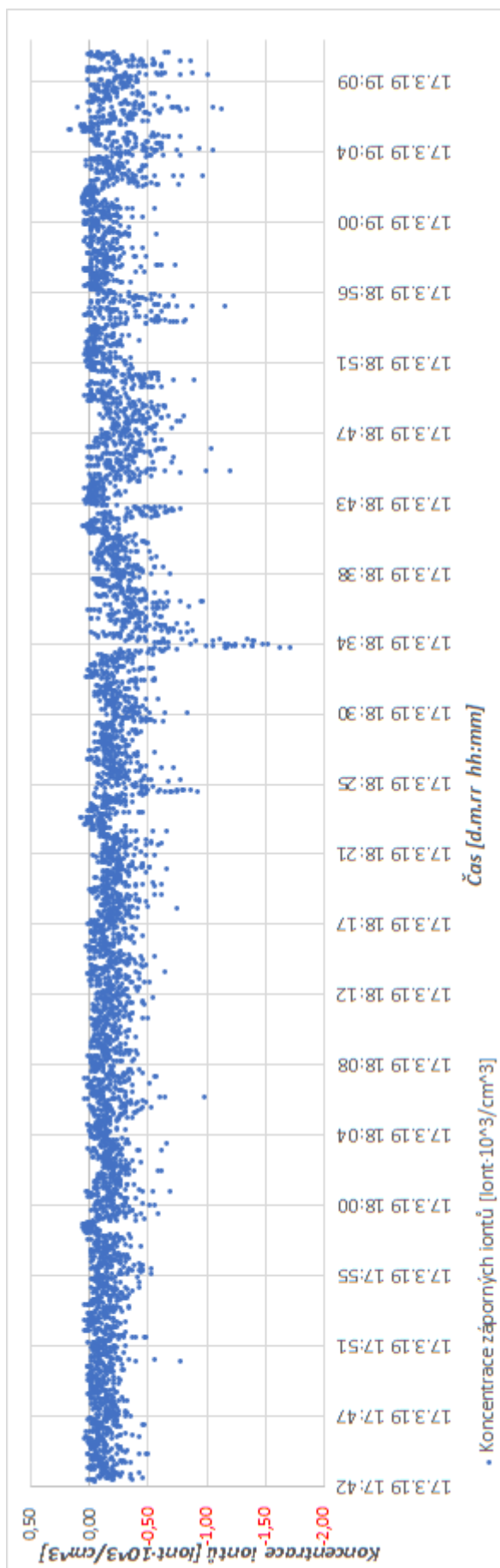
Graf 45 – Měření č. 3.06



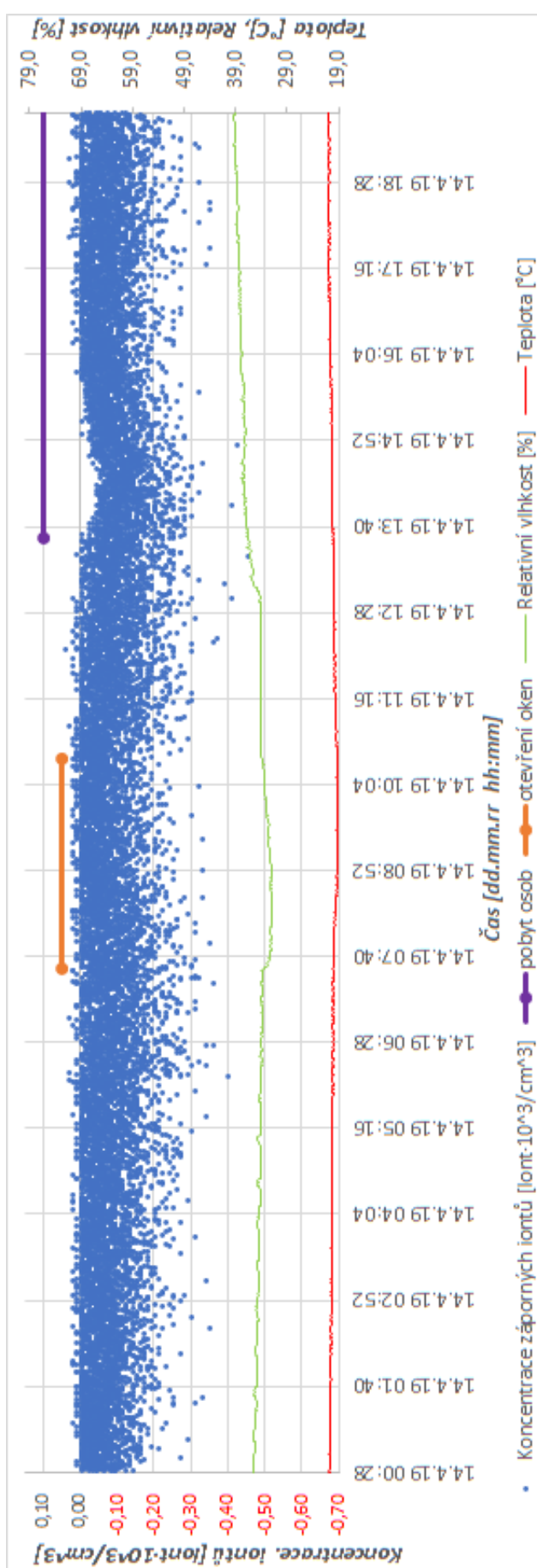
Graf 46 – Měření č. 3.08



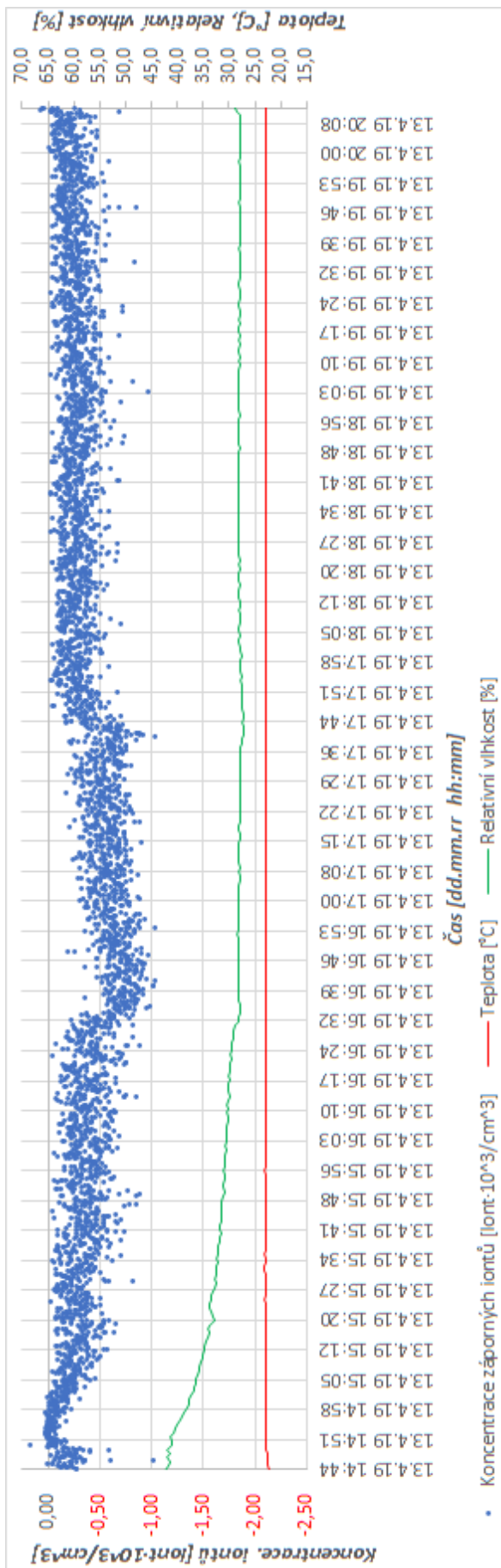
Graf 47 – Měření č. 3.09



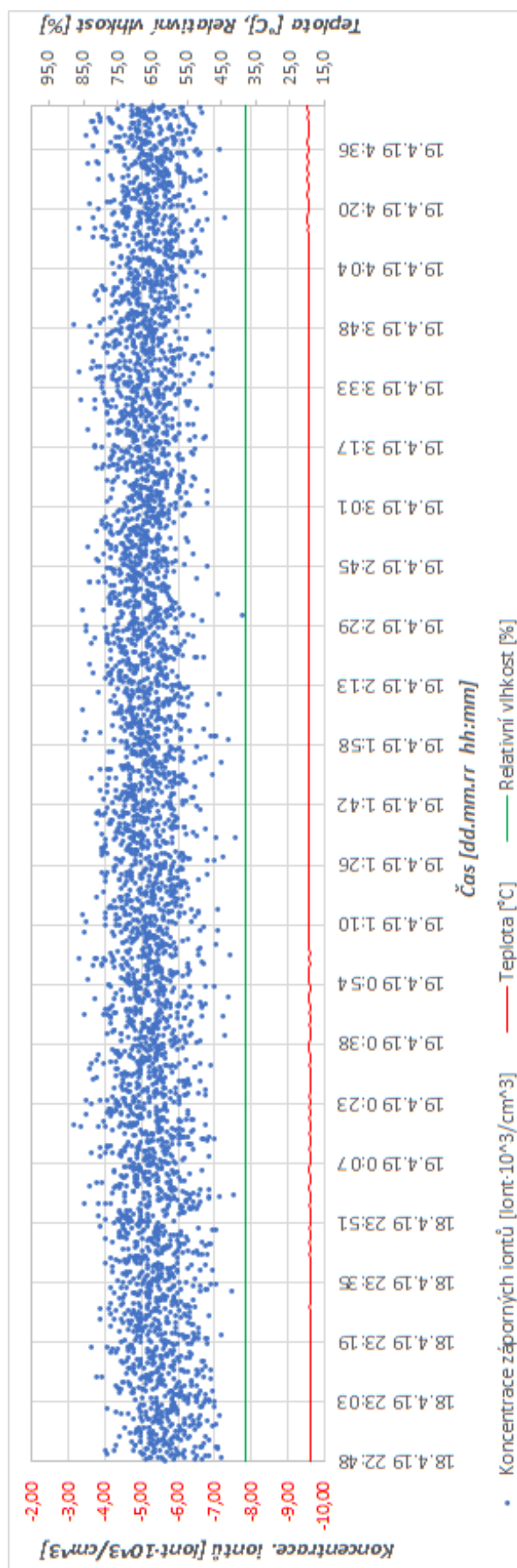
Graf 48 – Měření č. 3.11



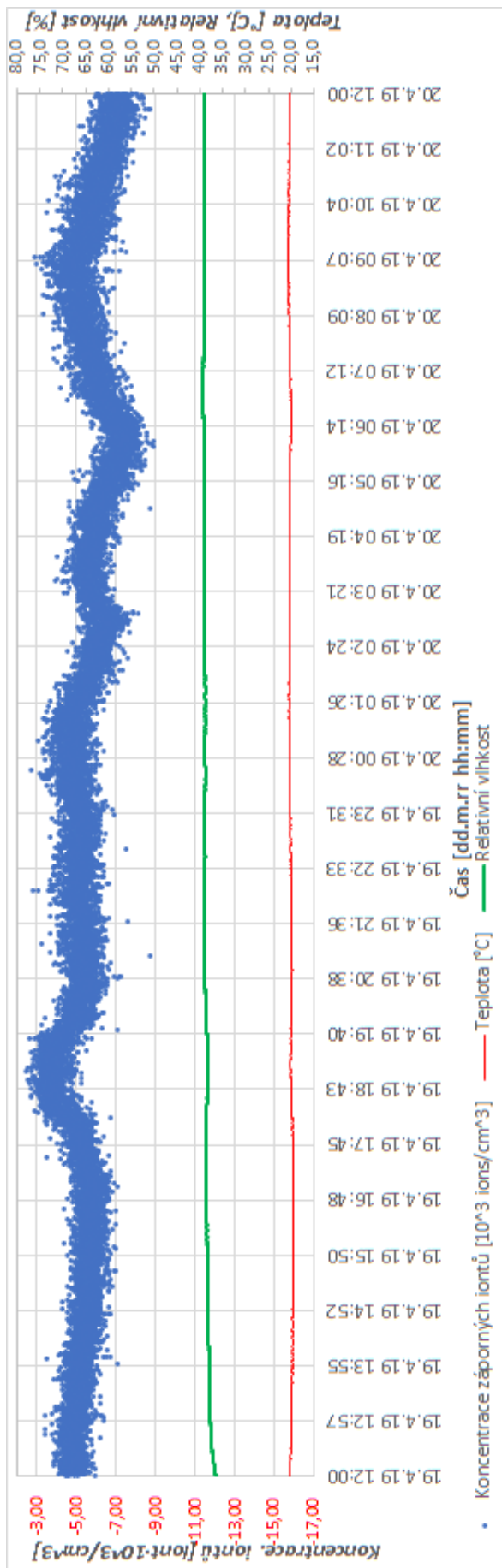
Graf 49 – Měření č. 3.15



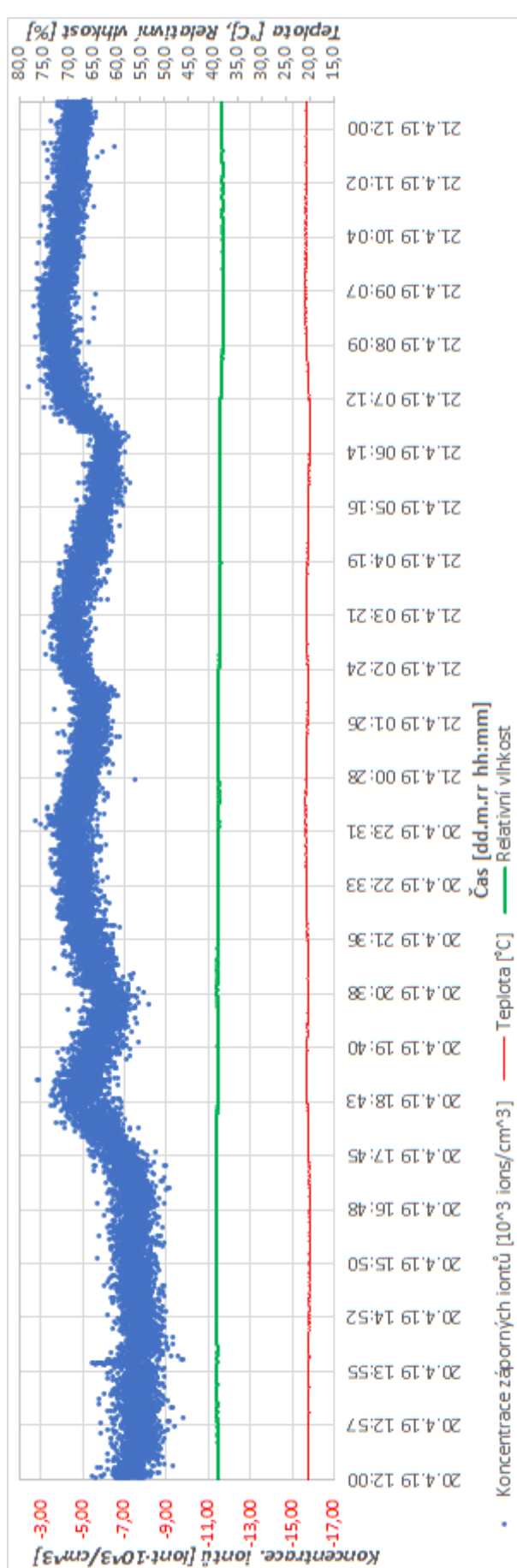
Graf 50 – Měření č. 4.02



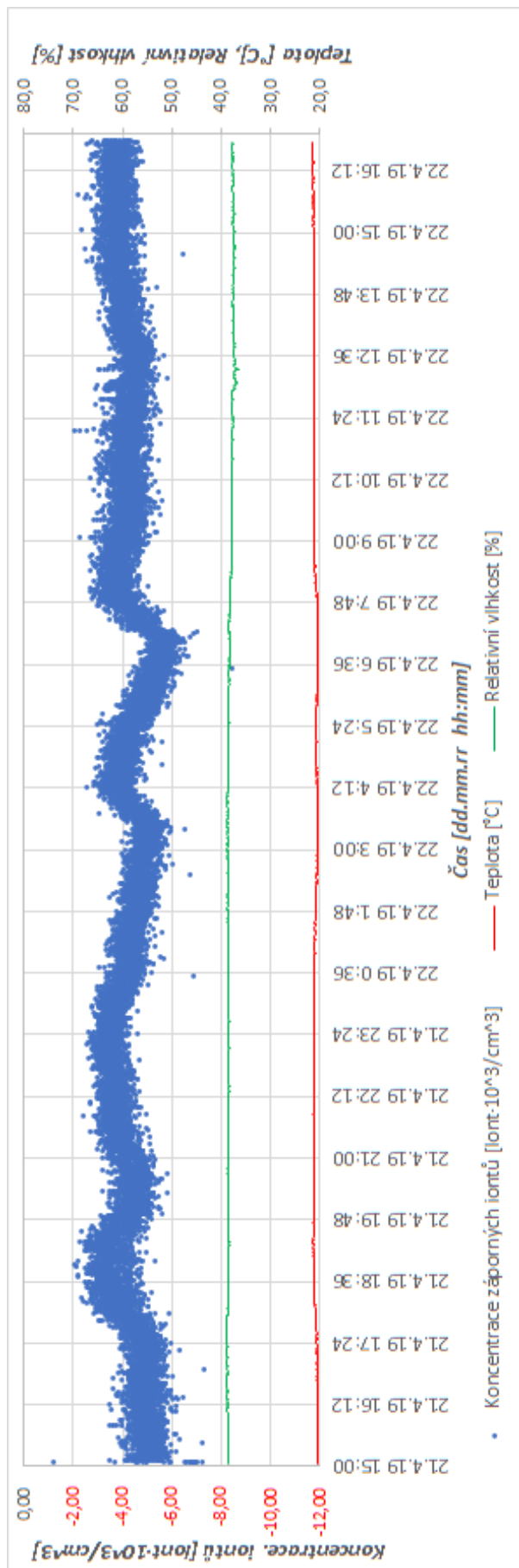
Graf 51 – Měření č. 5.02



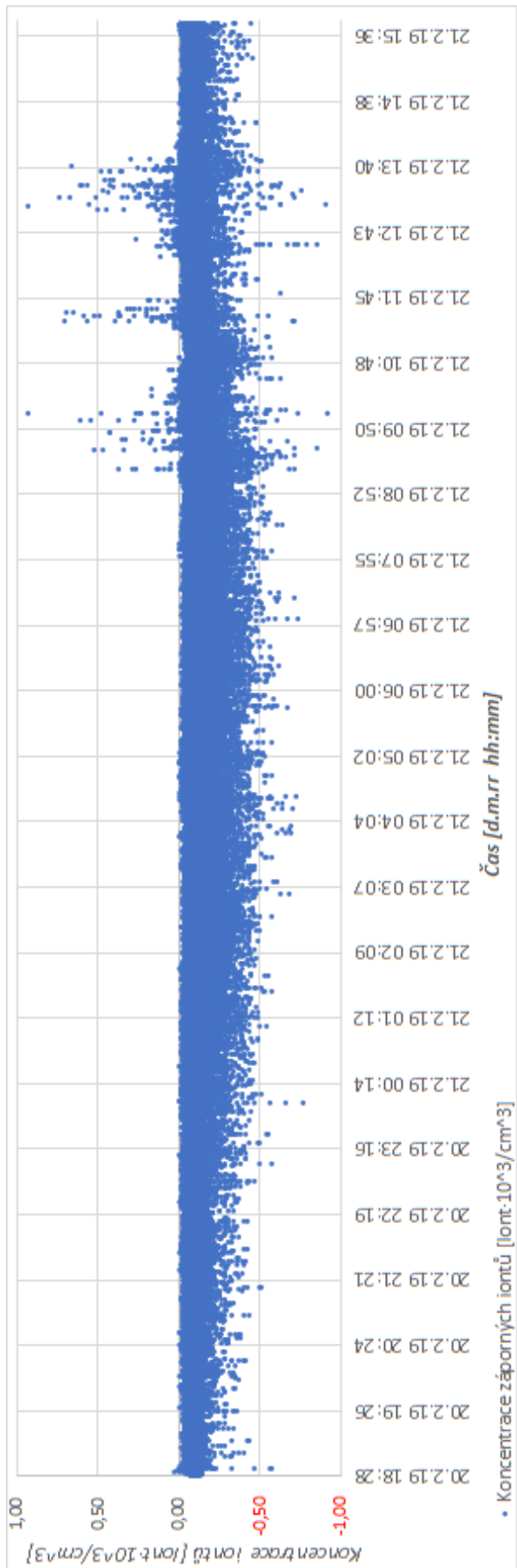
Graf 52 – Měření č. 5.03 (část 1)



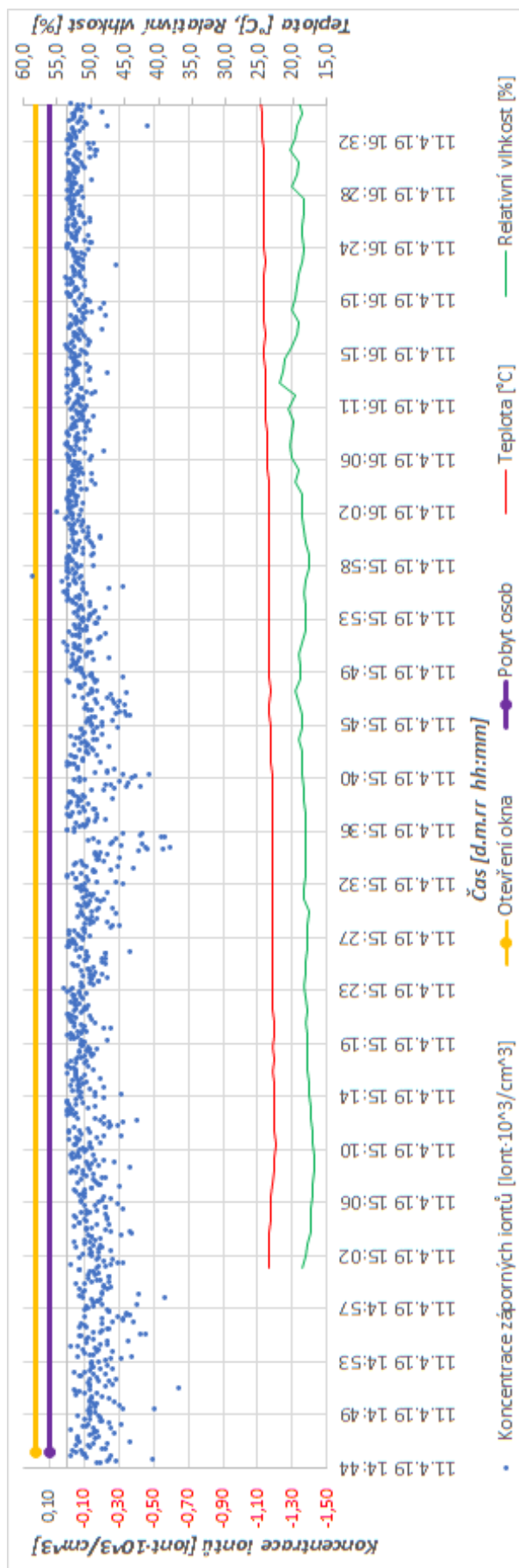
Graf 53 – Měření č. 5.03 (část 2)



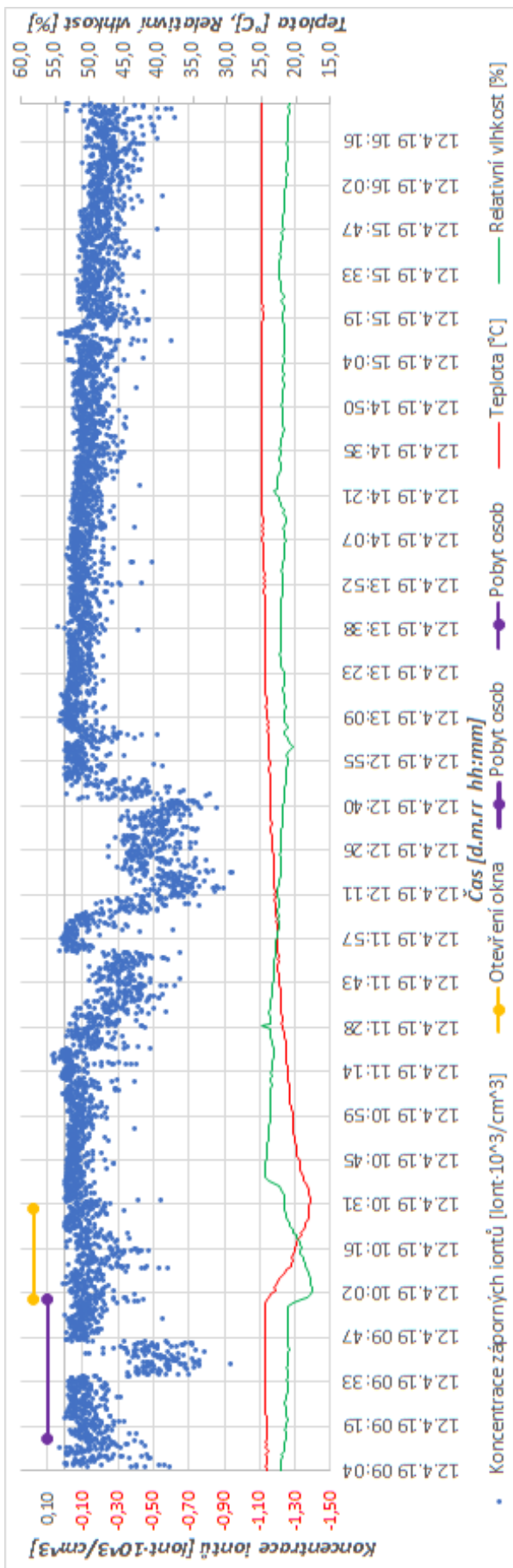
Graf 54 – Měření č. 5.04



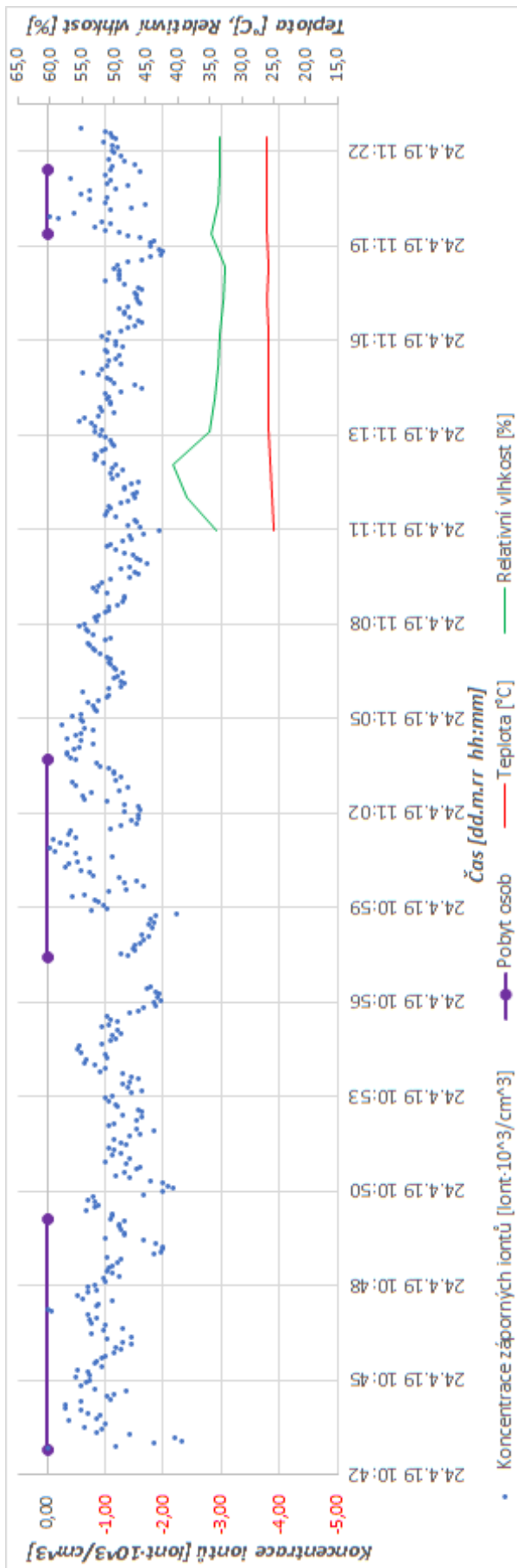
Graf 55 – Měření č. 6.01



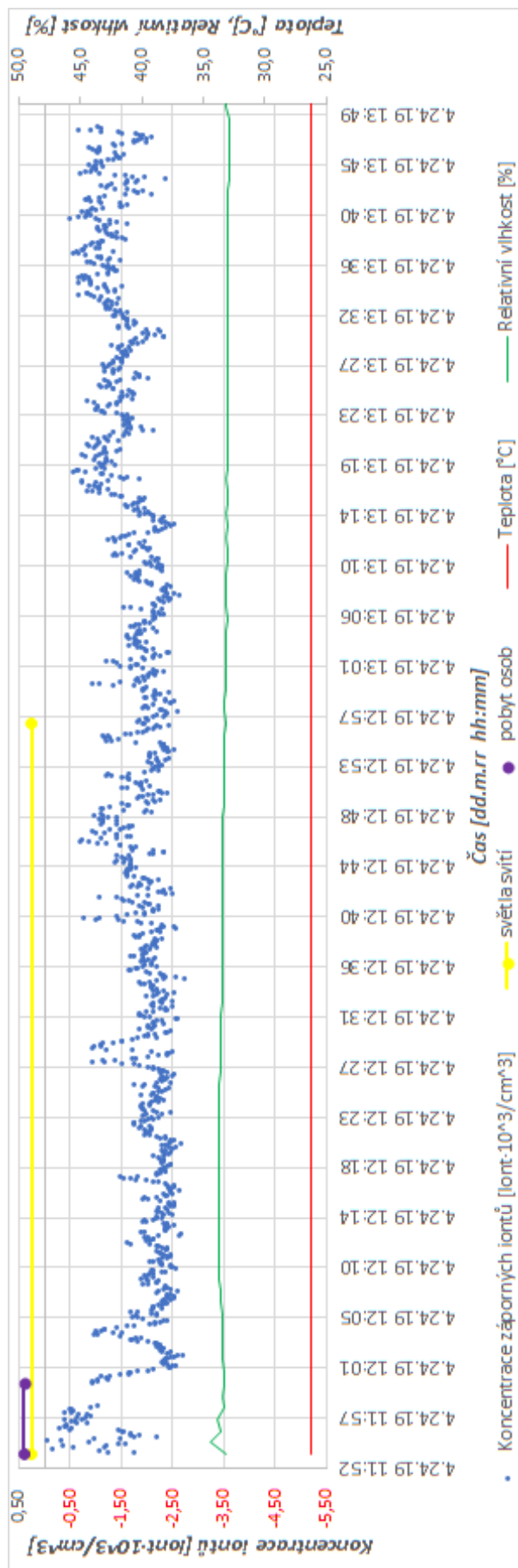
Graf 56 – Měření č. 6.03



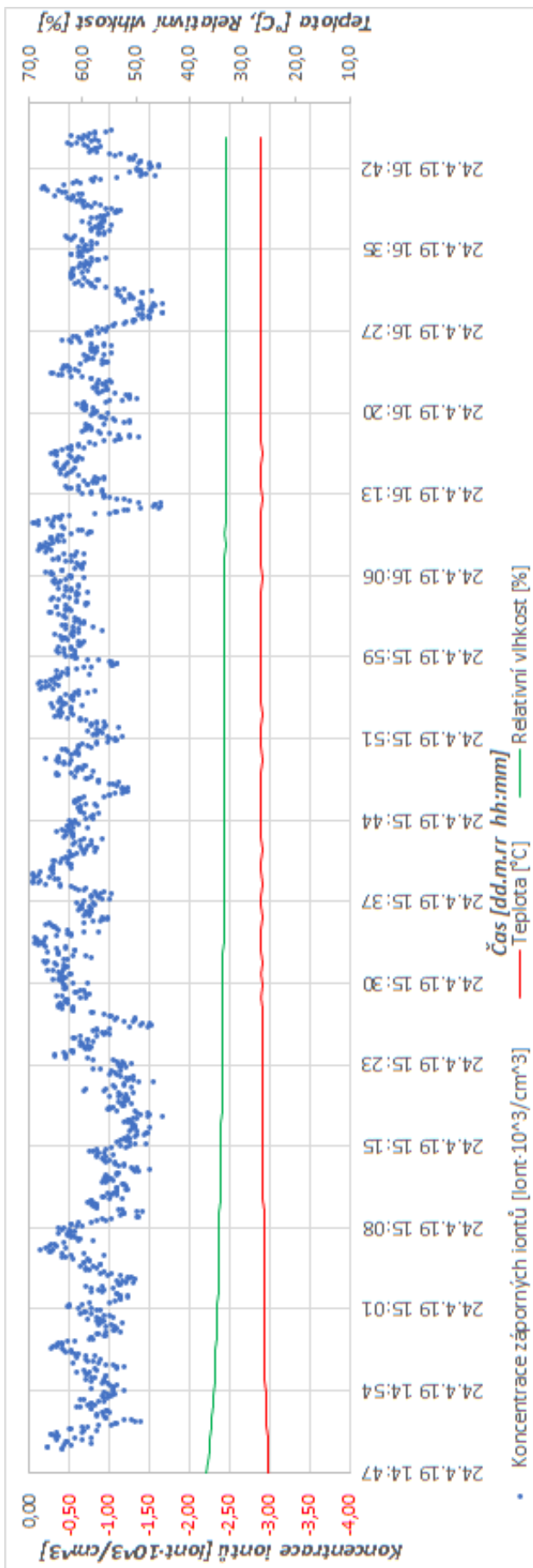
Graf 57 – Měření č. 6.05



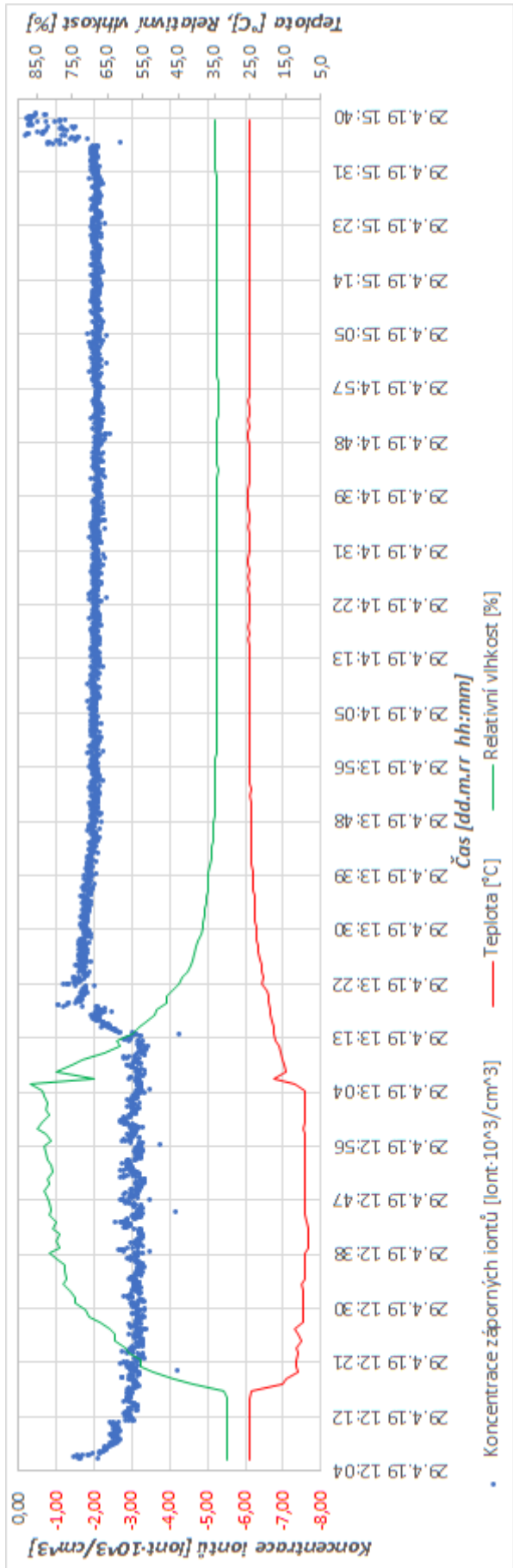
Graf 58 – Měření č. 6.09 – 6.10



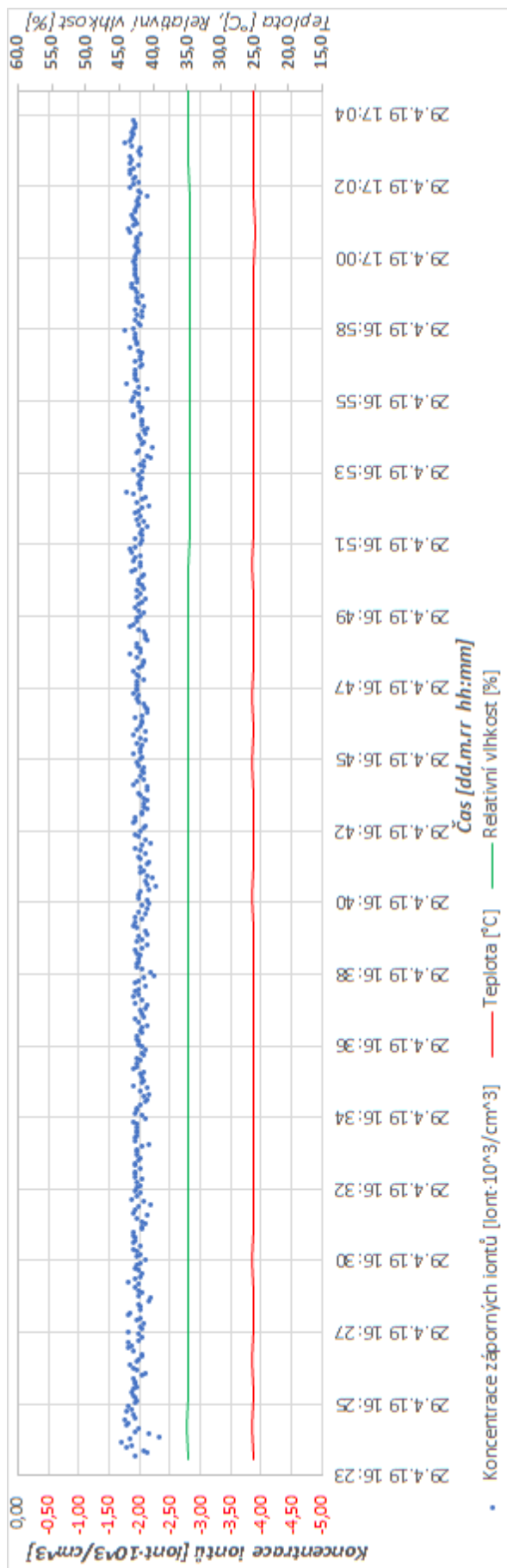
Graf 59 – Měření č. 6.12



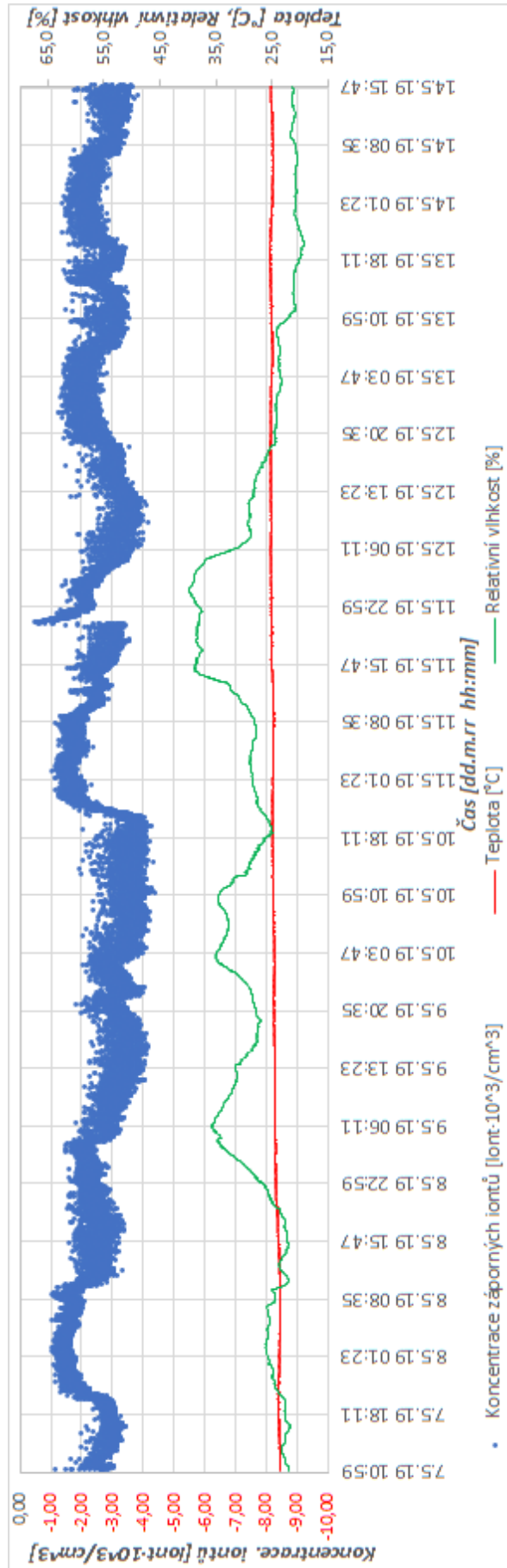
Graf 60 – Měření č. 6.16



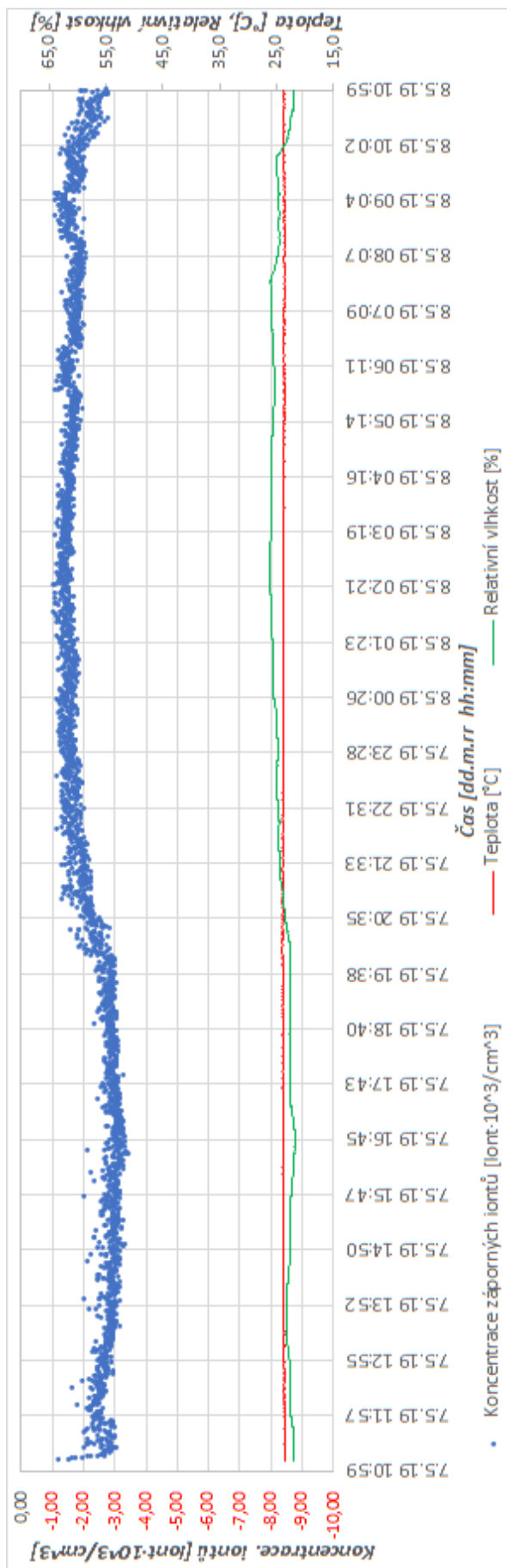
Graf 61 – Měření č. 6.20



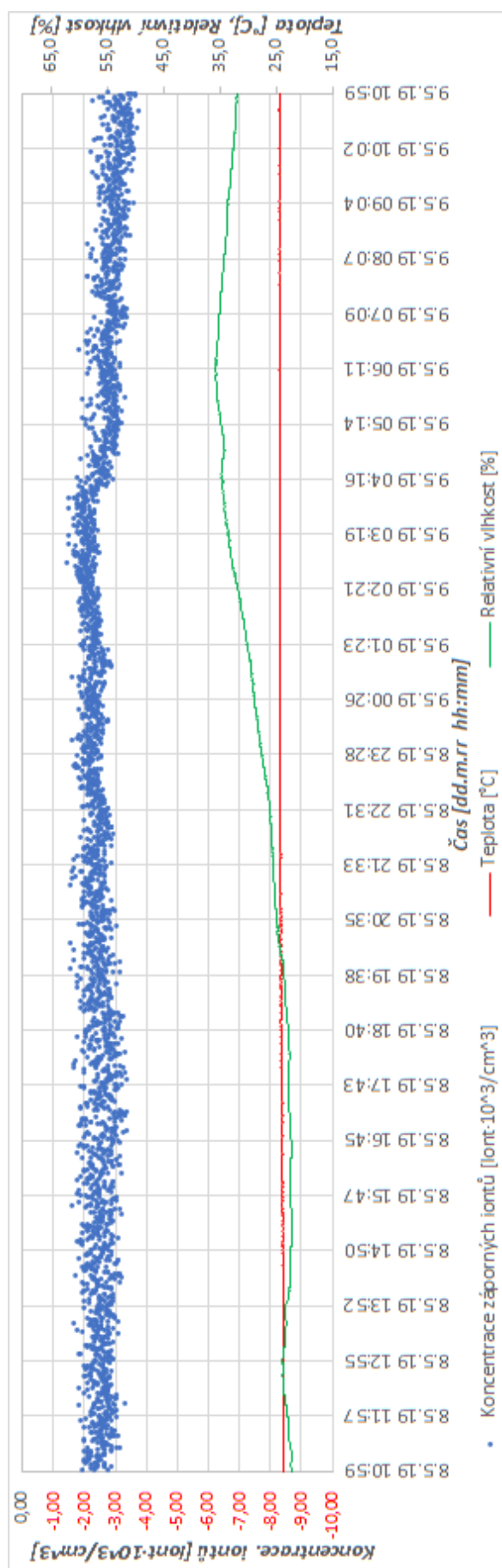
Graf 62 – Měření č. 6.22



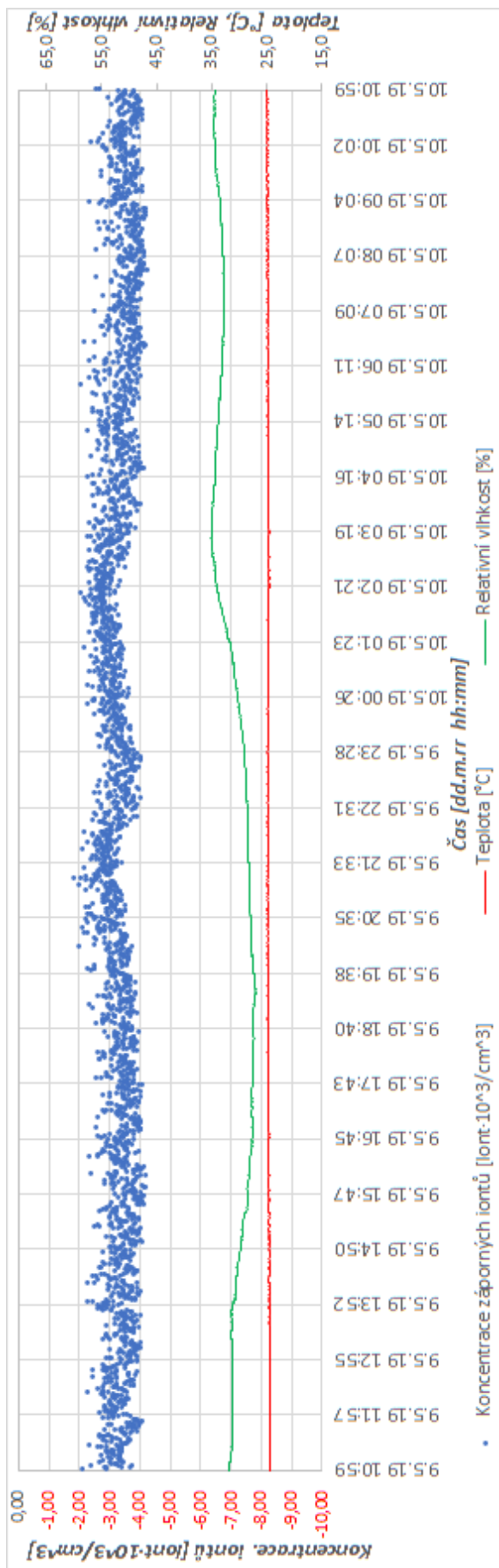
Graf 63 – Měření č. 6.24



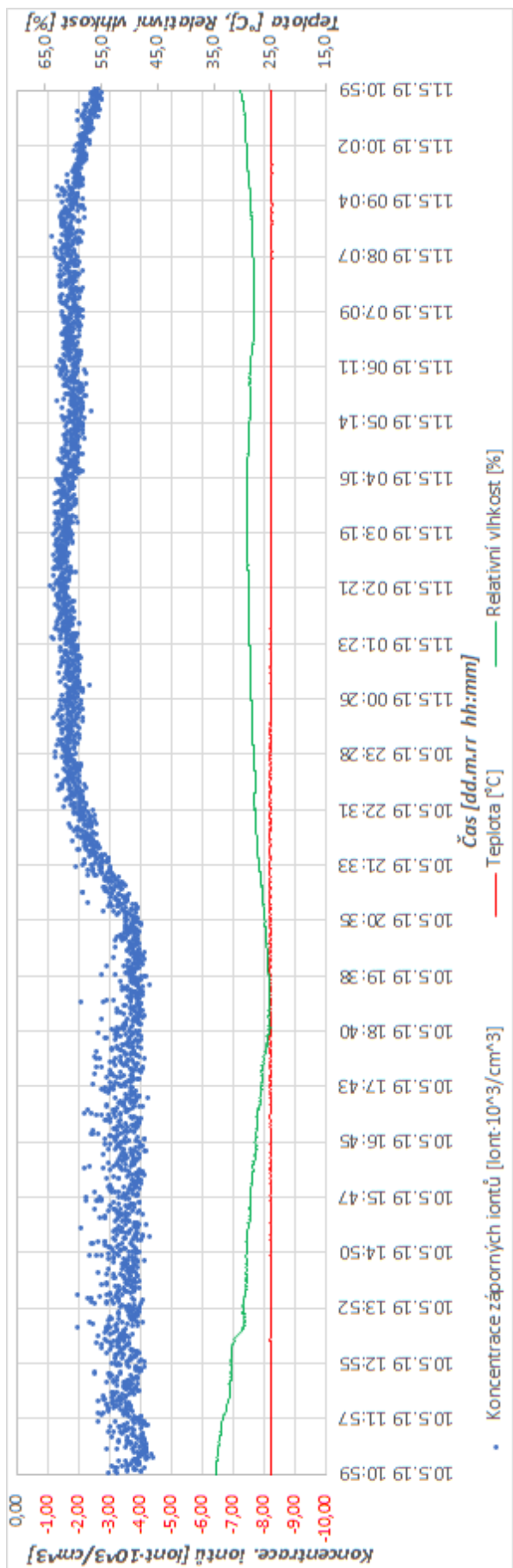
Graf 64 – Měření č. 6.24 (část 1)



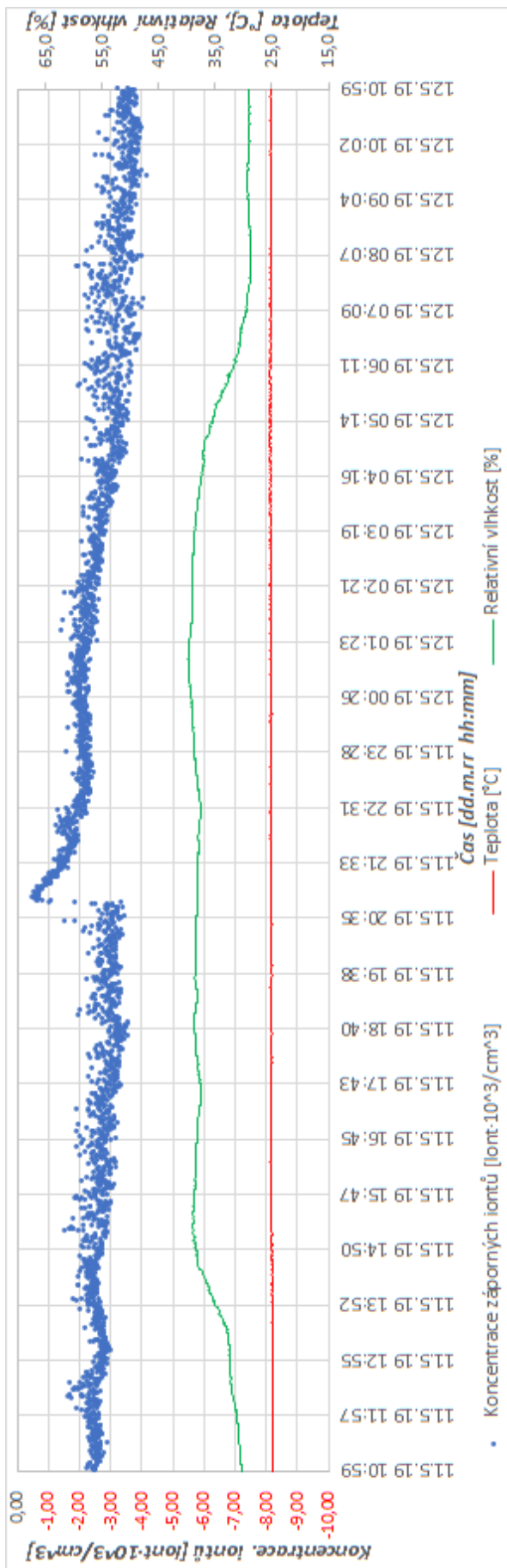
Graf 65 – Měření č. 6.24 (část 2)



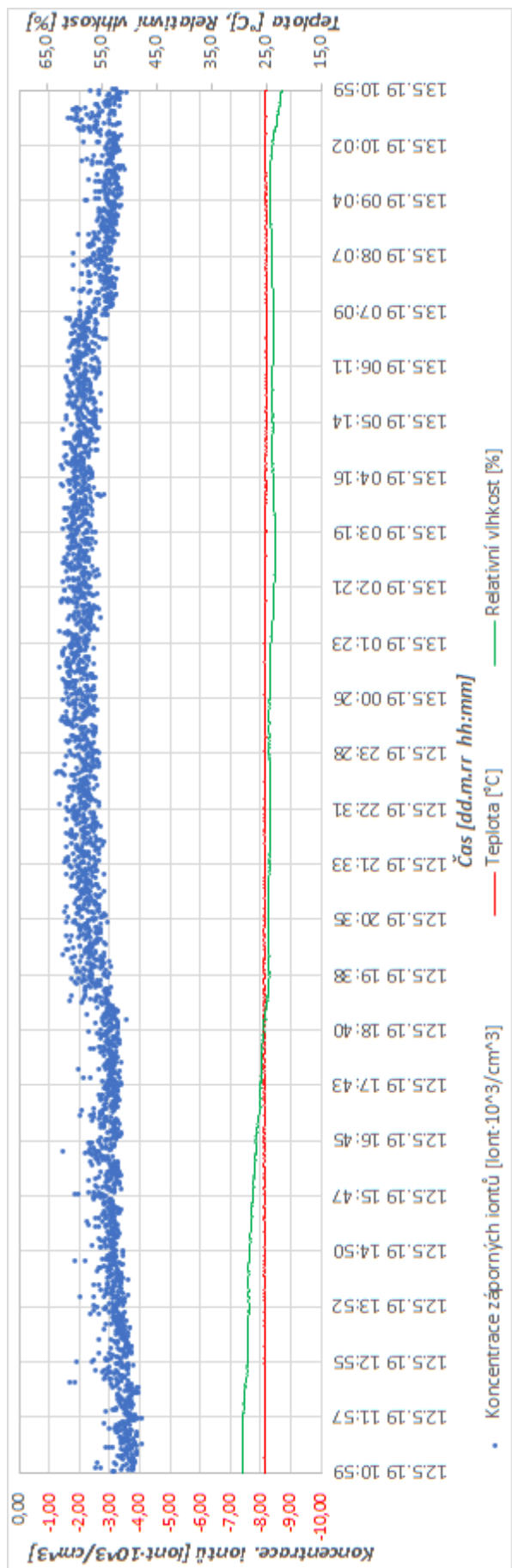
Graf 66 – Měření č. 6.24 (část 3)



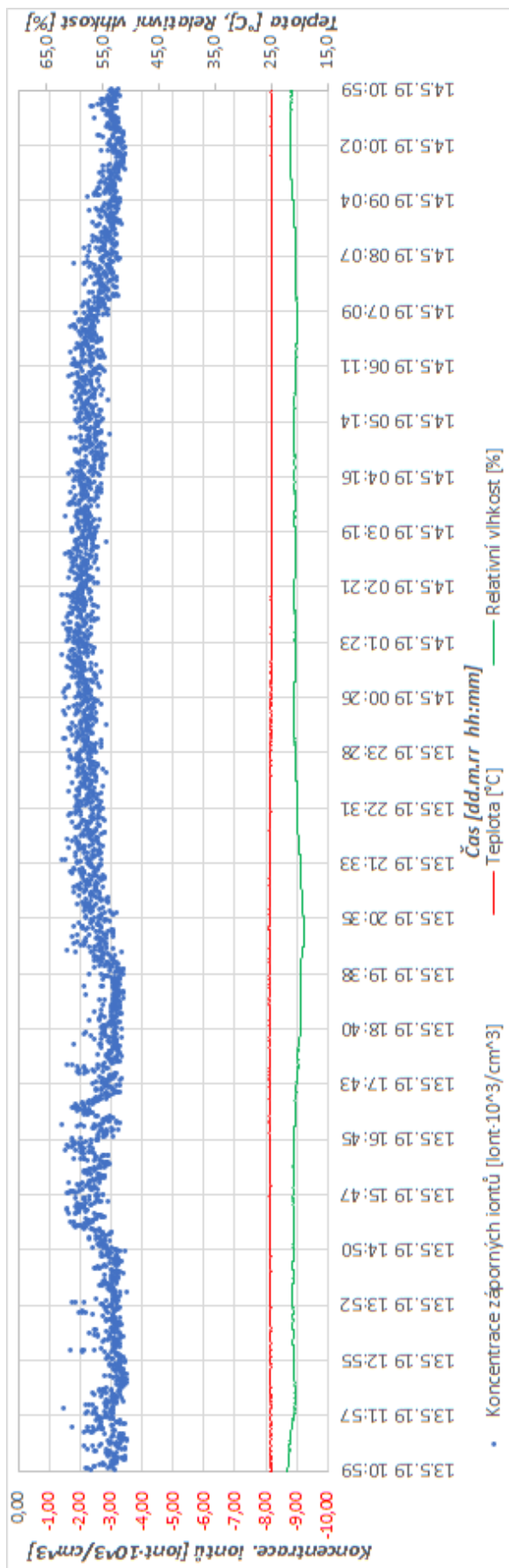
Graf 67 – Měření č. 6.24 (část 4)



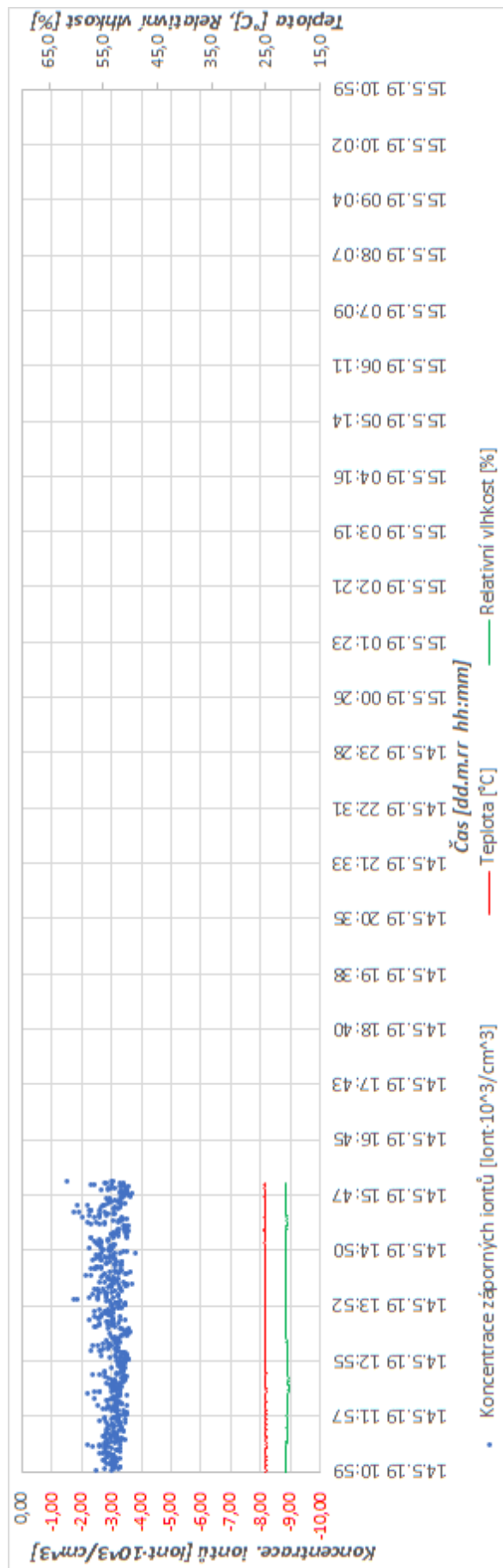
Graf 68 – Měření č. 6.24 (část 5)



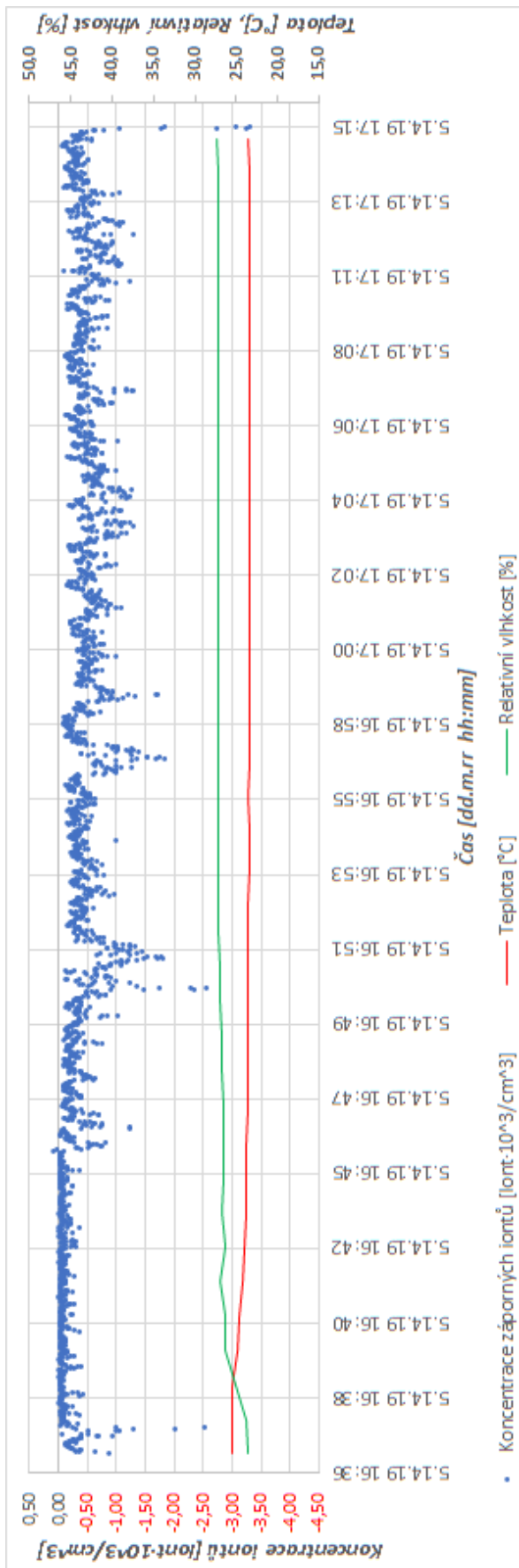
Graf 69 – Měření č. 6.24 (část 6)



Graf 70 – Měření č. 6.24 (část 7)

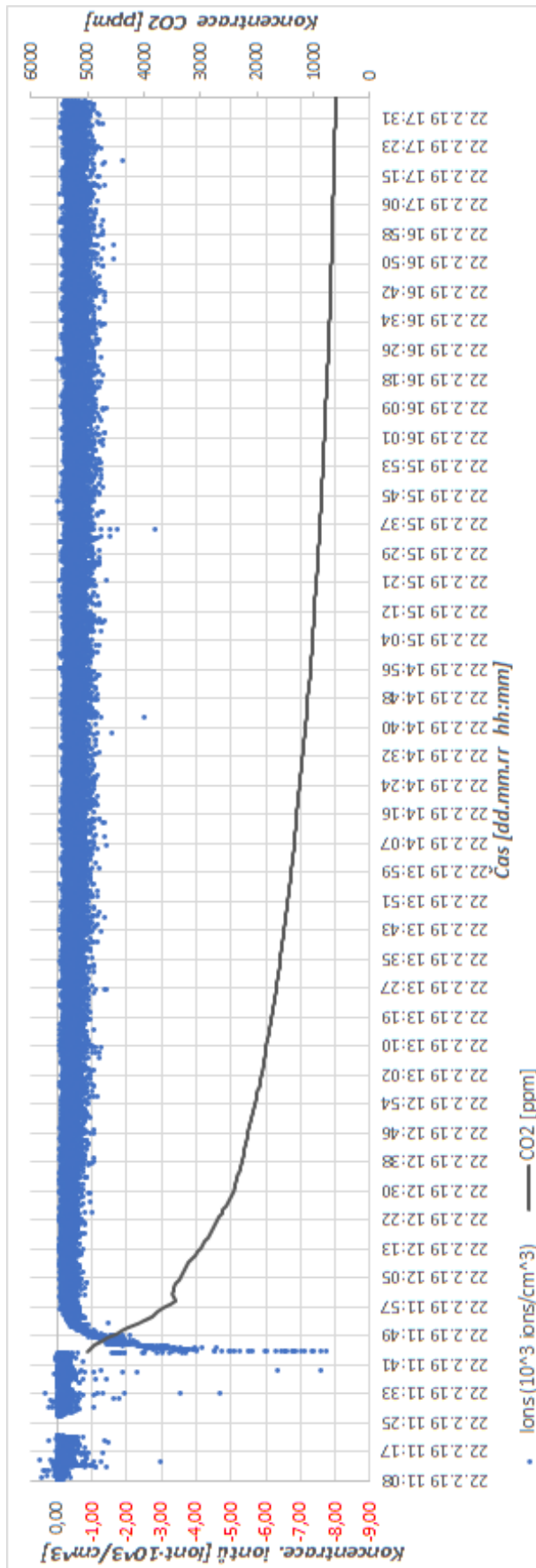


Graf 71 – Měření č. 6.24 (část 8)

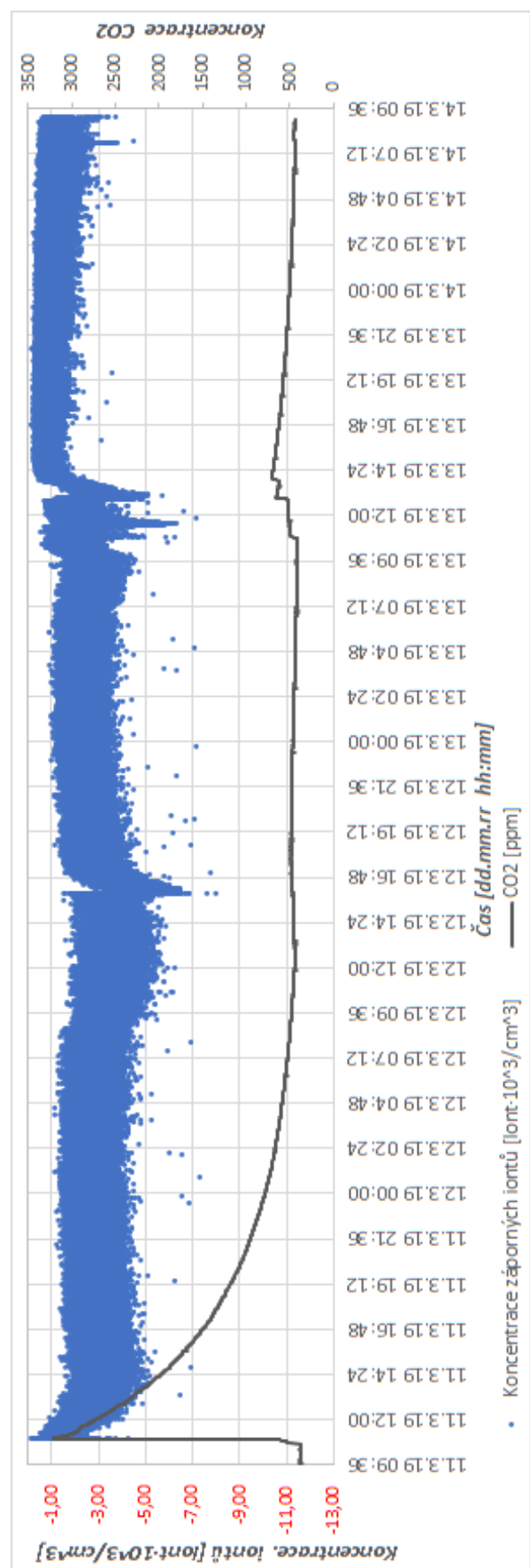


Graf 72 – Měření č. 6.26

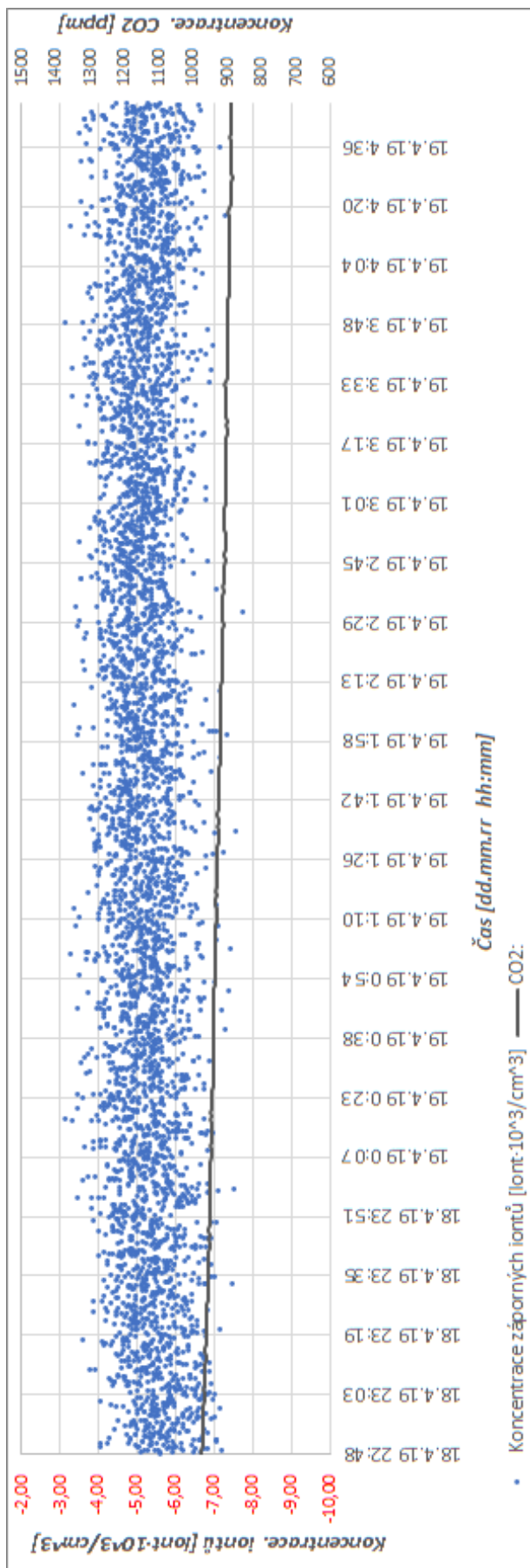
Koncentrace CO₂



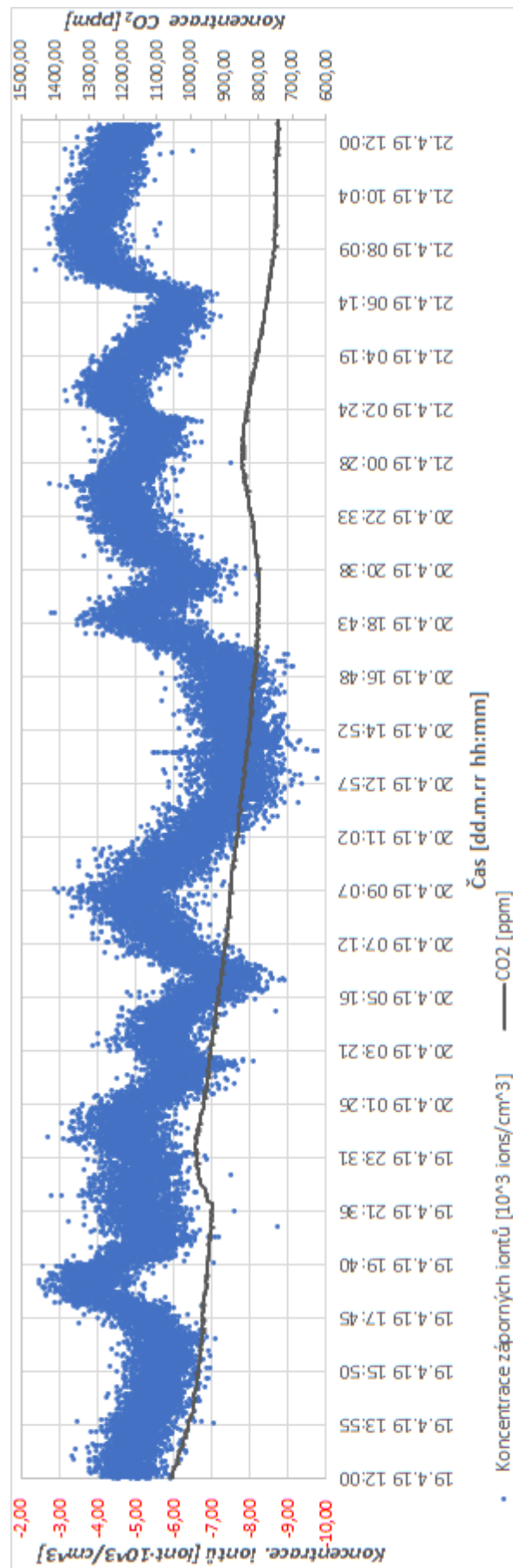
Graf 73 – Koncentrace CO₂ - měření č. 1.01



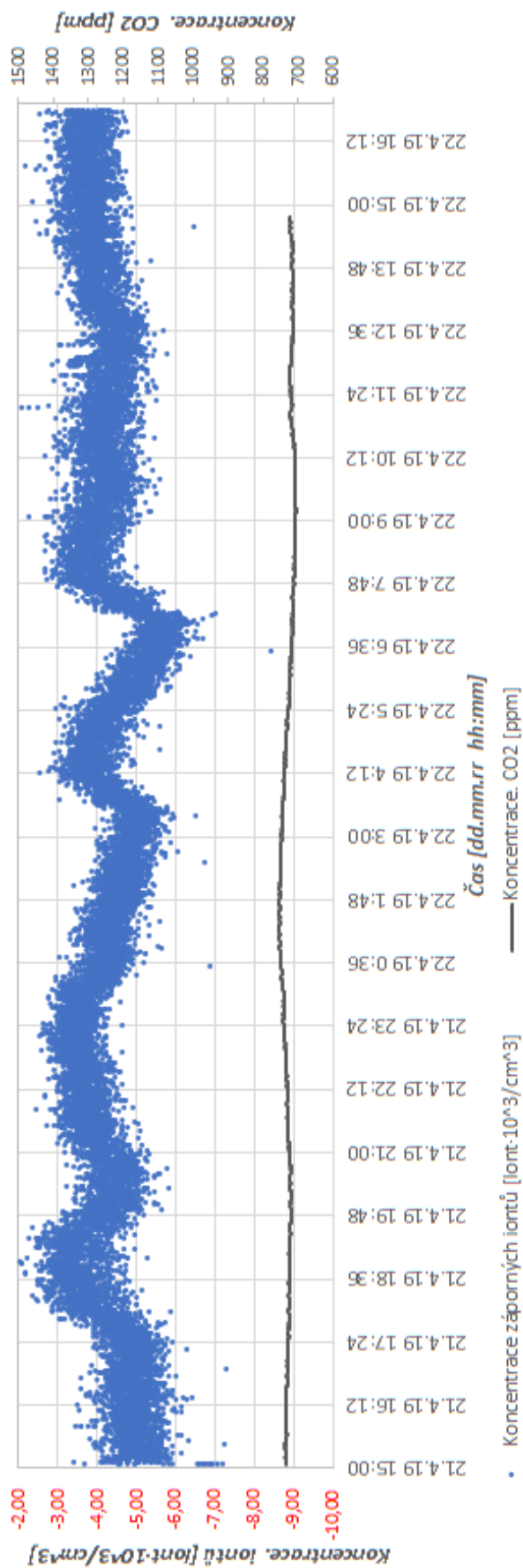
Graf 74 – Koncentrace CO₂ - měření č. 1.06



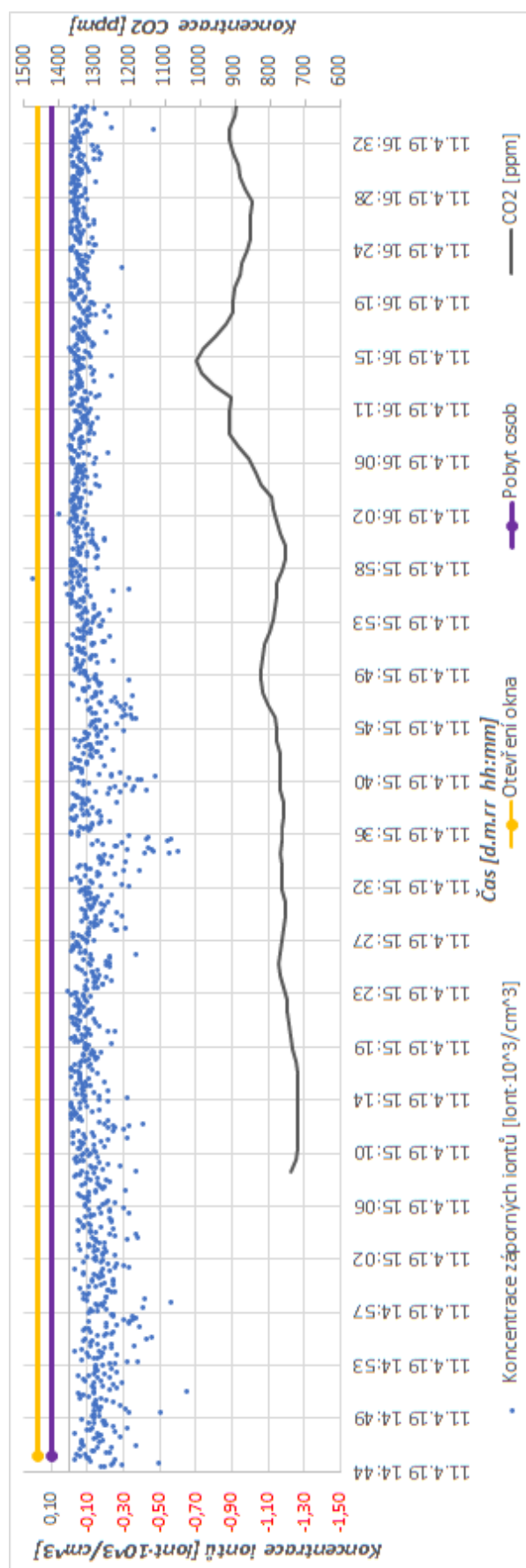
Graf 75 – Koncentrace CO₂ - měření č. 5.02



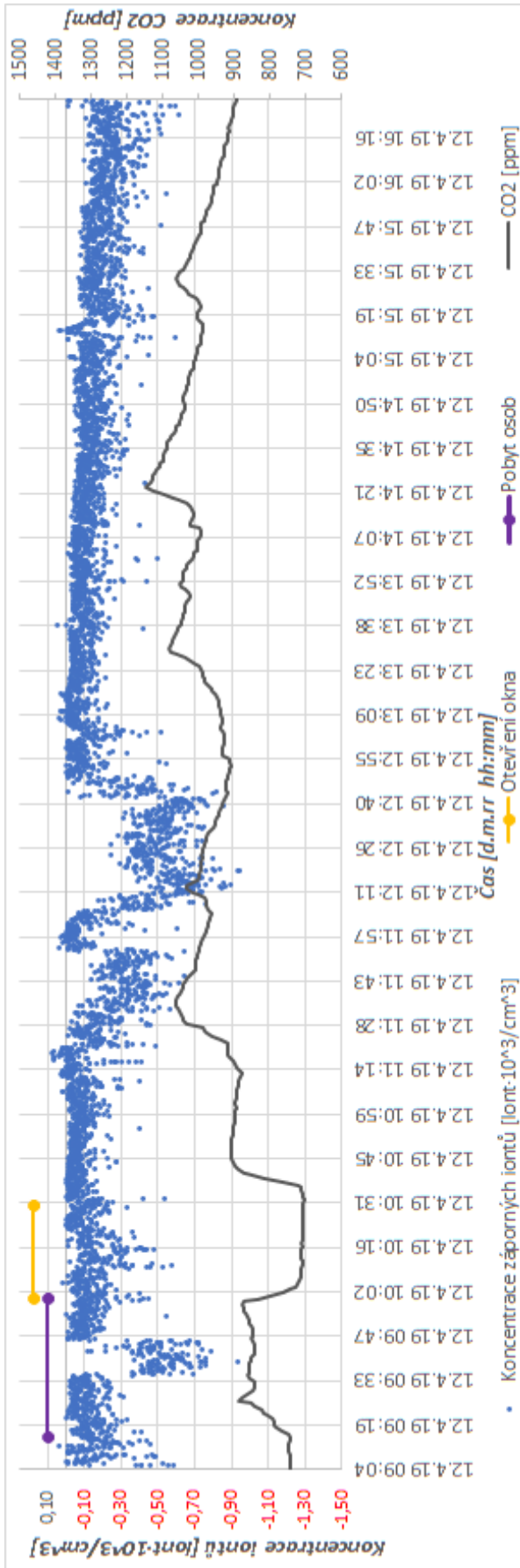
Graf 76 – Koncentrace CO₂ - měření č. 5.03



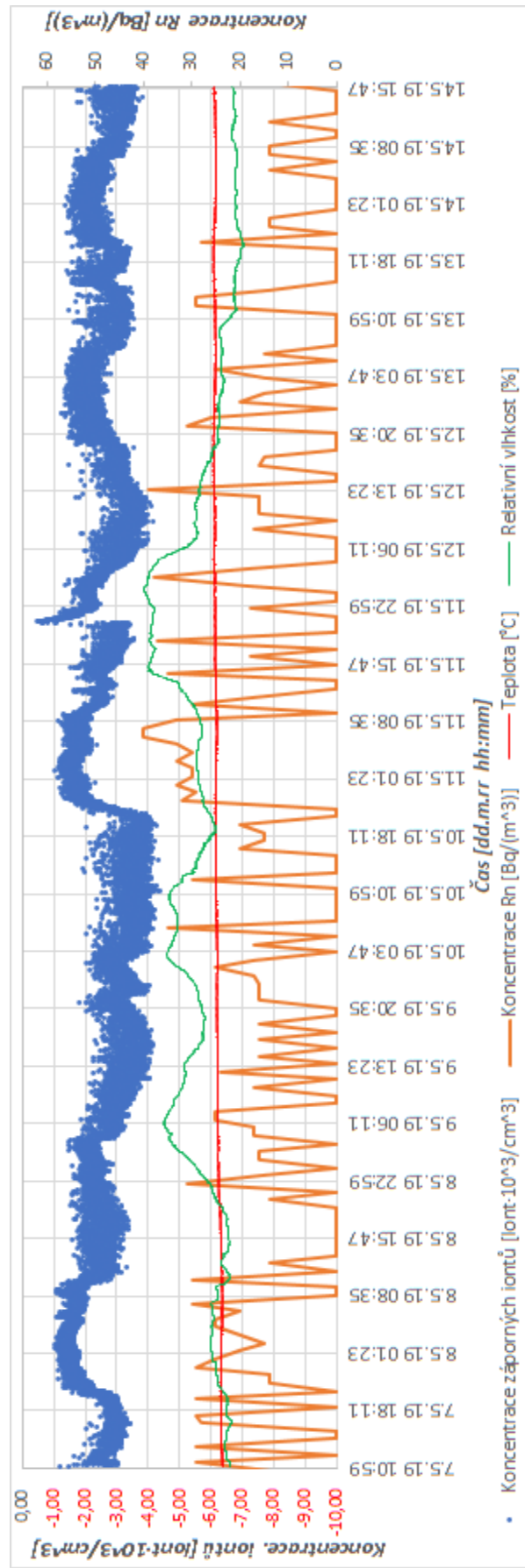
Graf 77 – Koncentrace CO₂ - měření č. 5.04



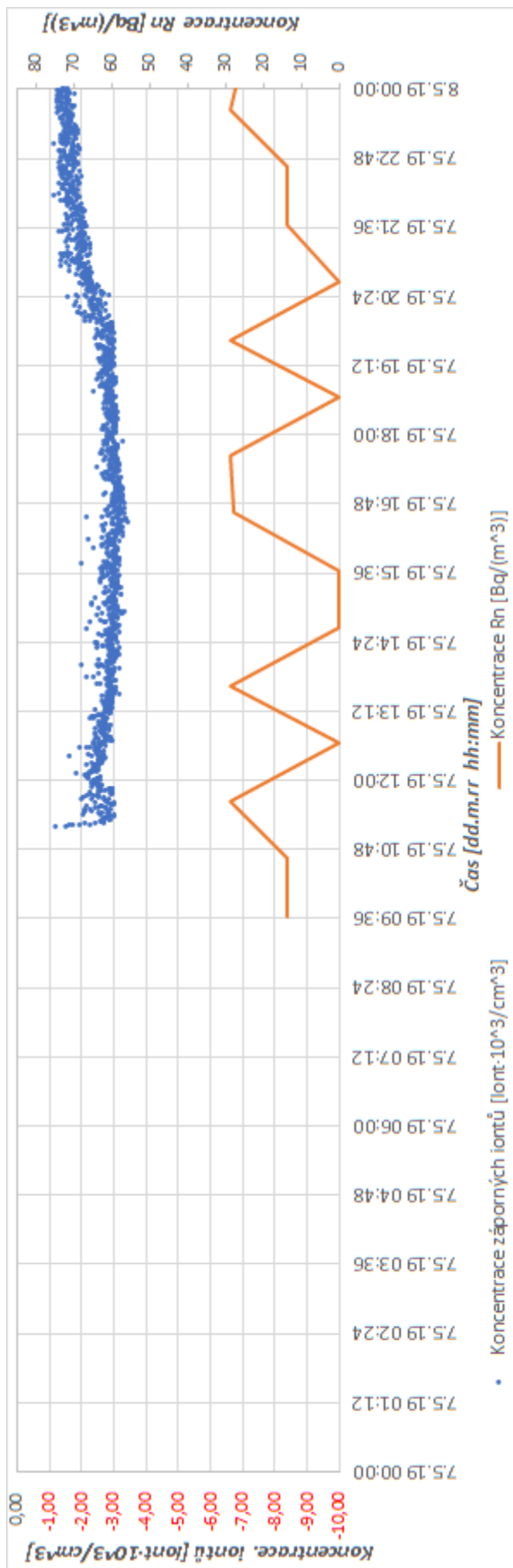
Graf 78 – Koncentrace CO₂ - měření č. 6.03



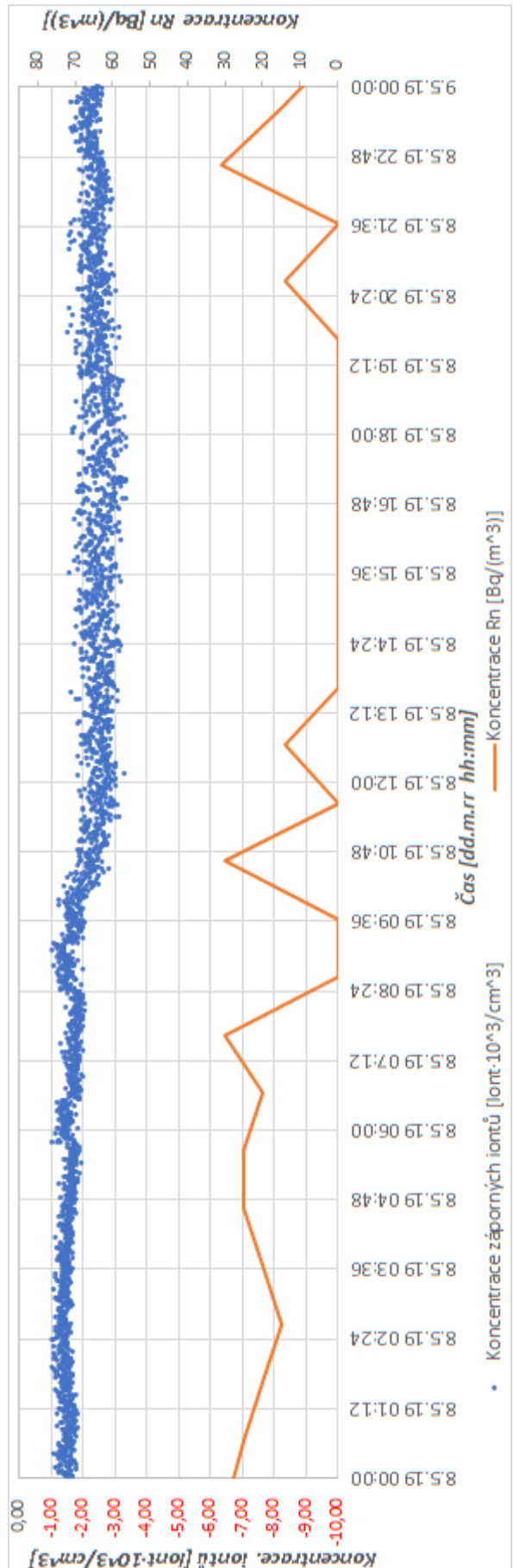
Graf 79 – Koncentrace CO₂ - měření č. 6.06



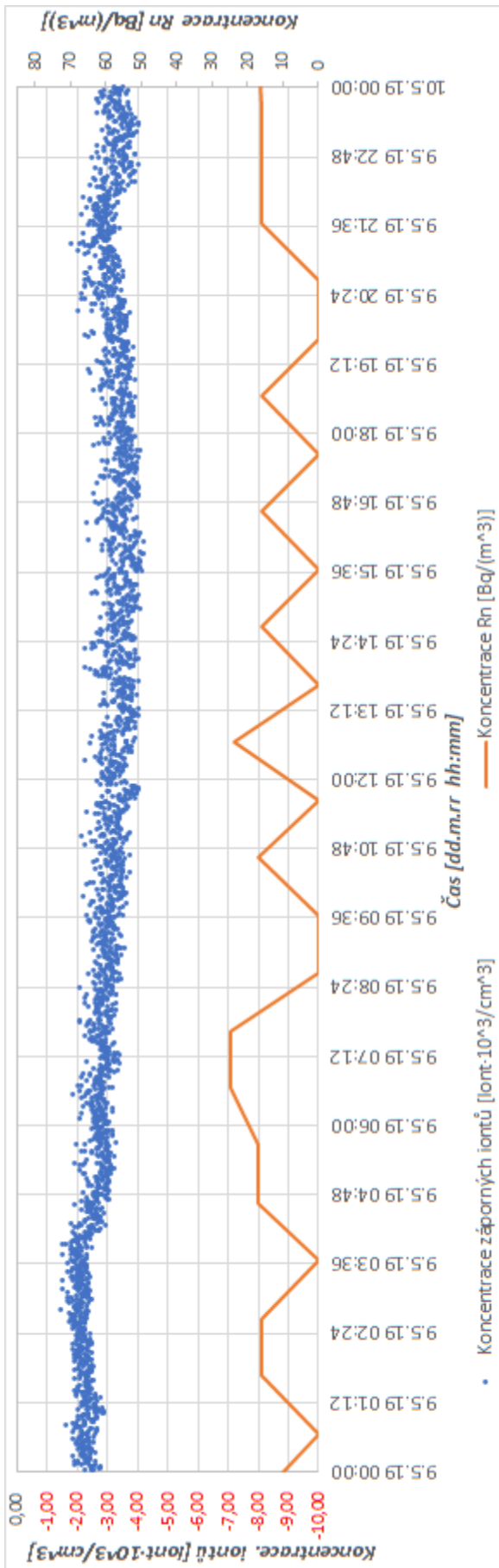
Graf 80 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24



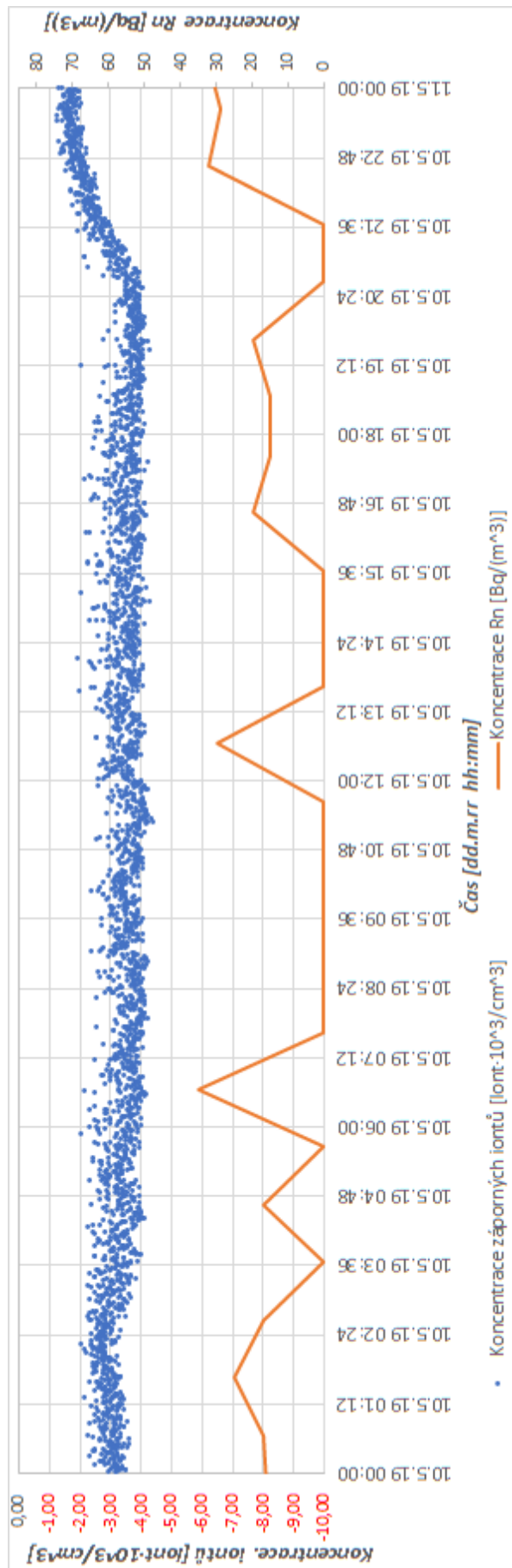
Graf 82 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 1)



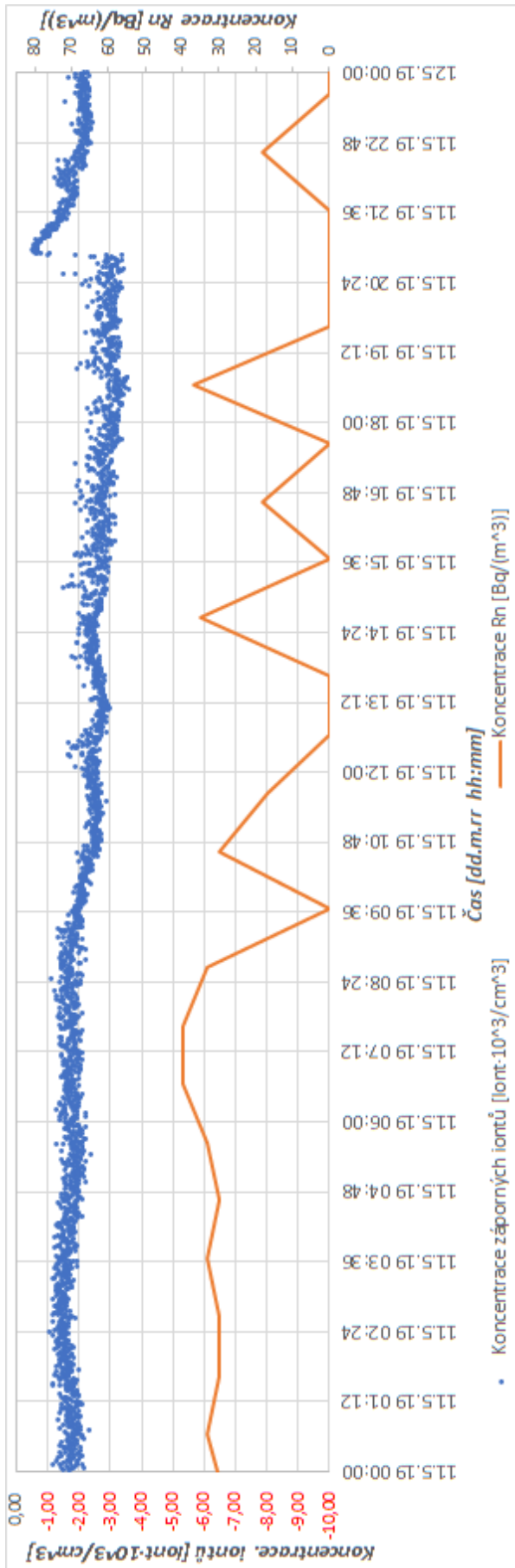
Graf 81 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 2)



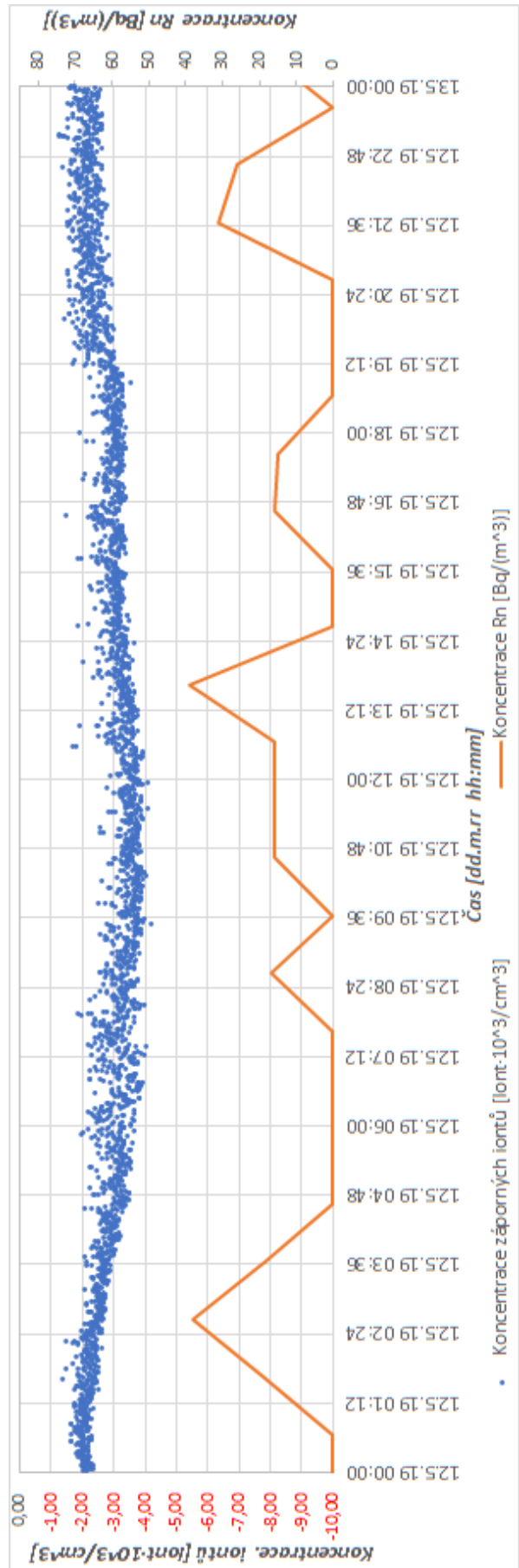
Graf 83 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 3)



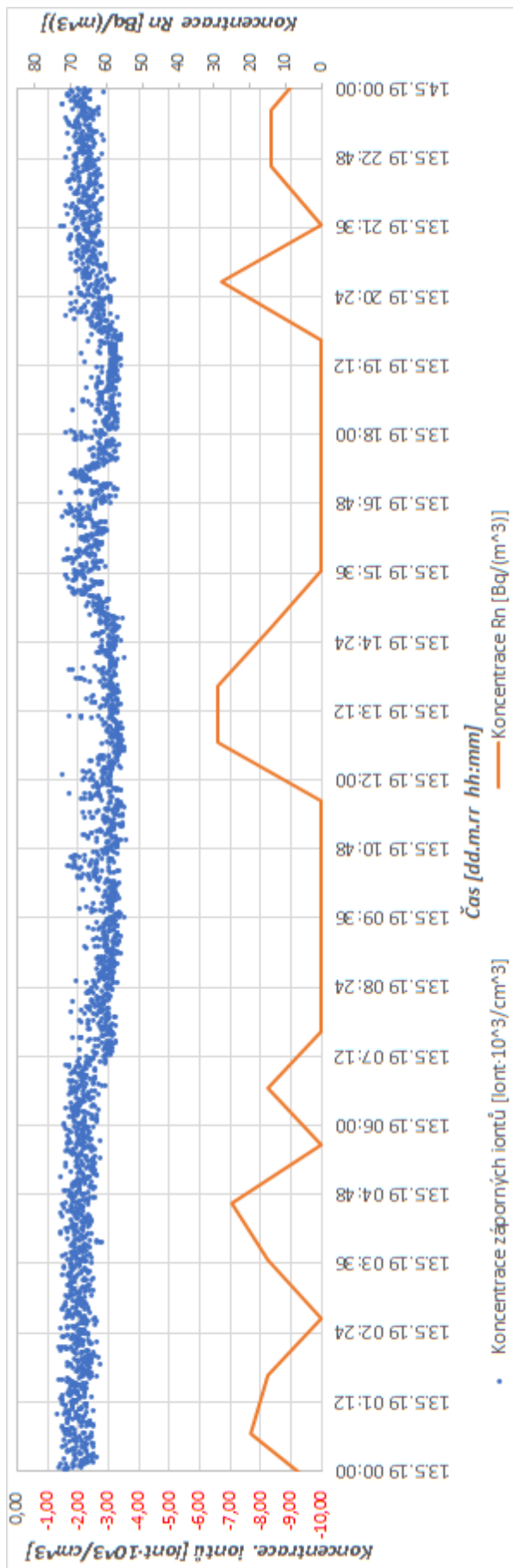
Graf 84 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 4)



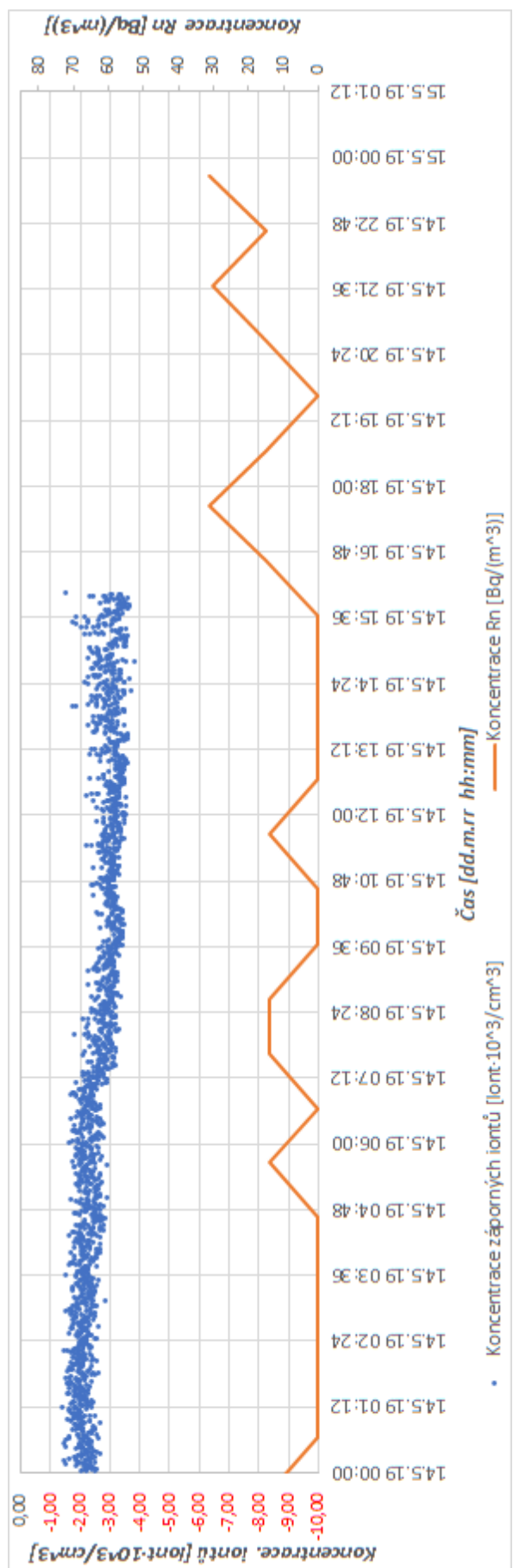
Graf 85 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 5)



Graf 86 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 6)



Graf 87 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 7)



Graf 88 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 8)

12. Vyhodnocení výsledků měření

12.1. Vliv nuceného větrání v porovnání s přirozeným

Z měření v celkem pěti objektech, z toho dvou s nuceným větráním a tří s přirozeným větráním, vyplývají závěry shodující se s hypotézou o negativním vlivu nuceného větrání. Ve dvojicích podobných objektů (podobně umístěných a podobného typu) byly průměrné hodnoty nuceně větraných objektů o 29 % (BD) a 30 % (RD) nižší než v typově odpovídajícím objektu větraném přirozeně. Shodně i výsledky měření vzduchu před vstupem do VZT jednotky a po něm ukázaly 10 % snížení koncentrace iontů.

Nicméně výrazně větší rozdíly v koncentracích záporných iontů byly naměřeny ve shodně větraných objektech. U přirozeně větraných objektů byl rozdíl průměrných hodnot 76 % (resp. až 90 % při srovnání s objektem v horském prostředí) a u nuceně větraných objektů 57 %. Z toho vyplývá, že větrání pravděpodobně není nejzásadnějším faktorem ovlivňujícím koncentraci iontů v interiéru. Nabízí se další činitele, které by mohly tento markantní rozdíl vysvětlit a vyžadují hlubší zkoumání, např. vliv prašnosti, radonu, zástavby, dopravy, konstrukce, povrchu, venkovního prostředí atp.

V měřeních jsou značné velké výkyvy a mezi jednotlivými měřeními na stejném místě jsou výrazné rozdíly. Proto je zásadní, aby měření probíhala dlouhodobě. Při vzájemném porovnávání výsledků také nejlépe současně, aby byl vyloučen vliv rozdílných podmínek. Pro účely této diplomové práce byl bohužel k dispozici pouze jeden měřič AIC2, a proto tento aspekt nemohl být splněn.

Stejně tak hodnoty uváděné v literatuře (viz Tabulka 3), tedy že v interiérech se zřídka kdy nachází hodnoty vyšší než 100 iontů/cm³ jsou velmi „černobílé“. V mnoha měřeních v této práci byly naměřeny hodnoty výrazně vyšší i v městském prostředí. Shodně i jednorázová nebo krátká měření, uváděná v literatuře, mohou být neprůkazná, jelikož koncentrace iontů se v čase velmi mění.

12.2. Vliv větrání oknem

Měřením bylo zjištěno, že větrání oknem nemá u všech objektů stejný vliv. Stejně tak se vliv liší za různých podmínek u téhož objektu. Na výsledek větrání oknem má vliv délka, frekvence, výše koncentrace iontů v interiéru před větráním, výše koncentrace iontů v exteriéru, která však nemusí být vždy vyšší než v interiéru. Dále má vliv pravděpodobně i proudění vzduchu v místnosti, a především také prašnost, která může být prouděním rozvířena. Nelze proto jednoznačně stanovit pro všechny případy, zda a v jaké míře je větrání oknem pro koncentraci záporných iontů v interiéru prospěšné.

12.3. Vliv pohybu osob

Z měření vyplývá, že pohyb osob má značný vliv na koncentraci iontů ve vzduchu. K jasnému výsledku je však zapotřebí většího množství dat a sledování veškerých aspektů, jako je například povaha pobytu osob v místnosti, působení elektroniky, zvýšená prašnost, jež může být způsobena i pohybem osob a osoby tak mohou nepřímo ovlivňovat koncentraci iontů v ovzduší. Sledování těchto aspektů nebylo předmětem této diplomové práce a nabízí se problematiku podrobit důkladnějšímu a hlubšímu zkoumání.

Jelikož vstup osob měl různou povahu a různé podmínky (někdy ovlivnil měření jen krátkodobě, jindy, kdy mohlo dojít např. průvanu či k jiné zásadní aktivitě, se koncentrace pak už

nikdy nevrátila na původní hodnoty) nelze ani stanovit obecný časový interval, po kterém je měření bez vlivu pobytu osob.

12.4. Vliv radonu

V laboratoři TZB nebyly naměřeny vysoké hodnoty radonu, které by byly příčinou zvýšené koncentrace iontů v ovzduší místnosti. Nebyla ani nalezena shoda mezi výkyvy měřených veličin. Proto byl vliv radonu a radon jako zdroj vysokých hodnot iontů v tomto měření vyloučen.

12.5. Vliv koncentrace CO₂

Třemi sadami měření byla zkoumána dlouhodobá i krátkodobá závislost koncentrace záporných iontů na koncentraci CO₂ v místnosti. Chování koncentrace CO₂ a n- se v některých případech shoduje, avšak v jiných se liší. V místech, kde v průběhu CO₂ a n- nastávají podobné píky, lze tento fakt pravděpodobně přisoudit jinému vlivu, který na obě veličiny působí, a to třeba vyvětrání či přítomnosti osob.

13. Závěr

Druhá, tedy praktická, část diplomové práce byla věnována zkoumání vlivu nuceného větrání v porovnání s přirozeným větráním na koncentraci vzdušných iontů v interiéru. Výsledky měření neukazují na konzistentní odpověď na tuto otázku. Komplikované téma podmínek iontového mikroklima způsobilo, že z původní myšlenky zkoumání vlivu nuceného větrání vzniklo ještě několik dalších hypotéz prověřujících vliv dalších faktorů. Vliv pobytu osob, koncentrace radonu, větrání oknem, koncentrace CO₂ byly podrobeny detailní analýze, opět však nebylo dosaženo konzistentních výsledků potvrzujících nebo vyvracejících nějakou z hypotéz. Jak je zřejmé i ze souhrnného přehledu dosud známých znalostí, které v této práci předchází praktické části, koncentrace iontů ve vzduchu je ovlivněna nesčetným množstvím faktorů a jejich kombinací. Doposud pravděpodobně nejsou všechny vlivy objeveny, část těch známých není ještě dopodrobna probádána. Nabízí se hned několik témat, jako je například vliv stínění konstrukcí elektrického pole Země, vliv elektrického pole stavebních materiálů a vybavení, pohyb vzduchu v místnosti, výška nad povrchem podlahy či povrchem Země atp. Je dokonce pravděpodobné, že různé kombinace změn faktorů způsobují jiné změny než působení faktorů jednotlivě. Sledování jednoho faktoru proto musí nutně doprovázet sledování všech dalších možných vlivů, a to i vzhledem k nemožnosti zajištění naprosto totožných podmínek (např. meteorologických) pro všechny ostatní parametry v několika následujících měřeních nebo objektech. Dále pak není stanovená žádná jednotná používaná metodika, jak koncentrace iontů měřit, a proto se výsledky různých studií mohou značně lišit vlivem rozdílného přístupu. Toto téma tedy zůstává otevřené a nabízí ještě velký prostor ke komplexnímu a detailnímu zkoumání.

14. Seznam obrázků

Obrázek 1 – Složení iontů dle vzniku [8] (předklad pojmů autorkou – původní text: „Natural NAIs, Corona NAIs, Lenard NAIs“)	6
Obrázek 2 – Rozdělení atmosféry [10]	7
Obrázek 3 – Schéma elektrického pole Země [3]	8
Obrázek 4 – Schéma vzniku ozonu a oxidů dusíku při ionizaci vzduchu [3]	9
Obrázek 5 – Princip formování iontů v atmosféře [15]	10
Obrázek 6 – Schéma ionizace vzduchu [3]	11
Obrázek 7 – Nevhodná stavba místnosti [15]	17
Obrázek 8 – Schéma principu aspiračního kondenzátoru [15]	20
Obrázek 9 – Schéma principu speleoterapie [15]	25
Obrázek 10 – Doporučené úpravy obytných místností [15]	27

15. Seznam tabulek

Tabulka 1 – Klasifikace iontů dle hmotnosti podle Israëla [13]	10
Tabulka 2 – Klasifikace iontů dle hmotnosti podle Hörraka [14]	10
Tabulka 3 – Obvyklé koncentrace iontů	19
Tabulka 4 – Příklady naměřených koncentrací iontů	19
Tabulka 5 – Souhrn vlastností objektů, ve kterých proběhla měření	33
Tabulka 6 – Podmínky měření (část 1)	37
Tabulka 7 – Podmínky měření (část 2)	38
Tabulka 8 – Podmínky měření (část 3)	39
Tabulka 9 – Souhrn všech měření (část 1)	41
Tabulka 10 – Souhrn všech měření (část 2)	42
Tabulka 11 – Souhrn všech měření (část 3)	43
Tabulka 12 – Souhrn všech měření (část 4)	44
Tabulka 13 – Porovnání měření v objektech s přirozeným a nuceným větráním	46
Tabulka 14 – Srovnání výsledků měření v Objektu č. 3 a Objektu č. 4	48
Tabulka 15 – Porovnání naměřených koncentrací n- a CO ₂	59

16. Seznam grafů

Graf 1 – Srovnání průměrných hodnot koncentrací záporných iontů v objektech s nuceným a přirozeným větráním	47
Graf 2 – Koncentrace záporných iontů včetně záznamu teploty a relativní vlhkosti - Objekt č. 4 s nuceným větráním, měření č. 4.02	49
Graf 3 – Koncentrace záporných iontů včetně záznamu výskytu osob, teploty a relativní vlhkosti - Objekt č. 3 s přirozeným větráním, měření č. 3.15	49
Graf 4 – Detail z měření č. 2.01	51
Graf 5 – Detail z měření č. 2.03	51
Graf 6 – Detail z měření č. 2.07	52
Graf 7 – Detail z měření č. 2.12	52
Graf 8 – Detail z měření č. 2.39	53
Graf 9 – Detail měření č. 3.15	53
Graf 10 – Koncentrace záporných iontů [iont·10 ³ /cm ³] včetně záznamu výskytu osob, teploty a relativní vlhkosti, série měření č. 2.17 – 2.35	55
Graf 11 – Koncentrace záporných iontů [iont·10 ³ /cm ³], měření č.2.17	56
Graf 12 – Koncentrace záporných iontů [iont·10 ³ /cm ³], měření č. 2.20	56

Graf 13 – Koncentrace záporných iontů [$\text{iont} \cdot 10^3/\text{cm}^3$], měření č. 2.22.....	57
Graf 14 – Koncentrace záporných iontů [$\text{iont} \cdot 10^3/\text{cm}^3$], měření č. 2.24.....	57
Graf 15 – Měření č. 1.01.....	60
Graf 16 – Měření č. 1.02 (část 1).....	60
Graf 17 – Měření 1.02 (část 2).....	61
Graf 18 – Měření č. 1.02 (část 3).....	61
Graf 19 – Měření č. 1.02 (část 4).....	62
Graf 20 – Měření č. 1.04.....	62
Graf 21 – Měření č. 1.04 detail (část 1).....	63
Graf 22 – Měření č. 1.04 detail (část 2).....	63
Graf 23 – Měření č. 1.06(část 1).....	64
Graf 24 – Měření č. 1.06 (část 2).....	64
Graf 25 – Měření č. 1.06 (část 3).....	65
Graf 26 – Měření č. 1.08.....	65
Graf 27 – Měření č. 2.01 – 2.07.....	66
Graf 28 – Měření č. 2.08 - 2.16.....	66
Graf 29 – Měření č. 2.19 – 2.24.....	67
Graf 30 – Měření č. 2.24 – 2.27.....	67
Graf 31 – Měření 2.27 – 2.28.....	68
Graf 32 – Měření č. 2.29 – 2.33.....	68
Graf 33 – Měření č. 2.33 – 2.34.....	69
Graf 34 – Měření č. 2.38 (část 1).....	69
Graf 35 – Měření č. 2.38 (část 2).....	70
Graf 36 – Měření č. 2.38 (část 3).....	70
Graf 37 – Měření 2.39 (část 1).....	71
Graf 38 – Měření č. 2.39 (část 2).....	71
Graf 39 – Měření č. 2.38 (část 3).....	71
Graf 40 – Měření č. 2.39 (část 3).....	72
Graf 41 – Měření č. 2.40.....	72
Graf 42 – Měření č. 3.02.....	73
Graf 43 – Měření č. 3.03.....	73
Graf 44 – Měření č. 3.05.....	74
Graf 45 – Měření č. 3.06.....	74
Graf 46 – Měření č. 3.08.....	75
Graf 47 – Měření č. 3.09.....	75
Graf 48 – Měření č. 3.11.....	76
Graf 49 – Měření č. 3.15.....	76
Graf 50 – Měření č. 4.02.....	77
Graf 51 – Měření č. 5.02.....	77
Graf 52 – Měření č. 5.03 (část 1).....	78
Graf 53 – Měření č. 5.03 (část 2).....	78
Graf 54 – Měření č. 5.04.....	79
Graf 55 – Měření č. 6.01.....	79
Graf 56 – Měření č. 6.03.....	80
Graf 57 – Měření č. 6.05.....	80
Graf 58 – Měření č. 6.09 – 6.10.....	81
Graf 59 – Měření č. 6.12.....	81
Graf 60 – Měření č. 6.16.....	82

Graf 61 – Měření č. 6.20.....	82
Graf 62 – Měření č. 6.22.....	83
Graf 63 – Měření č. 6.24.....	83
Graf 64 – Měření č. 6.24 (část 1).....	84
Graf 65 – Měření č. 6.24 (část 2).....	84
Graf 66 – Měření č. 6.24 (část 3).....	85
Graf 67 – Měření č. 6.24 (část 4).....	85
Graf 68 – Měření č. 6.24 (část 5).....	86
Graf 69 – Měření č. 6.24 (část 6).....	86
Graf 70 – Měření č. 6.24 (část 7).....	87
Graf 71 – Měření č. 6.24 (část 8).....	87
Graf 72 – Měření č. 6.26.....	88
Graf 73 – Koncentrace CO ₂ - měření č. 1.01	89
Graf 74 – Koncentrace CO ₂ - měření č. 1.06	89
Graf 75 – Koncentrace CO ₂ - měření č. 5.02	90
Graf 76 – Koncentrace CO ₂ - měření č. 5.03	90
Graf 77 – Koncentrace CO ₂ - měření č. 5.04	91
Graf 78 – Koncentrace CO ₂ - měření č. 6.03	91
Graf 79 – Koncentrace CO ₂ - měření č. 6.06	92
Graf 80 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24	92
Graf 81 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 2).....	93
Graf 82 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 1).....	93
Graf 83 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 3).....	94
Graf 84 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 4).....	94
Graf 85 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 5).....	95
Graf 86 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 6).....	95
Graf 87 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 7).....	96
Graf 88 – Koncentrace Rn - měření č. 6.24 (část 8).....	96

17. Seznam použitých symbolů a zkratek

BD	Bytový dům
d	Průměr částice [nm]
k	Rychlost pohybu částice [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]
n+, n-	Koncentrace pozitivních, resp. negativních vzdušných iontů
p	Tlak vzduchu v exteriéru [Pa]
PEF	Pulzní elektrické pole
PM _{1,0} , PM _{2,5}	Prachové částice (particulates matter) menší než 1,0 μm (resp. 2,5 μm)
ppm	Vyjádření koncentrace, parts per million (10000 ppm = 1%)
RD	Rodinný dům
Rh	Relativní vlhkost
Rn	Radon
SBS	Syndrom nemocných budov (Sick Building Syndrome)
t, te	Teplota v interiéru, teplota v exteriéru [°C]
U _q	Unipolární koeficient
UV	Ultrafialový
Φ, Φ _e	Relativní vlhkost v interiéru, relativní vlhkost v exteriéru [%]
μm	Mikrometr

18. Reference

- [1] BUŘIVAL, Z. a J. MOHELNÍKOVÁ. Bioklimatické prostředí budov. *Ochrana ovzduší*. Praha: UIAPPA, 2000, **2000**, 95-97. ISSN 1211-0337.
- [2] WESTERMANN, Kathrine. The Indoor Generation Survey 14 May 2018. *Press.velux.com* [online]. Praha: Velux Group, 2018 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://press.velux.com/download/542967/theindoorgenerationsurvey14may2018-2.pdf>
- [3] JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0928-0.
- [4] LAJČÍKOVÁ, A. *Vnitřní prostředí budov: (stavební kniha)*. 1. Brno: EXPO DATA, 2001, 56-58 s. ISBN 80-729-3023-0.
- [5] KABELE, Karel, Zuzana VEVERKOVÁ a Miroslav URBAN. *Hodnocení kvality vnitřního prostředí budov s nízkou spotřebou energie*. 1. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2018, 73 s. ISBN 978-80-02-02811-6.
- [6] LAJČÍKOVÁ, A. *Syndrom nemocných budov*. Praha: Síť ekologických poraden, 2007. Dostupné také z: zeleneuradovani.cz
- [7] ČERNECKÝ, J., K. VALENTOVÁ, E. PIVARČIOVÁ a P. BOŽEK. Ionization Impact on the Air Cleaning Efficiency in the Interior. *Measurement Science Review*. 2015, **15**(4), 156-166. DOI: 10.1515/msr-2015-0023. ISSN 1335-8871. Dostupné také z: <http://content.sciendo.com/view/journals/msr/15/4/article-p156.xml>
- [8] JIANG, S.-Y., A. MA a S. RAMACHANDRAN. Negative Air Ions and Their Effects on Human Health and Air Quality Improvement. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018, **19**(10), 2966. DOI: 10.3390/ijms19102966. ISSN 1422-0067. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/1422-0067/19/10/2966>
- [9] KOLARŽ, P.M., D.M. FILIPOVIĆ a B.P. MARINKOVIĆ. Daily variations of indoor air-ion and radon concentrations. *Applied Radiation and Isotopes*. 2009, **67**(11), 2062-2067. DOI: 10.1016/j.apradiso.2009.07.023. ISSN 09698043. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0969804309004758>
- [10] HÁJKOVÁ, Š. *Problematika omezení výkonnosti EGNOS v důsledku ionosférické aktivity*. Praha, 2017. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73150/F6-BP-2017-Hajkova-Sarka-EGNOS.pdf?sequence=1>. Bakalářská práce. ČVUT, FD. Vedoucí práce S. Pleninger.
- [11] SPURNÝ, Zdeněk. *Atmosférická ionizace*. 1. vyd. Praha: Academia, 1985, 154 s. Cesta k vědě, sv. 38.
- [12] LAJČÍKOVÁ, A. Přirozená ionizace vzduchu. *Vytápění, větrání, instalace*. Praha: STP, 2009, (3), 125-127. ISSN 1210-1389. Dostupné také z: http://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2009-03_s125.pdf

- [13] SVOBODA, Jaroslav. Záporné ionty v obytném prostředí. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. Brno, 2008, **56**(2), 189-198. DOI: 10.11118/actaun200856020189. ISSN 1211-8516. Dostupné také z: <https://acta.mendelu.cz/56/2/0189/>
- [14] HÖRRAK, U., J. SALM a H. TAMMET. Statistical characterization of air ion mobility spectra at Tahkuse Observatory: Classification of air ions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. Atmos, 2000, **105**(7), 9291-9302. DOI: 10.1029/1999JD901197. ISSN 01480227. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1029/1999JD901197>
- [15] HRADECKÝ, Jan. *Iontové pole v pobytových prostorech*. Brno, 2004. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Z. Buřival.
- [16] JOKL, Miloslav. *Teorie vnitřního prostředí budov*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1986, 187 s.
- [17] LAZORKA, Martin. *Měření vlastností vzdušných iontů*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce J. Špínka.
- [18] JOKL, Miloslav. *Interní mikroklima ventilační a klimatizační technika pro stavební inženýry I*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1981.
- [19] HALL, Steven, Gregory MAURER, Sebastian HOCH, Raili TAYLOR a David BOWLING. Impacts of anthropogenic emissions and cold air pools on urban to montane gradients of snowpack ion concentrations in the Wasatch Mountains, Utah. *Atmospheric Environment*. 2014, **98**(), 231-241. DOI: //doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.076. ISSN 1352-2310. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223101400689X>
- [20] LING, X., R. JAYARATNE a L. MORAWSKA. Air ion concentrations in various urban outdoor environments. *Atmospheric Environment*. 2010, **44**(18), 2186-2193. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.03.026. ISSN 13522310. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231010002335>
- [21] KOLARŽ, P. a Z. ČURGUZ. Air ions as indicators of short-term indoor radon variations. *Applied Radiation and Isotopes*. 2015, **99**, 179-185. DOI: 10.1016/j.apradiso.2015.03.001. ISSN 09698043. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0969804315000718>
- [22] DOLEJŠ, J., O. TOUFAR, J. KNÍŽEK a T. ADAMEC. *Certifikovaná metoda: Využití ionizace vzduchu v chovech hospodářských zvířat*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby Praha Uhřetěves, v.v.i., 2011. ISBN 978-80-7403-090-1. Dostupné také z: <https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2018/05/11192.pdf>
- [23] SKROMULIS, A., J. BREIDAKS a E. TEIRUMNIEKS. Effect of Atmospheric Pollution on Air Ion Concentration. *Energy Procedia*. 2017, **113**, 231-237. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.04.059. ISSN 18766102. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610217321823>
- [24] WU, C., G. LEE, S. YANG, K. YU a Ch. LOU. Influence of air humidity and the distance from the source on negative air ion concentration in indoor air. *Science of The Total*

- Environment*. 2006, **370**(1), 245-253, 270 s. DOI: [//doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.07.020](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.07.020). ISSN 0048-9697. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969706005602>
- [25] SVÁB, F. Measurements of small concentrations in closed rooms. *Medicor News*. 1974, , 43-45.
- [26] HAPL, Ladislav. *Elektroiontové mikroklima vnitřního obytného prostředí vybraných materiálně technických základů výstavby*. Praha, 1984, 111 s. Kandidátská disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Prof. Ing. Miloslav Jokl, DrSc.
- [27] KOLARŽ, P., J. VAUPOTIČ, I. KOBAL, P. UJIĆ, Z. STOJANOVSKA a Z. ŽUNIĆ. Thoron, radon and air ions spatial distribution in indoor air. *Journal of environmental radioactivity*. 2017, **173**(), 70-74. DOI: [//doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.11.006). ISSN 0265-931X. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X16305641>
- [28] Ing. Zdeněk Buřival - přednáška Fyzika iontových polí: Vliv atmosférické elektřiny na fyziologii a psychiku člověka. In: *Youtube: Kanál uživatele Petr Vytlačil* [online]. Praha: AVC CVUT, 2015 [cit. 2019-04-23].
- [29] OGUNGBE, A.S., O.H. AKINTOYE a B.A. IDOWU. Effects of Gaseous Ions on the Environment and Human Performance. *Trends in Applied Sciences Research*. 2011, **6**(2), 130-133. DOI: 10.3923/tasr.2011.130.133. ISSN 18193579. Dostupné také z: <http://www.scialert.net/abstract/?doi=tasr.2011.130.133>
- [30] MUDR. LAJČKOVÁ, CSc.,. Koncentrace atmosférických iontů v ovzduší klimatizovaných pracovišť. *VVI. Společnost pro techniku prostředí*, 2004, **2004**(1), 34-36. ISSN 1210-1389.
- [31] SITAR, J. Vzdušné ionty a naše zdraví. In: MARKOVÁ, E., ed. *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí: sborník referátů ze semináře*. Úpice: Hvězdárna v Úpici, 2006, s. 170 - 174. ISBN 80-86303-10-1.
- [32] ZHOU, Pei, Yi YANG, Gongsheng HUANG a Alvin LAI. Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow. *Building and Environment*. 2017, **127**, 204-210. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.11.006. ISSN 03601323. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132317305139>
- [33] DOLEJŠ, J., O. TOUFAR a J. KNÍŽEK. *Pozitivní působení ionizace vzduchu ve stáji na kvalitu mléka dojnic*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha 10 Uhřetěves, 2006, , 2. Dostupné také z: http://www.agris.cz/Content/files/main_files/75/153033/41_06.pdf
- [34] DOLEJŠ, J. *Studie snížení produkce amoniaku ionizací vzduchu při výkrmu prasat*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby Praha Uhřetěves, v.v.i., 2008. Dostupné také z: http://eagri.cz/public/web/file/32383/Studie_IONIZACE_MZe.doc
- [35] Vazba kyslíku na hemoglobin. *WikiSkripta: projekt 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy* [online]. ISSN: 1804-6517. b.r. [cit. 2019-03-12]. ISSN: 1804-6517. Dostupné z:

https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Vazba_kysl%C3%ADku_na_hemoglobin&oldid=418099

- [36] BENEŠOVÁ, Marika, Hana HAMPLOVÁ, Kateřina KNOTOVÁ, Pavlína LEFNEROVÁ, Ivana SÁČKOVÁ a Hana SATRAPOVÁ. *Odmaturuj z biologie*. Vyd. 1. Brno: Didaktis, 2003. ISBN 80-86285-67-7.
- [37] Všeobecná stavba autonómneho nervového systému. *WikiSkripta: projekt 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy* [online]. ISSN: 1804-6517. b.r. [cit. 2019-04-25]. ISSN: 1804-6517. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=V%C5%A1eobecn%C3%A1stavba_auton%C3%B3mneho_nervov%C3%A9ho_syst%C3%A9mu&oldid=390469
- [38] PEREZ, Vanessa, Dominik ALEXANDER a William BAILEY. Air ions and mood outcomes: a review and meta-analysis. *BMC Psychiatry*. 2013, **13**(1). DOI: 10.1186/1471-244X-13-29. ISSN 1471-244X. Dostupné také z: <http://bmcp psychiatry.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-244X-13-29>
- [39] LAJČÍKOVÁ, A. Měření ionizace vzduchu v Gruzii. *Vytápění, větrání, instalace*. Praha: STP, 2017, **26**(1), 47. ISSN 1210-1389.
- [40] LAZORKA, M. *Vyhodnocení vlastností vzdušných iontů vytvářených různými zdroji iontů*. Brno, 2013. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce J. Špinka.
- [41] Komplexní radonová informace 1:50 000: Radonový index. *Geologická mapa 1:50 000* [online]. Praha: Česká geologická služba, 2013 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/radon/>
- [42] *Počasi na Strahově: Počasi Silicon Hill* [online]. Praha: Silicon Hill, studentský klub ČVUT, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://weather.siliconhill.cz>
- [43] ROHLA, P. *Zichovec, okr. Kladno: Amatérská meteorologická stanice* [online]. Zichovec, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://meteo zichovec.cz/>
- [44] Archiv počasí. *In-pocasi.cz* [online]. Plzeň: InMeteo, 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/archiv/>