

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Bakalářská práce

Mikroklima v kabině strojvedoucího metra

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc

Autor: Jiří Haščyn

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jiří Haščyn

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Mikroklima v kabině strojvedoucího metra

Název anglicky

Microclimate in the cab of Metro driver

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnotit mikroklima v kabině strojvedoucího metra s ohledem na pohodu prostředí pro řidiče. Na základě poznatků z literatury i vlastních úvah a měření provést zhodnocení větrání, vytápění a klimatizace v kabinách strojvedoucího metra za různých provozních podmínek. V bakalářské práci uvést základní principy potřebných výpočtů, zvolit vhodnou metodiku měření potřebných parametrů a na základě vlastních výpočtů, měření a úvah navrhnout vhodná opatření a řešení pro dodržení předepsaných parametrů v praxi.

Metodika

Úvod

Cíl práce

Současný stav sledované problematiky

Metodika práce

Výsledky a diskuse

Závěr a doporučení

Seznam použitých zdrojů

Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu

Klíčová slova

Čistota vzduchu; kabina; mikroklima; pohoda prostředí; stanice metra

Doporučené zdroje informací

Časopisy: Vytápění, větrání, instalace. Klimatizace.

ČSN EN 14750-1 Železniční aplikace – Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla – Část 1: Parametry pohodlí. Prosinec 2006

ČSN EN 14750-2. Železniční aplikace – Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla – Část 2: Typové zkoušky. Prosinec 2006

ČSN EN 14813-1. Železniční aplikace – Klimatizace stanoviště strojvedoucího/řidiče – Část 1: Parametry pohodlí. Prosinec 2006

ČSN EN 14813-2. Železniční aplikace – Klimatizace stanoviště strojvedoucího/řidiče – Část 2: Typové zkoušky. Prosinec 2006

ČSN 28 1300 . Tramvajová vozidla – Technické požadavky a zkoušky. Červen 1998.

Nový, R. et al: Technika prostředí. ČVUT, Praha, 2000, 265 s.

Székyová, M.-Ferstl, K.-Nový, R.: Větrání a klimatizace. JAGA, Bratislava 2006, 359 s.

Treuová, L.-Počinková, M.: Vytápění. Computer press, Brno 2011. 151 s.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2019

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 15. 02. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Mikroklima v kabině strojvedoucího metra jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 5. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Pavlu Kicovi, DrSc., za poskytnutí měřící aparatury, za jeho podporu, a především za jeho pomoc při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat DP hl. m. Prahy za umožnění změření potřebných hodnot v kabině strojvedoucího metra a za jejich vstřícný přístup a také mému otci Pavlu Haščynovi, za jeho cenné rady a poznatky z praxe.

Mikroklima v kabině strojvedoucího metra

Abstrakt: Účelem práce je shromáždit poznatky o mikroklimatickém prostředí v kabině strojvedoucího metra. Kapitola „Současný stav sledované problematiky“ slouží k popisu základních faktorů ovlivňující mikroklima a jejich vliv na lidský organismus. Ke každému faktoru je uvedena příslušná norma, nebo zákon stanovující jejich limity v prostředí. Následná část pojednává o metodice měření jednotlivých mikroklimatických faktorů. Dále jsou popsány veškeré možnosti strojvedoucího jak může regulovat mikroklimatické prostředí v kabině soupravy metra typu M1. V následující části práce je charakterizována praktická část, ve které jsou analyzované naměřené hodnoty. Ty jsou nadále znázorněny v grafech. V předposlední části práce je popsán význam metra v Pražské městské hromadné dopravě a metro je zde porovnáno s autobusovou dopravou. V závěru jsou získané poznatky diskutovány.

Klíčová slova: čistota vzduchu, kabina, mikroklima, pohoda prostředí, stanice metra

Microclimate in the cab of Metro driver

Abstract: The purpose of this work is to gather knowledge about the microclimatic environment in the subway driver's cab. The chapter "Current state of the monitored issues" is used to describe the basic factors affecting the microclimate and their impact on the human body. Each factor is given an appropriate standard or law that sets their limits in the environment. The following part deals with the methodology of measuring individual microclimatic factors. Furthermore, all the possibilities of the driver how he can regulate the microclimatic environment in the cabin of the M1 type metro set are described. The following part of the work characterizes the practical part, in which the measured values are analysed. These are still shown in the graphs.

The penultimate part of the word expresses the importance of the metro in Prague public transport and it is compared with bus transport. In the end, the acquired knowledge is discussed.

Keywords: clean air, cabin, microclimate, comfortable environment, metro station

Obsah

1 Úvod	10
2 Cíl práce a metodika	11
2.1 Cíl práce.....	11
2.2 Metodika	11
3 Současný stav sledované problematiky	12
3.1.1 Subjektivní metoda.....	12
3.1.2 Objektivní metoda	13
3.2 Teplota	14
3.2.1 Výměna tepla.....	16
3.3 Vlhkost vzduchu	17
3.3.1 Absolutní vlhkost	18
3.3.2 Relativní vlhkost.....	18
3.3.3 Měrná vlhkost.....	18
3.4 Rychlost proudění vzduchu.....	19
3.5 Osvětlení	19
3.6 Hlučnost	19
3.7 Oxid uhličitý	20
4 Metodika měření	21
4.1 Měření teploty	22
4.1.1 Kulový teploměr	22
4.1.1.1 Výsledná teplota kulového teploměru.....	23
4.1.2 Střední radiační teplota	23
4.1.3 Operativní teplota	23
4.1.4 Povrchová teplota.....	24
4.2 Vlhkost vzduchu	24
4.3 Rychlost proudění vzduchu.....	25
4.4 Měření hluku.....	26
4.5 Měření osvětlení	26
5 Regulace mikroklimatu kabiny soupravy metra typu M1	27
5.1 Regulace ventilace	27
5.1.1 Rozmístění a možnosti nastavení vývodů ventilace.....	27

5.1.2	Regulace vytápění	28
5.1.3	Větrání bez aktivované ventilace	29
5.2	Osvětlení	29
6	Měření	29
6.1	Dynamické měření	31
6.1.1	Teplota	32
6.1.2	Oxid uhličitý	35
6.1.3	Vlhkost	37
6.1.4	Hluk	39
6.1.5	Osvětlení	41
7	Význam metra v Pražské dopravě	43
8	Závěr	45
9	Seznam použitých zdrojů	47
11	Přílohy.....	50

Seznam obrázků

Obrázek 1:	Oblast tepelné pohody a nepohody	18
Obrázek 2:	Vývody ventilace v prostoru pod řídicím pultem	27
Obrázek 3:	Ovládací panel pro ventilaci a vytápění u novějších výrobních sériích	28
Obrázek 4:	Levé dveře od kabiny strojvedoucího.....	29
Obrázek 5:	Stropní svítidla	29
Obrázek 6:	Rozložení měřicí aparatury v kabině	30

Seznam tabulek

Tabulka 1:	Třídy práce – výňatek z Tab. č. 1 NV 93/2012 Sb.	15
Tabulka 2:	Zátěž teplem - výňatek z Tab. č. 2 NV 93/2012 Sb.	15
Tabulka 3:	Závislost koeficientu A na rychlosti proudění vzduchu.....	24
Tabulka 4:	Přípustné chyby luxometrů, jasoměrů a jasových analyzátorů	26
Tabulka 5:	Srovnání a nahrazení kapacit metra s autobusy	43
Tabulka 6:	Porovnání nákladů na přepravu jednoho cestujícího	44

1 Úvod

Tato práce pojednává o mikroklimatu v kabině strojvedoucího metra. Správné mikroklima dokáže navozovat příjemné prostředí pro práci a tím zvyšovat výkonnost zaměstnanců a bezpečnost práce. V opačném případě dochází ke snížení výkonnosti a může hrozit i poškození zdraví. Prostřední metra je nejen svým mikroklimatem značně specifické. Práce v podzemí, a s tím související nedostatek denního světla, může mít neblahý vliv na lidskou psychiku a o to více. Uvážíme-li maximální kapacitu soupravy m1, tedy 1 240 lidí, je evidentní, že strojvedoucí zodpovídající za tyto lidské životy, musí být stále koncentrován na svou práci, a proto je důležité vytvoření takového prostředí, které napomáhá k udržení konstantního profesního výkonu.

V teoretické části práce jsou rozebrány zkoumané veličiny a jejich přípustné limity.

Aby bylo možné všechny vlivy na mikroklima v kabině ověřit, bude provedeno měření v jarním období, v této době se projevují rozdílné požadavky lidí na mikroklima. Ty zahrnují teplotu a vlhkost vzduchu, koncentraci oxidu uhličitého, hluk a osvětlení na pracovišti.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je zhodnocení mikroklimatu v kabině strojvedoucího metra. Dále pak vytvoření dostatečného teoretického podkladu, ze kterého bude vycházet následná praktická část. Na základě poznatků z literatury, předpisů a norem bude provedeno srovnání s údaji, které budou získané z dynamického měření soupravy metra typu M1. Toto srovnání bude zahrnovat vliv na pohodu, zdraví a vyhodnocení všech dostupných možností, kterými může sám strojvedoucí ovlivnit mikroklima, ve kterém se nachází.

2.2 Metodika

V kapitole „Současný stav sledované problematiky“ bude rozebráno, jaké metody hodnocení mikroklimatu mohou být aplikovány a jaké fyzikální veličiny lze měřit. Dále bude uvedeno, jak tyto veličiny mohou působit na lidský organismus a na základě hygienických norem, ČSN norem a vyhlášek jsou stanoveny limity, které musejí být dodrženy.

Kapitola „Metodika měření“ bude pojednávat o přístrojích, které mohou být využity k vyhodnocování mikroklimatu, dále jaké přesnosti přístrojů musí být dosaženo a jak musí být přístroje umístěny, aby veškerá měření proběhla v pořádku.

U kapitoly „Regulace mikroklimatu kabiny soupravy metra typu M1“ budou představeny veškeré možnosti, kterých může strojvedoucí využít k dosažení pohody. Kapitola „Měření“ rozebere veškerá uskutečněná měření. V kapitole „Význam metra v pražské dopravě“ bude uvedeno, jakou roli metro v Praze zastává a jaké ekonomické důsledky užití metra přináší. Závěrečná kapitola poslouží ke srovnání teoretické a praktické části této práce.

3 Současný stav sledované problematiky

Pojem mikroklima lze chápat jako prostředí, které je orientováno na vymezený prostor, jenž není nijak limitován svou rozlohou. Mikroklima tak může být vztaženo na lesy, města, budovy nebo i na menší prostory jako jsou kanceláře, či kabiny nejrůznější strojů. Mikroklima je ovlivňováno mnoha fyzikálními vlivy, které ve výsledku přímo působí na pracovní podmínky zaměstnanců.

K hodnocení mikroklimatických podmínek je nutné přistupovat ze dvou pohledů. A to z pohledu objektivního a subjektivního hodnocení. U subjektivního hodnocení je potřeba zohlednit osobní preference a názory osob, který se vyskytuje ve zkoumaném prostředí. U objektivního hodnocení jsou využity technické popisy vycházející z měření fyzikálních faktorů ovlivňující mikroklima. [14]

3.1.1 Subjektivní metoda

Na základě subjektivního vyhodnocení dochází k rozhodnutí, zda je potřeba provést objektivní hodnocení, případně jsou vybrána místa, u kterých je vhodné objektivní hodnocení provést. Pro potřeby hodnocení byla stanovena stupnice pojednávající o pocitech zkoumaných osob. Norma ČSN EN ISO 7730 stupnici stanovuje takto:

Pohoda: osoba se cítí neutrálně, to znamená, že nepocituje chlad a ani teplo a zároveň necítí kolem sebe proudění vzduchu. Okolní vzduch není ani suchý a ani vlhký. Oblečení je téměř necitelné.

Mírná pohoda: osoba pociťuje mírný chlad, nebo teplo. Proudění okolního vzduchu je již cítit. U některých osob se také setkáváme s tím, že k pocitu chladu připojují pocit vlhka a při pocitu tepla naopak pocit sucha. Oblečení je již citelné, ale nevyvolává potřebu jeho výměny.

Nepohoda: osoba cítí chlad, nebo horko. V případě horka s nastává mírné pocení. Proudící vzduch u osob v případě chladu bývá vnímán jako průvan, ale naopak

v případě tepla přináší příjemný pocit. Vzduch se, v návaznosti na relativní vlhkost, jeví v případě chladu jako vlhký a u horka jako suchý až dusný. Oblečení v chladu navazuje pocit, že je příliš lehké a u horka naopak pocitu těžkého. Je tak vyvolán pocit potřeby změny oděvu.

Značná nepohoda: u osob dochází k pocitu zimy, nebo horka. Pocit zimy bývá doprovázen třesem a u horka pocením. Proudící vzduch působí nepříjemně. V zimě i v horku přináší nadměrné ochlazování. Oblečení je vnímáno jako naprosto nevyhovující, protože ve spojitosti s relativní vlhkostí u zimy nastává pocit vlhka a u horka nepříjemného sucha a dusna.

U vyhodnocování subjektivních výstupů je nutné zohlednit, jaké procento lidí ze zkoumané oblasti pociťuje spokojenost a jaké procento naopak nespokojenost. Je tak nutné pro užití subjektivního hodnocení zajistit dostatečný počet osob, aby bylo možné provést odpovídající statistické hodnocení. Nejmenší počet osob je 20. Při vyhodnocování této metody je nutné také zahrnout, o jakou pracovní náplň se jedná nebo jaké panují mezilidské vztahy na pracovišti. [14]

3.1.2 Objektivní metoda

Pro aplikování této metody je potřeba provedení řady fyzikálních měření, jenž mají za úkol shromáždit podklady pro hodnocení všech veličin ovlivňující mikroklimatické podmínky. Veškeré naměřené údaje jsou posléze srovnávány s normami a hygienickými předpisy, nebo s výsledky subjektivní metody.

Aby tato metoda měla skutečnou váhu, je nutné znát jaká pracovní činnost ve zkoumaném prostředí probíhá a jaký oděv lidé v daném prostoru využívají. Na základě těchto poznatků bývá zpravidla hodnocena teplota vzduchu. [14]

Jednotlivé fyzikální vlivy mikroklimatu jsou rozebrány v následujících kapitolách.

3.2 Teplota

Základním aspektem mikroklimatu je teplota okolí, ve kterém se člověk nachází. Její regulací se dosahuje přívětivého prostředí, ve kterém člověk není tepelně zatěžován. Cílem optimálních teplotních podmínek je vytvoření takového prostředí, ve kterém člověk může uvolnit právě tolik tepla, kolik v něm vzniká během jeho aktivity. Při dosažení tohoto stavu dochází k tepelné pohodě. Tělesné teplo lidského organismu se pohybuje kolem 37 °C. [9] Důležitým aspektem tělesné teploty je její nerovnoměrné rozložení v rámci tělesného jádra (dutina břišní, hrudní a hlava) a tělesné slupky (kůže a končetiny). Teplota jádra je ve srovnání s teplotou tělesné slupky za normálních podmínek stálá. Může být ale přímo ovlivněna tělesnou slupkou. Protože při přehřátí tělesné slupky dochází k přenosu tepla do tělesného jádra. To samé platí v případě chladu. Člověk po dobu 4 hodin vydrží teplotu kolem 50 °C, nicméně s narůstající relativní vlhkostí tato doba klesá. [14] Dlouhodobé vychýlení teploty jádra nejen zvyšuje nároky na výměnu tepla, ale může způsobit i zdravotní problémy. [1] Těmi může být například zvýšená únava a neschopnost se soustředit, což může vést k závažným úrazům na pracovišti. Příznakem poruch zdraví je nevolnost, která může být spojena se zvracením, průjem a v některých případech i krvácení z nosu a kolaps. Opačným extrémem je chlad, který omezuje průtok krve na perifériích těla v důsledku snahy o zmenšení teplotních ztrát. Dochází k poklesu teploty jádra, což může mít za následek navýšení krevního tlaku, vyšší srdeční činnost a z toho vyplývající zvýšení spotřeby kyslíku. Při dlouhodobém vystavení lidského organismu extrémnímu chladu může nastat i smrt. [14]

Z důvodu zajištění vhodné pracovní teploty na pracovišti vzniklo vládní nařízení č. 361/2007, které rozděluje druhy práce do osmi tříd, u kterých je definované průměrné množství energetického výdeje (M) v brutto hodinách a ztráty tekutin pracovníka za osmihodinovou směnu viz tab. 1.

Tabulka 1: Třídy práce – výňatek z Tab. č. 1 NV 93/2012 Sb.

Třída práce	Druh práce	M [W.m ⁻²]
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů.	≤ 80
Ila	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla, a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní.	81 až 105
IIb	Práce spojená s řízením nákladního vozidla, traktoru, autobusu, trolejbusu, tramvaje a některých drážních vozidel a práce řidičů spojená s vykládkou a nakládkou. Převažující práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou – dělnice v potravinářské výrobě, mechanici, strojní opracování a montáž středně těžkých dílců, práce na ručním lisu. Práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg prodavači, lakýrníci, svařování, soustružení, strojové vrtání, dělník v ocelárně, valcír hutních materiálů, tažení nebo tlačení lehkých vozíků. Práce spojená s ruční manipulací s živým břemenem, práce zdravotní sestry nebo ošetřovatelky u lůžka.	106 až 130

Zdroj: 1 NV 93/2012 Sb. [3]

Práce strojvedoucího metra spadá do třídy práce Ila a na základě této skutečnosti je dále odvozena zátěž teplem viz Tab. 2. Tato tabulka pojednává o zátěži teplem při práci na nevenkovním pracovišti, kde teplota není udržována přirozeně, ale kombinovaně nebo nucenou ventilací s udržovanou teplotou jako technologickým požadavkem.

Tabulka 2: Zátěž teplem - výňatek z Tab. č. 2 NV 93/2012 Sb.

Třída práce	M [W.m ⁻²] (brutto)	t _{omin} nebo t _{gmin}	t _{omax} nebo t _{gmax}	V _a [m.s ⁻¹]
		[°C]	[°C]	
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2
Ila	81 až 105	18	26	
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3

Zdroj: Tab. č. 2 NV 93/2012 Sb. [3]

Z tab. 2 zjišťujeme, že optimální teplota v kabině by se měla pohybovat mezi 18 až 26 °C při rychlosti proudění vzduchu v rozmezí 0,01 až 0,2 m.s⁻¹. K dodržení těchto intervalů napomáhá fakt, že soupravy metra se díky podzemnímu provozu pohybují v poměrně teplotně stálém prostředí.

3.2.1 Výměna tepla

K výměně tepla dochází několika způsoby, které probíhají současně. Celková výměna tepla je popsána pomocí *rovnice tepelné bilance*, která zahrnuje výměnu tepla vedením, prouděním, sáláním, mokrou a suchou výměnu. Jednotlivé výměny jsou rozepsány níže.

$$M - w = C_{\text{res}} + E_{\text{res}} + K + C + R + E + S$$

Rov. 1: Rovnice tepelné bilance [1]

Kde: M = energetický výdej brutto [W.m⁻²]

w = účinnost práce [W.m⁻²]

C_{res} = výměna tepla v dýchacích cestách konvekcí [W.m⁻²]

E_{res} = výměna tepla v dýchacích cestách evaporací [W.m⁻²]

K = výměna tepla na kůži kondukcí [W.m⁻²]

C = výměna tepla na kůži konvekcí [W.m⁻²]

R = výměna tepla na kůži radiací [W.m⁻²]

E = výměna tepla na kůži evaporací [W.m⁻²]

S = teplo kumulované v těle (heat storage) [W.m⁻²]

- *Výměna tepla vedením*: tato výměna probíhá mezi člověkem a podložkou, na které se člověk nachází. Čím je styčná plocha mezi člověkem a podložkou větší, tím rychleji a účinněji dochází k odvádění nebo přivádění tepla mezi podložkou a lidským tělem. [1]

- *Výměna tepla prouděním:* velikost výměny tepla je dána rozdílem teplot na povrchu lidského těla, teplotou okolí a rychlostí proudícího nosného média (vzduch, nebo voda). [1]
- *Výměna tepla sáláním:* přenos tepla je zajištěn vyzařováním energie z okolních ploch. Tato tepelná výměna může probíhat i ve vakuu, jelikož teplo je vyzařováno do okolí jako elektromagnetické vlnění. Nevyžaduje ke zprostředkování přenosu látkové prostředí. Může tedy probíhat i ve vakuu. V praxi se s touto výměnou setkáváme např. v místnostech, kde se dlouhodobě netopí a nám se může zdát, že je v místnosti větší zima, než ve skutečnosti je. [1], [2]
- *Mokrý výměna tepla:* k přenosu tepla dochází na základě odpařování vody z povrchu. V případě člověka dochází k odpařování potu. Pouze odpařený pot má potenciál ochladit lidský organismus. Pot, jenž se neodpaří, svůj ochlazující účinek neposkytuje. [1]
- *Výměna tepla v dýchacích cestách konvekcí:* vdechnutý vzduch se prouděním v dýchacích cestách ohřívá na teplotu těla. Množství vydechovaného tepla je závislé na objemu vdechovaného a vydechovaného vzduchu a rozdílem teplot mezi teplotou těla a okolním prostředím. [1]
- *Výměna tepla v dýchacích cestách evaporací:* vdechnutý vzduch je odpařenou vlhkostí na sliznicích dýchacích cest nasycen na 100 %. Velikost tepelného toku se zvětšuje s rozdílem obsahu vodních par vdechovaného a vydechovaného vzduchu a s čím větší je minutová ventilace plic. [1]

3.3 Vlhkost vzduchu

Vlhkost mikroklimatického prostředí je ve velké míře ovlivněna vlhkostí okolí, osobami, které se ve zkoumaném prostředí vyskytují a technickým vybavením prostředí. Člověk vlhkost vnímá méně než teplotu, ale i přes to dokáže nepříznivě ovlivňovat jeho stav. [14]

3.3.1 Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost (ρ_p) představuje hmotnost páry [kg] v 1 m^3 . Lze tedy tento vztah chápat jako hustotu vodní páry při dané teplotě. [9]

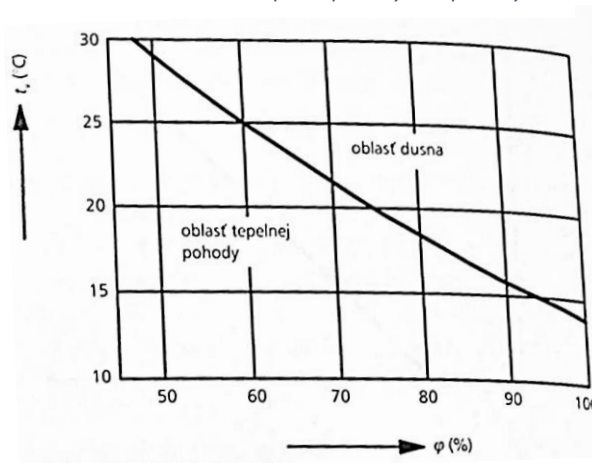
3.3.2 Relativní vlhkost

Relativní vlhkost (ϕ) vyjadřuje nasycenost vzduchu vodní parou. Lze ji definovat jako podíl hustoty vodní páry ve vzduchu a maximální hustoty (nasycení) vodní páry při stejné teplotě [9], výsledná hodnota je pak udávána v procentech.

Relativní vlhkost se nejčastěji využívá v technické praxi, protože s ní souvisí mechanické vlastnosti navlhavých látek nebo v případě hygienického hlediska k hodnocení tepelného stavu prostředí.

Bylo prokázáno, že při relativní vlhkosti pod 30 % dochází k vysušování sliznice dýchacích cest a ty jsou pak citlivější na zvýšený výskyt prachu. Naopak při relativní vlhkosti nad 60 % začíná docházet k omezování pocení, což značně ztěžuje termoregulaci lidského těla a tím se narušuje tepelná pohoda. [9] Na obrázku 1 je pak patrná hranice mezi oblastí tepelné pohody a nepohody.

Obrázek 1: Oblast tepelné pohody a nepohody



Zdroj: (Székelyová, 2006)

3.3.3 Měrná vlhkost

Měrná vlhkost (x) pojednává o vlhkosti pouze ve formě páry. Konkrétně vyjadřuje hmotnost vodní páry (kg) připadající na 1 kg suchého vzduchu. [9]

3.4 Rychlost proudění vzduchu

Tepelná pohoda je v neposlední řadě ovlivněna rychlostí vzduchu, která kolem člověka proudí. Při vyšších teplotách vyšší rychlost proudění vzduchu pomáhá v ochlazování a odpařování potu a tím zlepšuje pocit pohody. Naopak při nadměrném proudění, například zapnutá/zvýšená ventilace v horkých letních dnech, může odebrané teplo pokožku příliš ochlazovat a tím ji vysušovat. Naopak v chladném prostředí proudění vzduchu odvádí teplo a tím se tepelná pohoda narušuje.

Nepříznivě pak na lidský organismus působí nerovnoměrné rozložení proudícího vzduchu. Pokud vzduch proudí jen kolem malé části lidského těla, je tepelná pohoda této části narušena, což má za následek negativní dopad na celkovou (teplotní) pohodu.

Aby nedocházelo k narušení tepelné pohody a z toho vyplívajících zdravotních problémům, je obecně doporučováno, aby se v celoročním měřítku rychlost proudění vzduchu pohybovala v mezích $0,1\text{--}0,3\text{ ms}^{-1}$. [14] V případě kabiny metra je toto rozmezí stanoveno na $0,01\text{--}0,2\text{ ms}^{-1}$, tak jak je uvedeno v tabulce č. 2.

3.5 Osvětlení

Norma ČSN 28 1310 [4] stanovuje, že v prostoru stanoviště strojvedoucího metra musí být instalováno samostatné osvětlení, které je ovládáno nezávisle na ostatních světlech v soupravě. Dále norma praví, že osvětlení musí být nastavitelné ve dvou stupních intenzity, přičemž v úrovni řídicího pultu při nastaveném maximálním osvětlení musí být nejméně 60 lx. Světelný zdroj musí být umístěn tak, aby nedocházelo k jeho odleskům v čelním skle.

3.6 Hlučnost

Podstatou zvuku je mechanické kmitání pružného prostředí, které způsobuje zhušťování a zředňování molekul prostředí a tím dochází ke změně tlaku. Člověk je tyto

změny tlaku je schopen rozeznávat ve frekvenčním rozmezí 16 Hz – 20 kHz. Hlasitost je subjektivní veličina a k její definici se používá velikost akustického tlaku (L). Akustický tlak je relativní logaritmická veličina, jenž nese jednotku decibel [dB]. [9],[12]

Zvuky je možné dělit do tří skupin:

- *Infrazvukové vlny*, jejichž zdrojem mohou být motorová vozidla, bouře, ale i zemětřesení. Frekvenční rozsah je 0-16 Hz a u člověka mohou při delším vystavení způsobit kinetózu (mořskou nemoc), strach nebo ztrátu vědomí.
- *Slyšitelné zvuky* mají stejný zdroj a vliv na člověka jako infrazvukové vlny. Jediný rozdíl je ve frekvenčním rozsahu, který je 16-16 000 Hz.
- *Ultrazvukové vlny* mohou pocházet od živočichů, dálkových ovladačů nebo i od poplašných systémů. Tyto zvuky již mohou být skutečně nebezpečné, protože jsou pro lidské ucho neslyšitelné, ale i přes to působí na lidský organismus.

Ministerstvo zdravotnictví [13] uvádí, že působením hluku na člověka dochází k ovlivňování jeho psychiky a zdraví. Při dlouhodobém vystavení vysoké míry (nad 120 dB) hluku může dojít k trvalému poškození sluchu. Při více než 90 dB hrozí poškození sluchu a při dlouholetému vystavení 85 dB může nastat poškození vnitřního ucha. Mezi 60 až 65 dB je pravděpodobnost ovlivnění vegetativního nervového systému člověka.

Pro zachování bezpečného prostředí na pracovišti existuje pro metro norma ČSN 28 1310, která stanovuje míry akustického tlaku. Norma uvádí, že při stání vozidla nesmí hlučnost v kabině strojvedoucího překročit 72 dB a při rychlosti 60 km/h 74 dB. [4]

3.7 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý zastává hlavní pozici mezi škodlivými látkami v ovzduší nevýrobních prostor. Hlavním zdrojem oxidu uhličitého v uzavřeném prostoru, tedy kabina metra,

je člověkem vydechaný vzduch. Vydechaný vzduch při teplotě 34 až 36 °C obsahuje přibližně 4 % CO₂. Hygienické normy uvádějí, že při trvalém pobytu člověka v místnosti je maximální dovolená koncentrace CO₂ 0,15 obj %, což odpovídá 1000 ppm. Jedná se o takzvané Pettenkoferovo hygienické pravidlo. Toto pravidlo bylo odvozeno Maxem von Pettenkoferem, který prokázal, že hlavními metabolity jsou CO₂ a vodní pára. Při překročení výše zmíněné hodnoty koncentrace CO₂ se vzduch považuje za znehodnocený. [9]

Pro určování koncentrace oxidu uhličitého je využívána jednotka ppm (parts per milion – počet objemových jednotek plynu v milionu objemových jednotek vzduchu [3]), dále pak v mg·m⁻³ a také v procentech, kde 1000 ppm odpovídá 0,1 % CO₂ v ovzduší.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. upřesňuje přípustné expoziční limity za osmihodinovou směnu (PEL – 9 000 mg·m⁻³) a největší dovolenou koncentraci oxidu uhličitého v pracovním ovzduší, která nesmí být nikdy překročena (NPK-P = 45 000 mg·m⁻³). [9]

4 Metodika měření

Metodiku, která určuje přesné postupy měření a vyhodnocování fyzikálních veličin působících na pracovišti (např. pokyny pro měření teploty a její rozdíly, vlhkosti a proudění vzduchu na pracovišti a jiné), vydalo MZČR ve věstníku č. 8/2013 pod názvem „METODICKÝ NÁVOD PRO MĚŘENÍ A HODNOCENÍ MIKROKLIMATICKÝCH PODMÍNEK NA PRACOVIŠTI A VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ STAVEB“. [16]

Pro získání validních dat musí být dodrženo nejen správné metodiky, ale i správné manipulace s měřicími přístroji, jak uvádí jejich výrobce, a veškeré přístroje musejí být správně zkalibrovány. Dále pak musí být dodrženo správné umístění měřících přístrojů a jejich čidel. V případě měření mikroklimatu v kabině metra, tedy u osoby sedící, jsou určeny 3 úrovně. Pro osobu průměrného vzrůstu jsou stanoveny tyto úrovně: u kotníků (0,1 m), u břicha (0,6 m) a u hlavy (1,1 m). Poté je důležité

zhodnotit, o jaké prostředí se jedná. Tedy jestli je prostředí homogenní, či nehomogenní. Za homogenní prostředí je považováno takové prostředí, které v daném okamžiku měření mikroklimatu v doporučených úrovních nevykazuje odchylku od střední hodnoty menší než $\pm 5\%$. Dále pak proto, že strojvedoucí během výkonu své práce nemění často svou pracovní pozici, je kabina metra považována za homogenní prostředí a můžou se tak veškeré měřicí přístroje rozložit v úrovni břicha, konkrétně pak na řídicím pultu kabiny. [16]

4.1 Měření teploty

Pro měření teploty může být použito jakékoliv teplotní čidlo, které splňuje přesnost měření $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při měření musí být brán zřetel na tepelnou setrvačnost měřícího čidla. Je tedy zapotřebí omezit okolní vlivy a umožnit čidlům se aklimatizovat v měřeném prostředí.

Teplota vzduchu (t_a) se řadí mezi fyzikální veličiny a je tedy klasifikována jako vzduchotechnický údaj. Jestliže je měřené prostředí považováno za homogenní prostředí, jenž neobsahuje sálavý zdroj tepla a není zde ani vysoká rychlost proudění vzduchu, může posloužit k vyhodnocování vlivu tepelného prostředí na lidský organismus. Pro měření teploty je možné využít široké škály přístrojů a čidel, které jsou popsány v následujících kapitolách. [16]

4.1.1 Kulový teploměr

Tento druh měřícího přístroje je určen především pro dlouhodobé měření, z důvodu jeho podstaty provedení. Teploměr má tvar koule, která může mít průměr buď 0,1 m, nebo 0,15 m. Koule tvoří pouze obal, který je vyroben z mědi jejíž povrch je opatřen tepelně absorbující černou povrchovou úpravou. Ta může být tvořena černým plechem, případně černým polyuretanem. Uvnitř duté koule je umístěn rtuťový teploměr, nebo jiné teplotní čidlo. Teploměry Vernon nebo Vernon-Jokl vyžadují dlouhou ustalovací dobu, která je stanovena na 20-30 minut. [16]

4.1.1.1 Výsledná teplota kulového teploměru

Výsledná teplota kulového teploměru (t_g) [°C] patří mezi základní teplotní veličiny, které umožňují stanovení a hodnocení tepelné zátěže, tak jak praví nařízení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

4.1.2 Střední radiační teplota

Střední radiační teplota (\bar{t}_r) [°C] stanovuje množství tepla, které je sdíleno mezi sáláním a povrchem lidského těla spolu s plochami, které obklopují prostor.

K určení této teploty mohou být využity tyto následující metody:

Použití kulového teploměru:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,9 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

kde

t_g značí výslednou teplotu kulového teploměru o průměru 0,1 m [°C]

t_a značí teplotu vzduchu [°C]

v_a značí rychlost proudění vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

nebo ze vztahu

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

kde t_g značí výslednou teplotu kulového teploměru o průměru 0,15 m [°C]

4.1.3 Operativní teplota

Operativní teplota (t_o) je neměřitelná teplota a lze ji pouze vypočítat. Její výpočet zohledňuje teplotu uzavřeného černého prostoru, ve kterém by lidské tělo konvekcí i radiací sdílelo stejné množství tepla, jako by bylo ve skutečném, čili nehomogenním, prostředí. [16] Výpočet je poté následující:

$$t_o = \bar{t}_r + A (t_a - \bar{t}_r)$$

kde

t_a značí teplotu vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] – brána jako průměrná hodnota za stanovený časový interval

\bar{t}_r značí střední radiální teplotu [$^{\circ}\text{C}$] – brána jako průměrná hodnota za stanovený časový interval

A značí koeficient, který představuje funkci rychlosti proudění vzduchu, viz tab.

Tabulka 3: Závislost koeficientu A na rychlosti proudění vzduchu

V_a ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
A (-)	0,50	0,53	0,60	0,65	0,70	0,75

Zdroj: Věstník č.8/2013 [16]

4.1.4 Povrchová teplota

Povrchová teplota t_s pojednává o teplotě na povrchu těles. Která může být měřena buď kontaktně, nebo bezkontaktně. Měření v každém případě musí probíhat tak, aby bylo měřené tepelné pole co nejméně ovlivněno. V praxi se nejčastěji pro měření využívá přístroj infračerveně radiální.

Měření povrchové teploty je využíváno například k hodnocení teplot pevných materiálů, se kterými mohou pracovníci přijít do přímého styku. Případě u výpočtu teploty sálání dle normy ČSN EN ISO 7726. [16]

4.2 Vlhkost vzduchu

Pro měření vlhkosti vzduchu (rh) je sledováno kritérium relativní vlhkosti, jak již bylo zmíněno výše v kapitole 3.3.2. U všech měřících přístrojů je očekávána přesnost měření $\pm 5 \%$ v rozsahu 30-70 % relativní vlhkosti. Pro měření vlhkosti existuje celá řada přístrojů, některé z nich jsou uvedeny níže:

- *Psychrometry*: pro měření relativní vlhkosti je využita psychrometrická tabulka, případně diagram, kde se vychází ze změřené suché (t_a) a mokré (t_w) teploty nuceně větraného mokrého teploměru. Rozdíl teplot suché a mokré

teploty je pak využít k orientaci v tabulce, potažmo diagramu, ze kterých může být následně odečtena přibližná relativní vlhkost vzduchu.

- *Kapacitní vlhkoměry*: tento přístroj pracuje na principu převodu kolísavé elektrické kapacity čidla na hodnotu relativní vlhkosti. Tato čidla se vyznačují nízkou pořizovací cenou, svojí poměrně vysokou přesností, svojí tepelnou nezávislostí a nevadí jim kondenzace.
- *Hygrometry*: jsou založené na deformaci, nebo prodlužování organického materiálu v návaznosti na přijmutí vlhkosti z okolního prostředí. Hygroskopická vlastnost značí, jak daný materiál dokáže jímat a udržovat vlhkost. Látka, jenž touto schopností disponuje je označována jako hygroskopická. Dobrým příkladem může být lidský vlas nebo hedvábí. Díky své jednoduchosti a nenáročnosti patří tento druh přístrojů mezi nejstarší. Při měření pod bodem mrazu hygrometry vykazují vyšší přesnost měření než psychrometry. Jejich největší nevýhodou je potřeba regenerace před zahájením dalšího měření.

4.3 Rychlost proudění vzduchu

Při měření rychlosti proudění vzduchu (v_a) v prostoru je nutné zvolit vhodnou metodu, která umožňuje stanovení dostatečné přesnosti při rychlosti proudění vzduchu uzavřeného prostoru v rozmezí $0,02-0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Změřené údaje nemohou být vyhodnocovány jako okamžité, ale pouze jako jejich střední hodnota v delším časovém intervalu alespoň 1 minuty. Je to z důvodu značné nestálosti proudění vzduchu a jeho turbulentnímu chování. Proto je vhodné využít takových přístrojů, které disponují krátkou dobou ustálení. Pro indikaci směru proudění vzduchu je možné využít různé vyvíječe kouře. Norma ČSN EN ISO 7726 vyžaduje přesnost měření $\pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

4.4 Měření hluku

K měření hluku jsou využívány přístroje nazývané hlukoměry. Ty musí vyhovovat příslušným normám a podléhají řádné kalibraci. Hlukoměry měří nejen hlučnost prostředí, ale i frekvenční spektrum měřeného hluku. Aby přístroj mohl měřit i spektrum hluku, musí být opatřen příslušnými pásmovými filtry. Hlukoměry jsou dále vybaveny všesměrovým mikrofonem, který musí být opatřen buď ochranným pěnovým filtrem, nebo chlupatým povlakem, kterému se přezdívá „mrtvá kočka“. Tyto ochrany způsobují odstranění nechtěného šumu, který je způsoben proudícím vzduchem, dále pak chrání mikrofon před prachem a jinými nečistotami.

4.5 Měření osvětlení

Norma ČSN 36 0011-1 uvádí, za jakým účelem může být provedeno měření osvětlení v interiéru. Zde je pak nutné tuto normu kombinovat s příslušnou normou, která stanovuje jaký druh a míra osvětlení musí být pro konkrétní prostředí splněno. Dále se měření osvětlení využívá k hodnocení světelné pohody. Norma taktéž uvádí, jaké přístroje pro měření osvětlení mohou být použity a jaká je přípustná celková chyba v procentech. Viz tabulka 4.

Tabulka 4: Přípustné chyby luxometrů, jasoměrů a jasových analyzátorů

Přesnost měření	Přípustná celková chyba (%)	
	luxometry	Jasoměry a jasové analyzátoary
Přesné	±5	±7,5
Provozní	±10	±10
orientační	±15	±15

Zdroj: Norma ČSN 36 0011-1

Pro správnost měření je důležité správné umístění čidla. Umístění čidla je vždy blíže specifikováno v náležité normě, na základě které je měření uskutečňováno. Pro úplnost měření by měl být zohledněn původ měřeného světla. Zda se jedná o přímý svit, odraz nebo kombinaci.

5 Regulace mikroklimatu kabiny soupravy metra typu M1

Tato práce je zaměřena na specifika prostoru kabiny strojvedoucího pražského metra na lince C. Soupravy metra typu M1, jako jediné v celé historii pražského metra, disponují kabinou, která umožňuje regulaci ovzduší pouze pomocí přetlakové technologie. To znamená, že se čerstvý vzduch nasává z prostoru tunelu skrze filtry umístěné ve spodní části pod podlahou metra. Vzduch je dále ventilátorem vháněn skrze topnou spirálu do kabiny strojvedoucího.

5.1 Regulace ventilace

5.1.1 Rozmístění a možnosti nastavení vývodů ventilace

Na řídicím pultu a v jeho blízkém okolí je rozmístěno šest samostatně nastavitelných vývodů. Na řídicím pultu jsou umístěny dva vývody a pod pultem se nachází další čtyři. Všechny tyto vývody mají možnost nastavení směru proudu vzduchu (jak horizontální, tak i vertikální osy). Síly proudu vzduchu lze regulovat pouze u novějších výrobních sérií a v neposlední řadě je možné provést jejich plné otevření, nebo uzavření.

Dále se v prostoru kabiny nachází několik vývodů, které není možné odděleně nastavovat a slouží především k ofuku čelního skla.

Všechny vývody (separátně nastavitelné i nenastavitelné) jsou napojeny na společnou ventilační soustavu, která je regulována pomocí centrálního ovládání na levé stojnici řídicího pultu. Toto centrální ovládání se liší v závislosti na výrobní sérii souprav.

Obrázek 2: Vývody ventilace v prostoru pod řídicím pultem



Zdroj: Vlastní zpracování

Starší série má na přepínači čtyři polohy:

- Dvě polohy pro přívody ohřátého vzduchu:
 - 50 %
 - 100 %.
- Jedna poloha pro vypnutý přívod vzduchu:
 - 0
- A druhou polohu pro možnost zapnuté ventilace bez aktivace ohřevu vzduchu:
 - V

Novější série souprav disponuje šesti polohami přepínače (viz obrázek 3):

- Dvě polohy pro přívody ohřátého vzduchu:
 - 50 %
 - 100 %
- Jedna poloha pro vypnutý přívod vzduchu:
 - 0
- Dvě polohy pro možnost stupňování zapnuté ventilace bez aktivace ohřevu vzduchu:
 - V1
 - V2

5.1.2 Regulace vytápění

K regulaci teploty v kabině slouží ovládací panel, který je umístěn na stejném místě, jako je ovládání ventilace. Regulace je řešena pomocí potenciometru, jenž umožňuje nastavit teplotu v rozmezí od 18 °C do 28 °C. Jak můžeme tuto skutečnost vidět na obrázku 3. Přesnější nastavení požadované teploty toto řešení neumožňuje a strojvedoucí je tak odkázán pouze na své subjektivní vnímání teploty.

Obrázek 3: Ovládací panel pro ventilaci a vytápění u novějších výrobních sériích



Zdroj: Vlastní zpracování

5.1.3 Větrání bez aktivované ventilace

Soupravy typu M1 nemají žádná otevíratelná okénka, a tak je jedinou možností pro rychlou výměnu vzduchu v prostoru kabiny otevření bočních dveří kabiny. Viz obrázek 5. Tato možnost není příliš doporučována a není považována za oficiální postup, protože vzduch neprochází žádnou filtrací, a tudíž se zvyšuje prašnost v prostoru kabiny. Navíc dojde k navýšení hluku v kabině, a nastává tak narušení pracovního prostředí. V praxi se tak můžeme setkat s tím, že někteří strojvedoucí si rychle vymění vzduch v kabině ve stanici během odbavování cestujících. Tím ovšem dojde k narušení oddělení strojvedoucího od cestujících, což není z bezpečnostních důvodů žádoucí.

Obrázek 4: Levé dveře od kabiny strojvedoucího



Zdroj: Vlastní zpracování

5.2 Osvětlení

K regulaci osvětlení kabiny má strojvedoucí k dispozici na pultu třípolohový přepínač, který umožňuje přepínání mezi plným, částečným, nebo vypnutým osvětlením kabiny. Světelný zdroj pak představují dvě stropní svítidla, která jsou umístěna tak, aby nevytvářela oslňující odraz v čelním skle. Na obrázku 5 můžeme tato stropní svítidla vidět ve stavu tlumeného osvětlení.

Obrázek 5: Stropní svítidla



Zdroj: Vlastní zpracování

6 Měření

Měření proběhlo v soupravě bez cestujících, přítomny byly pouze 3 osoby. Konkrétně strojvedoucí, má osoba a dozorující osoba mající na starost celkovou bezpečnost. Pro měření byl stanoven termín 24. 4. 2021 v čase od 8:30 do 12:30. Abych se mohl seznámit s měřicí aparaturou, byla mi pro tento termín v dostatečném předstihu tato měřicí aparatura zapůjčena.

Měření probíhalo v traťovém úseku Kačerov-Letňany. Tento traťový úsek byl stanoven z důvodu možnosti delšího odstavení soupravy na obratišti bez narušení běžného provozu ostatních souprav, které zajišťují běžnou přepravu cestujících. Díky tomu jsem nebyl při měření v časové tísní a bylo tak možné nejen bezpečně manipulovat s měřicí aparaturou, ale bylo i více času na diskusi se strojvedoucím a já tak mohl okamžitě po dokončení jednotlivých měření zaznamenávat subjektivní postřehy strojvedoucího. Všechna měření probíhala v čelní kabině ve směru jízdy a během jízdy v kabině byl pouze strojvedoucí. Neobsazená kabina se během měření obsazené kabiny mohla například přehřívát, nebo naopak vyvětrat a díky tomu měření probíhalo mnohem plynuleji. Pro měření byla poskytnuta souprava 4131-4132, která je vybavena staršími kabinami.

Obrázek 6: Rozložení měřicí aparatury v kabině



V době měření byly následující meteorologické podmínky [17]:

- Teplota: 3,2-12 °C
- Vlhkost vzduchu: 65-43 %
- Srážky: 0 mm

Veškerá měřicí aparatura byla rozmístěna tak, aby nebyla narušena bezpečnost provozu. To znamená, žádný vodič a ani přístroj nesměl jakýmkoliv způsobem omezovat výhled strojvedoucího a zároveň znemožňovat ovládání řídicích prvků soupravy. Díky zpětné vazbě můžu konstatovat, že tento cíl byl splněn až na jedinou výjimku, a to na kabel vedoucí od síťového adaptéru napájení. Ten byl zapojen do zásuvky na 230V, která je umístěna za strojvedoucím na levém panelu. Pro lepší orientaci je přiložen obrázek 6.

6.1 Dynamické měření

Měření bylo rozděleno na 4 dílčí měření. Podrobné rozebrání naměřených hodnot je v následujících kapitolách. Veškeré sledované hodnoty byly měřeny v minutovém intervalu. Přestože celé měření proběhlo bez přítomnosti cestujících, souprava vždy zastavila ve stanici na dobu přibližně 20 sekund. Což je čas, který by odpovídal reálné době, kterou by souprava stála ve stanici během odbavování cestujících. Během jízdy si autor pečlivě zaznamenával veškeré dění kolem a uvnitř soupravy.

Jednotlivá měření byla rozdělena v těchto časech a úsecích tratě:

Zdroj: Vlastní zpracování, 2021

- Měření č.1: Kačerov (9:19) – Letňany (9:50)
- Měření č.2: Letňany (10:01) – Kačerov (10:31)
- Měření č.3: Kačerov (10:48) – Letňany (11:18)
- Měření č.4: Letňany (11:38) – depo Kačerov (12:12)

Naměřené hodnoty jsou pro zpřehlednění zpracovány do grafů. Osa času je pak převedena na délku měření v minutách. Čas 0 min vždy značí počátek měření, což je čas, kdy nám bylo od dispečera povoleno opustit obratiště a vjet na trať. Každé měření bylo navrženo pro sledování dílčích aspektů, jejich vlivů, vzájemného působení a ve výsledku ovlivnění mikroklimatu v kabině.

6.1.1 Teplota

Senzor pro měření teploty byl umístěn na pravé části pultu ve výšce odpovídající prostoru, ve kterém operuje strojvůdce a zároveň měřící čidlo přímo neovlivňuje svým dechem.

- *Měření č.1* je považováno jako výchozí. Před vyjetím z depa byla kabina vyvětrána v prostoru depa Kačerov. Následně byla v čase 0 až 15 minut aktivována pouze ventilace bez vyhřívání. Od 15. minuty do konce 1. jízdy kabina již nebyla nijak ventilována. Teplota nijak razantně nekolísala a její průměrná hodnota se udržela kolem 17,58 °C.
- U *měření č.2* bylo sledováno, jak je kabina schopna udržet naakumulované teplo. Během měření č.1 bylo v kabině zapnuto vytápění a za 32 minut se prostor kabiny vytopil na 28,96 °C. Těsně před zahájení měření č.2 bylo topení vypnuto a naopak byla aktivována ventilace. Teplota pak následně vzrostla na 30,25 °C. To bylo způsobeno tím, že souprava ještě krátký čas stála na obratové koleji a vyčkávala na povolení k výjezdu na trať. Během této doby zjevně docházelo k chladnutí topného tělesa pro vytápění a tak vycházející vzduch z ventilace byl stále ohříván. Teplota tedy mohla dál narůstat. Po vyjetí na trať teplota začala klesat. Dalším nezanedbatelným ochlazujícím prvkem je čelní sklo soupravy, které zabírá většinu čelní plochy metra. Vzduch proudící kolem čelního skla má velkou plochu, ze které může odebírat teplo. Aby bylo možné ověřit, kolik tepla uniká právě skrze čelní sklo, musela by do měření být přidána i termální kamera. V průběhu měření pak teplota plynule klesala a k dalšímu navýšení teploty došlo až na obratišti u stanice Kačerov. Na tomto obratišti je část soupravy mimo podzemí a stojí plně vystavena slunečnímu záření. Většina řídicího pultu je vyrobena z materiálu černé barvy a proto stihlo sluneční záření řídicí pult vyhřát. Čidlo sice bylo umístěno v těsné blízkosti pultu, ale snímací část čidla byla nasměrována mimo pult, i přes to došlo k jeho zahřátí.

Po dokončení tohoto měření strojvedoucí konstatoval, že nejpříjemněji se cítil při teplotě kolem 24 °C, což je střední hodnota nastavitelného teplotního rozsahu, která je stanovena v normě ČSN EN 14813-1. [10] K vychladnutí prostoru kabiny na tuto teplotu bylo potřeba 12 minut.

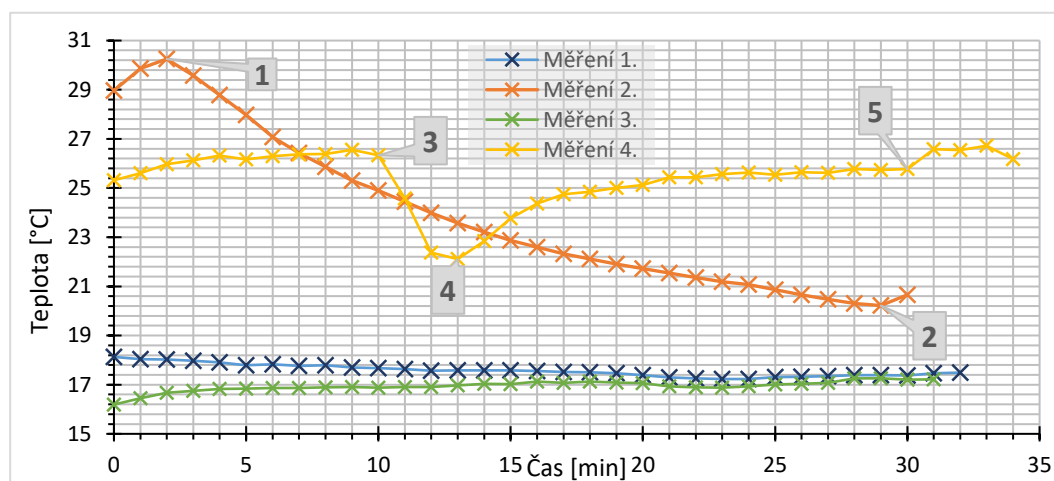
- *Měření č.3* bylo koncipováno pro sledování teploty v kabině po vyvětrání a v průběhu celého měření bez zapnutí ventilace a topení. Strojvedoucí měl po dokončení měření č. 2 za úkol nastavit vytápění v tuto chvíli již neměřené kabiny tak, aby se teplota, co nevíce přiblížila 24 °C. K vyhodnocení tohoto požadavku dojde u analýzy měření č. 4.

Po vyvětrání byla teplota v kabině 16,19 °C a následně se pozvolna zvyšovala do 18. minuty, kde dosáhla 17,13 °C. Dále byly tendence teploty stejné, jako u měření č. 1. Konečná teplota byla 17,22 °C, což je pouze o 0,24 °C méně, než v případě měření č. 1, u kterého byla 15 minut zapnutá pouze ventilace. Z tohoto měření je zjevné, že strojvedoucí svou přítomností dokázal navýšit teplotu pouze o 0,94 °C. Dále uvádím poznatek, že mi strojvedoucí na konci tohoto měření sdělil, že při teplotě kolem 17 °C pociťoval stejné pohodlí, jako u měření č.2 při teplotě 24 °C, i když při minulém měření pociťoval chlad již od 22 °C. Je tak vidět, jak silně dokáže ovlivnit vnímání teploty vysoká počáteční teplota.

- U *měření č.4* bylo zjištěno, že kvůli nemožnosti přímé indikace natavené teploty u topení, byla výsledná teplota při zahájení měření 25,32 °C. Abychom zjistili, na jakou teplotu se strojvedoucímu podařilo vytápění nastavit, bylo vytápění po dalších 10 minut zapnuté. Teplota se nakonec ustálila u hodnoty 26,33 °C. Se strojvedoucím jsem byl předem domluvený, že v traťovém úseku Kobylisy – Nádraží Holešovice (v grafu časový interval 10.–13. minuta měření) otevře jedny dveře od kabiny a nechá je v tomto úseku otevřené. Zároveň bylo těsně před vyvětráním za pomoci dveří vypnuto vytápění, a tak tomu zůstalo po zbytek celého měření. Tato situace bude zkoumána i z pohledu dalších sledovaných veličin mikroklimatu, které jsou popsány v následujících kapitolách. Vyvětráním pomocí dveří za jízdy teplota

v kabině prudce klesla až na 22,37 °C a následně po zavření dveří teplota klesla až na 22,11 °C. Teplota v kabině posléze začala opět stoupat, ale již nedosáhla teploty v kabině před otevřením dveří. Teplota se pak ustálila na hodnotě kolem 25,5 °C. Měření č.4 bylo ukončeno až při odstavení soupravy v depu. Souprava se tedy v časovém úseku měření 30.–35. minuty pohybovala v nadzemním prostředí a stejně jako u měření č.2 došlo díky slunečnímu záření a černé barvě přístrojového pultu k navýšení teploty. Protože tato kabina byla v průběhu všech předešlých měření vždy vytápěna, můžeme pozorovat, že i přes prudké vyvětrání pomocí dveří od kabiny strojvedoucího si kabina dokáže dobře udržovat stálou teplotu a tím přispívá k celkové teplotní pohodě strojvedoucího. Je ovšem nutné konstatovat fakt, že kabina metra M1 není určena k tomuto druhu větrání.

Graf č. 1: Průběhy teplot pro jednotlivá měření



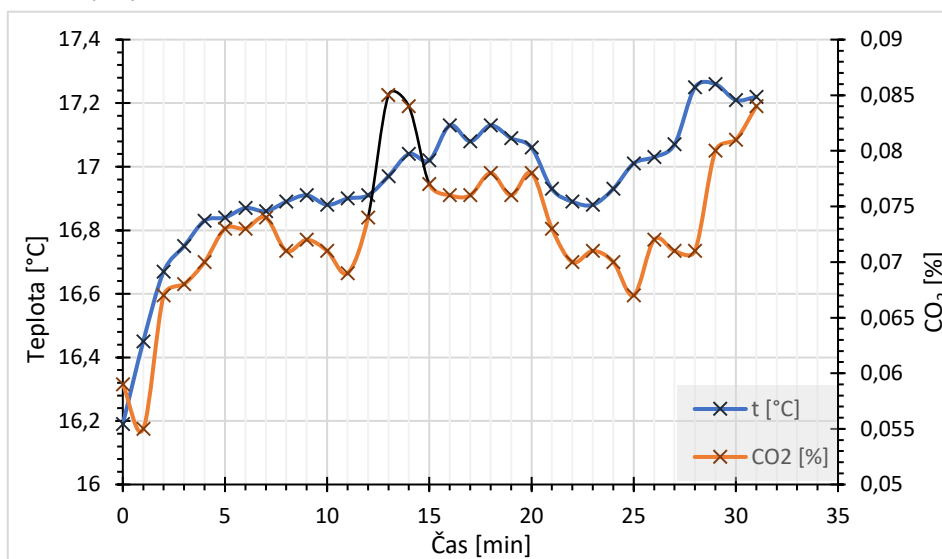
Významné body měření:

- 1 – Nejvyšší dosažená teplota v kabině (30,25 °C), která byla dosažena po více než 30 minutách vytápění.
- 2 – Nejnižší teplota v kabině dosažená vlivem samovolného ochlazování bez aktivní ventilace.
- 3 – Prudké vyvětrání za pomoci otevření dveří kabiny strojvedoucího po opuštění stanice metra Kobylisy.
- 4 – Nejnižší dosažená teplota po prudkém vyvětrání skrze dveře po projetí úseku Kobylisy – Nádraží Holešovice.
- 5 – Konečná teplota dosažená radiací tepla z vyhřátého prostředí kabiny.

6.1.2 Oxid uhličitý

Na základě naměřených hodnot bylo možné sledovat, že změřená koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) do značné míry souvisí s teplotou vzduchu. Při narůstající teplotě vzduchu v kabině nastává i nárůst koncentrace CO_2 a při poklesu teploty klesá i koncentrace CO_2 . Toto zjištění lze dobře demonstrovat na grafu č.2, ve kterém je vynesena změřená teplota vzduchu a koncentrace CO_2 v kabině při měření č. 3. Tento vzájemný vztah je způsobený tím, že CO_2 je těžší než vzduch, a proto se drží při zemi. V autorova měření na úrovni řídicího pultu, na kterém byl umístěn i senzor pro měření koncentrace CO_2 . S narůstající teplotou se plyn roztahuje a tím mění i svůj objem. Díky tomu se mění koncentrace CO_2 .

Graf č. 2: Vliv teploty na koncentraci CO_2



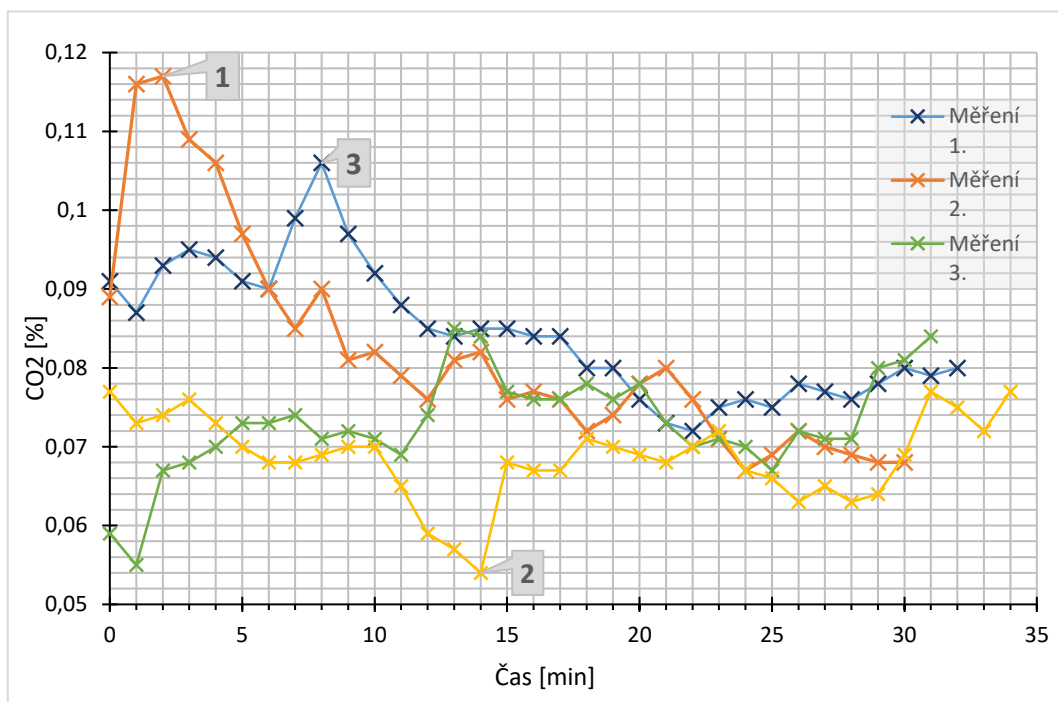
Poznámka ke grafu – černě zvýrazněná oblast grafu pro CO_2 způsobena změnou polohy strojvedoucího vůči řídicímu pultu.

- Měření č.1 opět slouží jako výchozí. Podmínky během měření jsou totožné s popisem uvedeným u měření teplot. V čase mezi 6. – 10. minutou měření je v grafu č.4 vidět značný nárůst koncentrace CO_2 , který byl způsoben strojvedoucím, který si v tuto dobu přisedl blíže k pultu a tím ovlivnil změřené hodnoty. Od 15. minuty po vypnutí ventilace můžeme sledovat pokles koncentrace CO_2 . Průměrná hodnota CO_2

byla 0,084 % a se svou průměrnou odchylkou 0,007 % bylo ze všech měření CO₂ toto měření nejstabilnější

- *Měření č.2* popis podmínek během měření je opět totožný s popisem u měření teplot. Po vypnutí vytápění a následném vyčkávání na povolení k opuštění obratové koleje dosáhlo CO₂ hodnoty 0,117 %, což je nejvyšší dosažená hodnota ze všech provedených měření. Následný pokles CO₂ je výrazně ze začátku strmější než pokles teploty a to až do 11. minuty měření, kde koncentrace CO₂ dosáhla hodnoty 0,079 %. Dále CO₂ klesalo až do konce měření na hodnotu 0,068 %.
- *Měření č.3* má taktéž shodující se popis podmínek měření uvedený u měření teplot. I přestože toto měření nebylo koncipované na měření CO₂, je na tomto měření vidět, že změna teploty ovlivňuje koncentraci CO₂. Tak jak je uvedeno na začátku vyhodnocování naměřených hodnot CO₂.
- *Měření č.4* je stejně jako v předešlých měření popsáno u měření tepla. Při tomto měření bylo sledováno, do jaké míry může být ovlivněno CO₂ větráním za pomoci otevření dveří během jízdy. Před zahájením větrání za pomoci dveří byla hodnota CO₂ v čase 10 min 0,07 % Na rozdíl od měření teploty se CO₂ rychle navrátila na téměř stejnou hodnotu, která byla před vyvětráním. Z grafu č.3 je skokové navýšení patrné v čase měření od 14. – 15. minuty, což je čas, když již 2–3 minuty byly dveře zavřené. I přes to že teplota od 13. minuty začala narůstat, CO₂ ve stejném čase mělo stále klesající tendenci, a to až do 14. minuty. Tyto rozdílné tendence teploty a CO₂ nasvědčují tomu, že takto masivní výměna vzduchu v kabině dokázala pouze dočasně snížit hodnotu CO₂. Je tak zjevné, že i když je větrání pomocí dveří krátkodobě účinné, tak se během 2 minut se dokáže vrátit na téměř stejnou hodnotu.

Graf č. 3: Průběh koncentrace CO₂ pro jednotlivá měření



Významné body měření:

1 – Nejvyšší dosažená koncentrace CO₂ v kabině (0,117 %), která byla dosažena po více než 30 minutách vytápění.

2 – Nejnižší koncentrace CO₂ v kabině dosažená po vyvětrání kabiny pomocí dveří.

3 – Strojvedoucí si sedl blíže k řídicímu pultu.

6.1.3 Vlhkost

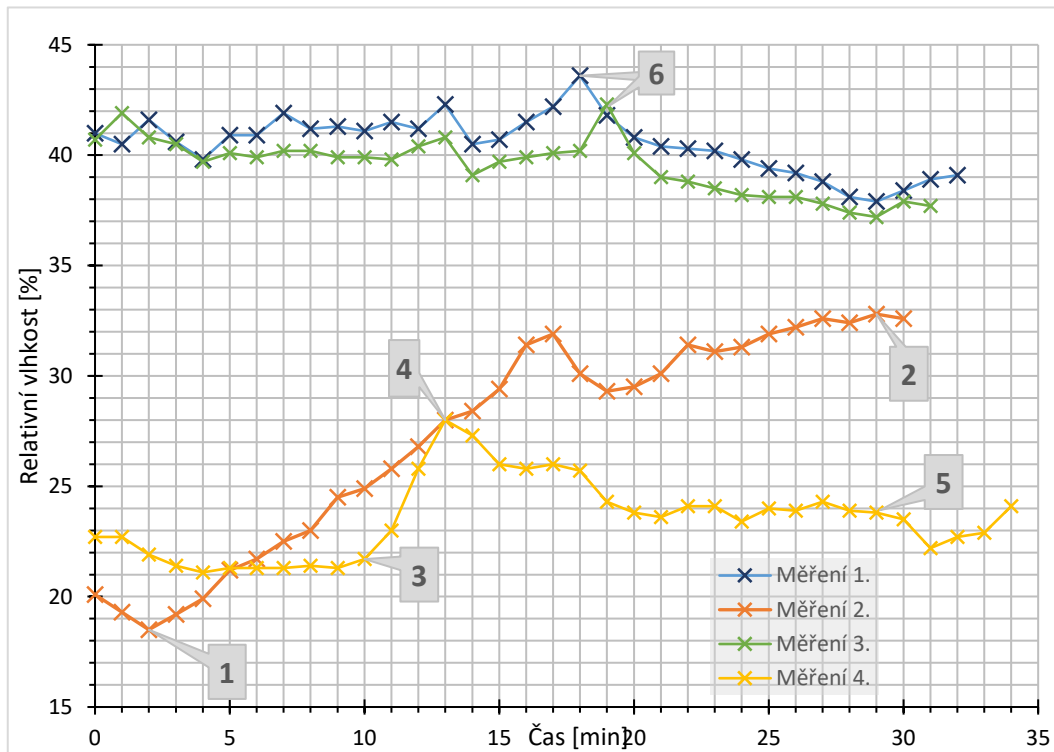
Pro měření vlhkosti sloužilo kombinované čidlo, které měřilo i teplotu. Jeho umístění bylo na pravé části řídicího pultu ve výšce hrudníku strojvedoucího. Veškeré podmínky během všech měření jsou totožné s podkapitolou 6.1.1.

• Výjimečně si dovoluji sloučit analýzu 1. a 3. měření. Obě měření probíhala ve stejném traťovém úseku (Kačerov–Letňany). Jediné rozdíly v měření byly, že u 1. měření byla kabina vyvětrána v prostoru depa. A v případě měření 3. byla kabina vyvětrána na obrátové koleji u stanice Kačerov, která je částečně venkovní. I přesto je výchozí vlhkost srovnatelná. U obou měření je zjevné, že v čase 18. a 19. minutě měření souprava zastavila ve stanici Nádraží Holešovice. V tomto čase u měření 1.

vlhkost dosáhla 43,6% a u měření 3. 42,3 %. Tato stanice je poměrně blízko řeky Vltavy. Je tedy možné, že do stanice proniká vlhkost vznikající nad vodní plochou řeky. Následující stanice ve směru jízdy je od Vltavy značně dál a je i výše umístěna. Zde pak vlhkost dosáhla u 1. měření 40,3 % a u 3. měření 39 %. Je tedy možné sledovat klesající tendenci vlhkosti s navyšující se vzdáleností od řeky Vltavy. V době stání soupravy ve stanici Nádraží Holešovice byla u obou měření ventilace vypnuta, teplota se nijak nezvyšovala, viz graf č.1, a tak se jako jediná možnost průniku vlhkosti do prostoru kabiny jeví dveřní prostor, případně netěsnost uzavřených vývodů ventilace. Těsnost dveří a ventilace autor nemohl nijak ověřit. Průměrná vlhkost obou měření je 40,03%, což je spodní hranice doporučené vlhkosti prostředí. [11]

- U *Měření č. 2* se projevila vysoká teplota, která způsobila vysoušení vzduchu na 18,5 %, což znamená, že v porovnání vůči výchozímu měření 1. a 3. tato hodnota dosáhla pouze 45 %. S klesající teplotou se kabina přestala vysušovat a vlhkost opět začala narůstat až do 17. minuty měření, kde následně vlivem dočasného navýšení teploty vlhkost opět poklesla. Průměrná vlhkost u tohoto měření vychází na 27,22 %, což znamená, že v kabině došlo k přesušení vzduchu.
- *Měření č. 4* ukázalo, že v době, kdy byly otevřeny dveře kabiny do tunelu, vlhkost prudce vystoupala až na 28 %. Před otevřením dveří byla vlhkost v kabině 21,3 %. Po následném uzavření dveří vlhkost opět začala klesat navzdory tomu, že již nebylo zapnuté topení a ani ventilace. Na konci měření při návratu soupravy do depa vlhkost opět začala narůstat a lze předpokládat, že pokud by měření pokračovalo dále, výsledná vlhkost se opět navrátila k hodnotě změřené na začátku měření 1 a 3.

Graf č. 4: Průběh relativní vlhkosti pro jednotlivá měření



Významné body měření:

- 1 – Nejvyšší dosažená vlhkost v kabině (18,5 %), která byla dosažena po více než 30 minutách vytápění. Tato hodnota je o více než 20 % doporučenou spodní hranicí relativní vlhkosti.
- 2 – Nejnižší koncentrace CO₂ v kabině dosažená po vyvětrání kabiny pomocí dveří.
- 3 – Počáteční vlhkost při otevření dveří do tunelu.
- 4 – Vlhkost po uzavření dveří.
- 5 – Ustálená vlhkost bez aktivní ventilace po vyvětrání pomocí dveří.
- 6 – Nárůst vlhkosti při zastavení ve stanici Nádraží Holešovice.

6.1.4 Hluk

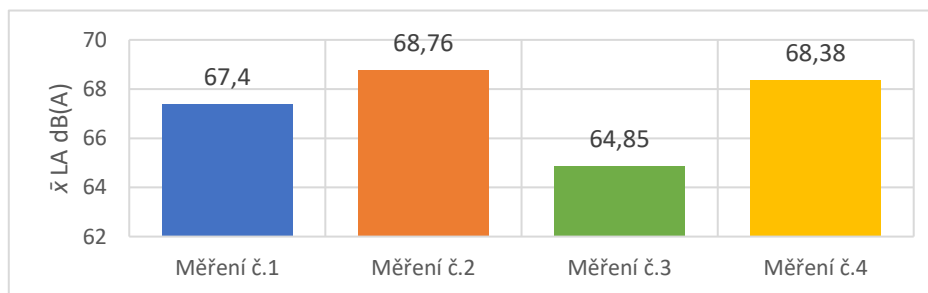
Pro měření hluku byl využit zvukoměr UNITEST 93411, který byl umístěn na levém boku řídicího pultu v přibližné výši hrudníku strojvedoucího viz obrázek 5. Zvukoměr byl připojen k datovému zapisovači, který změřené hodnoty ukládal. Protože při měření hluku bylo nastaveno snímání hodnot v intervalu 1 minuty, jsou v grafu č. 5 vyneseny pouze průměrné hodnoty hluku. Za 1 minutu souprava může absolvovat zastavení, nebo rozjezd ze stanice, může se i přemístit z jedné stanice do druhé

(vzdálenost mezi stanicemi Hlavní nádraží a Muzeum je pouze 425 m, což je nejkratší úsek celé linky C).

Pouze u měření č. 4 je vytvořen obdobný graf, tak jak tomu bylo u předchozích rozborů, a to z důvodu podrobnější analýzy nestandardního větrání pomocí dveří.

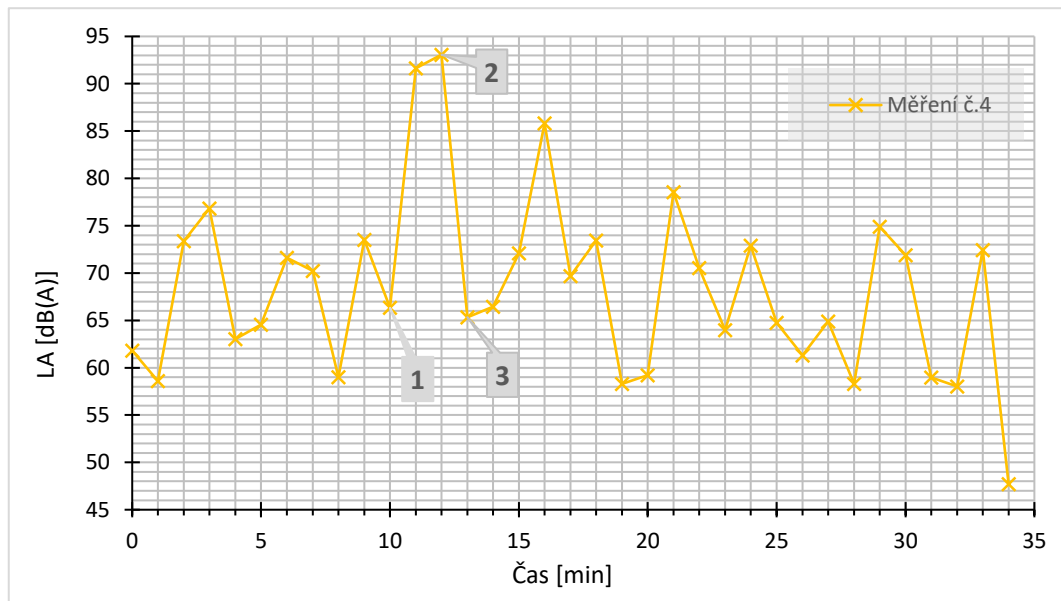
- Při porovnání *měření č. 1 a č. 3* je patrný rozdíl mezi jízdou bez a jízdou se zapnutou ventilací. 15 minut zapnuté ventilace má za důsledek navýšení průměrné hlučnosti o 2,55 dB. U *měření č.2* můžeme vidět, že ventilace, která byla aktivována v průběhu celého měření, má za důsledek nejvyšší průměrnou hodnotu hluku.

Graf č. 5: Průměrné hodnoty hluku pro jednotlivá měření



- *Měření č.4* obsahuje 3 minuty jízdy s otevřenými dveřmi, které je vidět na grafu č. 6 v čase 10. – 12. minutě měření. Otevření dveří mělo za následek nárůst hluku až na 93,07 dB, což je srovnatelný hluk, jako kdybychom stály venku a nechaly soupravu kolem sebe projet. Je také dobré dodat, že tato vysoká hodnota již může způsobovat poškození sluchu. Hluk v kabině při měření č.2, nepřesáhl ve stejném traťovém úseku 71 dB. Můžeme tak sledovat, že otevření jedné dveří má za následek zvýšení hlučnosti v kabině o 22,07 dB. Dále můžeme pozorovat, že ve 34. minutě měření, souprava byla již navracena v depě a právě v tomto místě vlivem tichého prostředí a malé rychlosti při předešlém odstupu soupravy do depa, byla naměřena nejnižší hodnota hluku 47,71 dB.

Graf č. 6: Průběh hluku během měření č.4



Významné body měření:

- 1 – Vyjetí soupravy ze stanice.
- 2 – Maximální naměřený hluk v kabině při rychlosti kolem 78 km/h.
- 3 – Stání soupravy ve stanici Nádraží Holešovice.

6.1.5 Osvětlení

Pro měření osvětlení bylo využito sondy Luxsonde FLA613, která byla u všech měření umístěna na horní části řídicího pultu. To je vidět na obrázku 6. Toto umístění tak umožňovalo měření světla pocházejícího ze stropních svítidel a zároveň vnikající světlo do kabiny. I přes to se u každého měření několikrát vyskytlo nulové osvětlení, které lze vyhodnotit jako chybu měření. Jako příklad autor uvádí měření č. 3, kde ve 13. minutě měření souprava stála ve stanici Florenc a je tak zjevné, že do kabiny muselo vnikat světlo ze stanice. Měření č. 3 bude následně rozebráno do větších detailů, protože bylo koncipované především pro měření právě této veličiny.

- *Měření č. 3* probíhal tak, že při jízdě v tunelu bylo osvětlení kabiny vždy zapnuto na maximální možnou hladinu, čili plné svícení. Při vjezdu do stanice strojvedoucí osvětlení vždy vypnul. Tento postup byl stanoven z důvodu zkoumání do jaké míry může být dosaženo co nejvyrovnanějšího osvětlení kabiny.

Průměrné osvětlení (bez započtení extrémů) se tak pohybovalo kolem 38 lx. Při započtení i extrémních hodnot se průměr zvyšuje až na 73,44 lx. 1. extrém je stanice Vyšehrad (čas měření 8. minuta). Tato stanice je z větší části umístěna v úrovni terénu a její stěny jsou prosklené. Tudíž do stanice může vnikat venkovní světlo. V případě měření č.3 byla měřená kabina ve směru na Letňany, to znamená, že kabina v době měření byla v prostoru stanice, který je lehce nad úrovní terénem, a tak naměřená hodnota byla o něco vyšší, než kdyby byla změřena kabina na opačné straně soupravy. Osvětlení v kabině tedy bylo vyšší (64 lx), než bylo naměřeno u jiných stanic, které jsou celé pod úrovní terénu. Během měření autor seděl v prostoru pro cestující, který byl v průběhu všech měření zhasnut. Díky tomu jsem si mohl lépe všimnout, že přibližně 25 m před vjezdem do stanice ve směru od Letňan jsou na pravé stěně tunelu umístěny zapnutá světla. I když autor byl v prostoru, který neměl výhled přes čelní sklo, autor tak může konstatovat, že tento úsek pro mě působil velice příjemně, protože přechod ze tmy tunelu do denního světla nebyl tak prudký. V opačném směru je část stanice pod povrchem a je tak docíleno obdobného efektu, i když v tunelu nejsou umístěna žádná zapnutá světla.

2. extrém je stanice Střížkov. Tato stanice je sice pod povrchem, ale její strop je značně vysoký a stěny jsou prosklené. V této stanici bylo naměřeno největší osvětlení, které dosáhlo 1 243 lx, což je téměř stejná úroveň osvětlení, jako když se souprava při měření č. 4 vracela zpět do depa, kde bylo naměřeno až 14 883 lx. Nicméně stejně jako v případě stanice Vyšehrad, je i stanice Střížkov v obou směrech tunelu vybaven osvětlením, které má za úkol zjemnit prudký nárůst osvětlení v kabině.

Při zpětném rozboru tohoto měření si autor dovolí konstatovat, že v případě opakovaného měření při zachování stejných podmínek by bylo vhodnější zmenšit interval zapisování naměřených hodnot. Tím by se zvětšila výpovědní hodnota měření. Ale i při intervalu jedné minuty můžeme z tohoto měření zjistit hodně informací.

7 Význam metra v Pražské dopravě

V Pražské dopravě zastává metro páteřní roli. Úkolem metra je převážet cestující na větší vzdálenosti a následným přestupem cestujících na povrchovou dopravu tím ulevovat pozemní dopravě. V roce 2019 Pražské metro přepravilo 37,57 % cestujících z celkového počtu 1 172 529 000 cestujících. [5]. Kdybychom uvažovali o nahrazení přepravní kapacity jedné soupravy metra autobusy, bylo by potřeba dvanáct SOR NB 12 nebo necelých osm autobusů SOR NB 18 viz tabulka 5.

Tabulka 5: Srovnání a nahrazení kapacit metra s autobusy

Dopravní prostředek	Přepravní kapacita	Potřebný počet autobusů
SOR NB 12	103 [5]	12,04
SOR NB 18	162 [6]	7,65
Metro M1	1240 [7]	

Jako další ukazatel efektivity přepravy metra poslouží přepočtení nákladů za energii na přepravu jednoho cestujícího. Metro v roce 2019 přepravilo 440 489 000 cestujících a autobusy 360 821 000 cestujících. [5] Z výroční zprávy dopravního podniku hlavního města Prahy pro rok 2019 se dočteme, že za autobusová doprava spotřebovala 29 644 000 litrů nafty. Výroční zpráva již neuvádí, kolik přesně bylo zapláceno pouze za naftu. K dispozici je pouze částka, která zahrnuje nejen naftu, ale i jiné provozní kapaliny. Toto číslo je pak ve výši 733 192 000 Kč. Po přepočtení ceny na 1 litr nafty dojdeme k částce 24,73 Kč (toto číslo nepředstavuje skutečnou cenu, protože je ovlivněna cenami ostatních provozních kapalin, u kterých nelze určit a ani jinak získat skutečné ceny). U metra je uvedeno, že bylo spotřebováno 118 570 000 kWh trakční energie, po rozpočítání celkové částky zaplacené za trakční energie spotřebované všemi elektrickými trakcemi, dojdeme k zaplacené částce ve výši 298 447 951,83 Kč. Což znamená, že za 1 kWh bylo zapláceno 0,43 Kč. Po zpracování těchto údajů je z tabulky 6 zřejmé, že metro je levnější o 1,4 Kč za jednoho cestujícího. Tomuto výsledku nejvíce napomáhá fakt, že metro na rozdíl od autobusů disponuje

rekuperační technologií, která dokáže vracet energii při brždění zpět do sítě. Tato technologie funguje na principu zpětné přeměny kinetické energie na energii elektrickou. Tudíž jestliže jedna souprava brzdí, může tak vyrovnávat zvýšený odběr jiné rozjíždějící se soupravy, nebo ji vracet zpět do sítě. U autobusů využívající spalovací motory s touto možností nemůžeme nijak uvažovat.

Tabulka 6: Porovnání nákladů na přepravu jednoho cestujícího

	Počet cestujících [v tis.]	Náklady za energii [v tis. Kč]	Náklady na 1 cestujícího [Kč]
Metro	440 489	278 552,05	0,63
Autobusy	360 821	298 447,95	2,03

Z pohledu cestujících metro také sehrává důležitou roli. Za běžných podmínek je cestující schopen pomocí metra překonat úsek Háje – Letňany dle jízdního řádu za 37 minut. Do tohoto času již nemusíme uvažovat žádné případné zpoždění. Jestliže bychom tuto trasu chtěli absolvovat pomocí autobusové linky č. 136, potřebovali bychom dle jízdního řádu 62 minut, což je téměř dvakrát tolik času. Navíc je nutné uvažovat fakt, že během cesty autobusem může dojít ke zpoždění vlivem hustoty provozu. K nahrazování přepravní kapacity dochází během oprav trati metra. V takových případech bývají zřizovány takzvané náhradní autobusové linky, které jsou v případě linky metra C nazývány XC. Tyto linky přesně kopírují jízdní trasu metra v přerušném úseku. Takovéto přerušení provozu metra značně zvyšuje diskomfort cestujících a výrazně prodlužuje jízdní dobu cestujících.

8 Závěr

Prostředí, ve kterém se metro pohybuje je z podstaty podzemního prostoru poměrně stálé. A to jak z tepelného, tak i vlhkostního ohledu. Na celé trati je pouze málo míst, které dokážou výrazněji ovlivňovat prostředí mikroklimatu v kabině.

Vybavení kabiny soupravy typu M1 nedisponuje žádnou technologií, která by dokázala automaticky regulovat teplotu, nebo strojvedoucímu alespoň zobrazovala nastavenou požadovanou teplotu. Strojvedoucí je tak odkázán pouze na jeho subjektivní vnímání teploty a jeho manuální ovládání. Dále bylo zjištěno, že i když na ovládacím pultu teploty je zobrazeno, že teplota může být regulována v rozmezí 18–28 °C i přes to bylo dosaženo teploty 30,25 °C. S tím je spjato další zjištění, že když měl strojvedoucí nastavit teplotu v kabině na 24 °C, reálně se mu podařilo nastavit 26,55 °C. Ovládání vzduchotechniky sice plně vyhovuje normou předepsaným vlastnostem, ale může narušit míru komfortu, protože při delším pobytu v kabině musí strojvedoucí manuálně regulovat teplotu.

Jestliže z nějakého důvodu potřebuje strojvedoucí rychle vyvětrat, musí se spolehnout pouze na ventilaci. Větrání pomocí dveří sice umožňuje tíženou rychlou výměnu vzduchu, ale dojde tím k narušení odhlučnění kabiny. Při plné rychlosti míra hluku během takového větrání převyšuje 90 dB. Takovýto hluk již může při dlouhodobějším vystavení lidského organismu způsobit zdravotní komplikace. Větrání pomocí dveří není považováno za oficiální způsob větrání, a tak je toto zjištění spíše informativního charakteru.

Po vyhodnocení hluku ze všech měření lze konstatovat, že kabina po stránce trvalé zvukové zátěži vyhovuje stanoveným limitům pro pracovní prostředí. Při plné rychlosti soupravy je hlučnost v kabině kolem 76 dB.

Strojvedoucí může být ve výkonu bez přestávky až 2,5 h, to může mít za následek značný nárůst únavy. K redukci únavy napomáhá zjištění, že ani u jednoho měření

nebyla překročena doporučená hranice 0,15 % CO₂. K této hranici jsme se během měření přiblížili pouze při přetopení kabiny, ale i tak hladina CO₂ byla více než 3 % pod maximální doporučenou úrovní.

Autorovo očekávání ohledně vysoké vlhkosti v prostorách tunelu, a tudíž i kabiny strojvedoucího se nenaplnily. Bez jakéhokoliv ovlivnění vlhkost v kabině nikdy nepřesáhla 44 % relativní vlhkosti. Prostředí kabiny je poměrně stálé a pomocí vzduchotechniky lze poměrně dobře redukovat vlhkost i na méně než 20 %. Takovéto vlhkosti bylo opět dosaženo za extrémních teplotních podmínek, jež by za běžného provozu nejspíše nevznikly.

U světelných podmínek panujících v prostorách metra autor očekával poměrně stálé prostředí, tak jak tomu bylo i u ostatních parametrů mikroklimatu. Toto očekávání se naplnilo pouze částečně. Většina běžných stanic má shodné světelné podmínky, ale u stanic, které jsou z velké části prosklené byl skokový nárůst osvětlení poměrně překvapivý. Zejména u stanice Střížkov, kde osvětlení bylo téměř shodné, jako když byla souprava na zcela otevřeném prostranství depa Kačerov. Nicméně tyto stanice mohou pro strojvedoucího přinášet i pozitivní dopad na psychiku. Přírodní světlo je mnohem příjemnější, než světlo umělé, které pochází třeba ze zářivek.

Na závěr by autor chtěl uvést, že tato práce plně naplnila mé cíle týkající se pracovních podmínek v tak atypickém prostředí, jako je podzemí metra a to jak v úrovni teoretické, týkající se norem, předpisů, nařízeních a všech sledovaných veličin. Tak i po stránce praktické. Veškeré změřené hodnoty byly zpracovány a poznatky diskutovány.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] JIRÁK, Zdeněk a Zuzana MATHAUSEROVÁ. Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích [online]. Praha, 2013 [cit. 2021.02.20]. Dostupné z: <http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/index.html>
- [2] BĚLOHLÁVEK, Jiří. Vliv okolní teploty na zátěžové parametry a jejich dynamiku [online]. Praha, 2014 [cit. 2021.03.09]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/69258/BPTX_2013_2_11130_0_349142_0_150023.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, 2. lékařská fakulta. MUDr. Michal Procházka
- [3] 93/2012 Sb. Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zd.... Zákony pro lidi - Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2021.03.15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-93/zneni-20120401>
- [4] ČSN 28 1310: Vozy metra pro přepravu cestujících – Základní technické požadavky a zkoušky. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [5] DPP v datech | Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost. Cestující | Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost [online]. Copyright © 2021 Dopravní podnik hlavního města Prahy, a.s. [cit. 2021.04.30]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/spolecnost/o-spolecnosti/dpp-v-datech>
- [6] SOR NB 12. Úvod [online], [cit. 2021.04.30]. Dostupné z: <http://strategieprojekty.dpp.cz/vozy/autobusy/technicke-udaje-vozidel/sor-nb-12>
- [7] SOR NBH 18. Úvod [online],] [cit. 2021.04.30]. Dostupné z: <http://strategieprojekty.dpp.cz/vozy/autobusy/technicke-udaje-vozidel/sor-nbh-18>
- [8] REJDAL, Tomáš. Souprava M1 [online]. Praha, 2005 [cit. 2021.04.30]. Dostupné z: <https://metroweb.cz/metro/M1/M1.htm>

- [9] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN:80-8076-037-3.
- [10] ČSN EN 14813-1+A1: Železniční aplikace – Klimatizace stanoviště strojvedoucího/řidiče – Část 1: Parametry pohodlí. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [11] Relativní vlhkost | Flair. | Flair [online], [cit. 2021.05.02]. Dostupné z: <https://flair.cz/relativni-vlhkost>
- [12] Co je to hluk a jak se měří, SZÚ. SZÚ [online]. Copyright © 2007 [cit. 2021.05.09]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/co-je-to-hluk-a-jak-se-meri>
- [13] Nepříznivé účinky hluku na člověka – Ministerstvo zdravotnictví. Ministerstvo zdravotnictví [online]. Praha, 2015 [cit. 2021.05.09]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/nepriznive-ucinky-hluku-na-cloveka/>
- [14] Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť, SZÚ. SZÚ [online]. Copyright © 2007 [cit. 2021.05.10]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikroklimaticke-podminky-vnitriho-prostredi-pracovist>
- [15] Stanovení střední radiační teploty (I), TZB-info. TZB-info [online]. Chrudim: Protronix s.r.o., 2006 [cit. 2021.05.10]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3072-stanoveni-stredni-radiacni-teploty-i>
- [16] Věstník č. 8/2013 – Ministerstvo zdravotnictví. Ministerstvo zdravotnictví [online]. [cit. 2021.05.10]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/vestnik/vestnik-c-8-2013/>
- [17] Počasí - předpověď počasí, aktuální informace, In-počasí [online]. [cit. 2021.05.14]. Dostupné z: https://www.in-pocasi.cz/archiv/praha-libus/?detailed_typ=teplota&historie=2021-04-24&detailed_usek=24#daily_graph

11 Přílohy

Příloha 1: Změřené hodnoty teplot ze všech měření

Čas [min]	t	t	t	t
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4
0	18,13	28,96	16,19	25,32
1	18,04	29,86	16,45	25,60
2	18,02	30,25	16,67	25,97
3	17,97	29,58	16,75	26,13
4	17,91	28,78	16,83	26,32
5	17,79	27,97	16,84	26,17
6	17,83	27,08	16,87	26,29
7	17,77	26,42	16,86	26,37
8	17,79	25,86	16,89	26,39
9	17,70	25,31	16,91	26,55
10	17,67	24,90	16,88	26,33
11	17,64	24,44	16,90	24,57
12	17,57	23,99	16,91	22,37
13	17,58	23,57	16,97	22,11
14	17,58	23,21	17,04	22,84
15	17,58	22,87	17,02	23,77
16	17,56	22,60	17,13	24,37
17	17,52	22,32	17,08	24,75
18	17,51	22,12	17,13	24,85
19	17,47	21,90	17,09	25,01
20	17,39	21,73	17,06	25,12
21	17,29	21,54	16,93	25,43
22	17,26	21,36	16,89	25,43
23	17,23	21,19	16,88	25,57
24	17,23	21,07	16,93	25,63
25	17,31	20,86	17,01	25,54
26	17,32	20,65	17,03	25,64
27	17,35	20,47	17,07	25,62
28	17,39	20,31	17,25	25,78
29	17,39	20,22	17,26	25,73
30	17,38	20,66	17,21	25,77
31	17,46		17,22	26,58
32	17,49			26,54
33				26,72
34				26,18

Příloha 2: Změřené hodnoty CO₂ ze všech měření

Čas [min]	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂
	[%]	[%]	[%]	[%]
	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4
0	0,091	0,089	0,059	0,077
1	0,087	0,116	0,055	0,073
2	0,093	0,117	0,067	0,074
3	0,095	0,109	0,068	0,076
4	0,094	0,106	0,070	0,073
5	0,091	0,097	0,073	0,070
6	0,090	0,090	0,073	0,068
7	0,099	0,085	0,074	0,068
8	0,106	0,090	0,071	0,069
9	0,097	0,081	0,072	0,070
10	0,092	0,082	0,071	0,070
11	0,088	0,079	0,069	0,065
12	0,085	0,076	0,074	0,059
13	0,084	0,081	0,085	0,057
14	0,085	0,082	0,084	0,054
15	0,085	0,076	0,077	0,068
16	0,084	0,077	0,076	0,067
17	0,084	0,076	0,076	0,067
18	0,080	0,072	0,078	0,071
19	0,080	0,074	0,076	0,070
20	0,076	0,078	0,078	0,069
21	0,073	0,080	0,073	0,068
22	0,072	0,076	0,070	0,070
23	0,075	0,071	0,071	0,072
24	0,076	0,067	0,070	0,067
25	0,075	0,069	0,067	0,066
26	0,078	0,072	0,072	0,063
27	0,077	0,070	0,071	0,065
28	0,076	0,069	0,071	0,063
29	0,078	0,068	0,080	0,064
30	0,080	0,068	0,081	0,069
31	0,079		0,084	0,077
32	0,080			0,075
33				0,072
34				0,077

Příloha 3: Změřené hodnoty relativní vlhkosti ze všech měření

Čas [min]	RV	RV	RV	RV
	[%]	[%]	[%]	[%]
	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4
0	41,0	20,1	40,7	22,7
1	40,5	19,3	41,9	22,7
2	41,6	18,5	40,8	21,9
3	40,6	19,2	40,5	21,4
4	39,8	19,9	39,7	21,1
5	40,9	21,2	40,1	21,3
6	40,9	21,7	39,9	21,3
7	41,9	22,5	40,2	21,3
8	41,2	23,0	40,2	21,4
9	41,3	24,5	39,9	21,3
10	41,1	24,9	39,9	21,7
11	41,5	25,8	39,8	23,0
12	41,2	26,8	40,4	25,8
13	42,3	28,0	40,8	28,0
14	40,5	28,4	39,1	27,3
15	40,7	29,4	39,7	26,0
16	41,5	31,4	39,9	25,8
17	42,2	31,9	40,1	26,0
18	43,6	30,1	40,2	25,7
19	41,8	29,3	42,3	24,3
20	40,8	29,5	40,1	23,8
21	40,4	30,1	39,0	23,6
22	40,3	31,4	38,8	24,1
23	40,2	31,1	38,5	24,1
24	39,8	31,3	38,2	23,4
25	39,4	31,9	38,1	24,0
26	39,2	32,2	38,1	23,9
27	38,8	32,6	37,8	24,3
28	38,1	32,4	37,4	23,9
29	37,9	32,8	37,2	23,8
30	38,4	32,6	37,9	23,5
31	38,9		37,7	22,2
32	39,1			22,7
33				22,9
34				24,1

Příloha 4: Změřené hodnoty hluku ze všech měření

Čas [min]	L _A	L _A	L _A	L _A
	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4
0	23,56	65,43	59,44	61,80
1	23,57	68,03	49,70	58,59
2	26,27	76,76	76,57	73,39
3	26,36	58,66	49,56	76,81
4	26,40	77,29	73,78	63,02
5	25,89	58,54	65,35	64,55
6	25,71	76,74	57,86	71,63
7	75,34	58,55	74,30	70,23
8	62,68	73,93	56,75	59,02
9	75,27	59,13	74,70	73,50
10	58,83	71,64	50,54	66,33
11	75,82	76,76	70,66	91,65
12	66,02	65,95	63,38	93,07
13	71,51	69,26	48,85	65,34
14	52,17	71,54	69,89	66,46
15	78,34	75,06	64,83	72,09
16	52,07	68,58	66,05	85,83
17	79,57	76,35	73,51	69,69
18	51,38	60,83	54,73	73,45
19	78,05	60,80	78,65	58,28
20	78,30	80,87	77,48	59,21
21	49,21	64,29	54,13	78,55
22	78,75	75,07	76,52	70,52
23	49,02	68,11	49,29	63,99
24	78,36	63,92	79,76	72,91
25	50,24	73,73	61,85	64,75
26	74,71	65,86	75,02	61,31
27	75,74	68,64	49,15	64,90
28	79,41	75,86	77,91	58,31
29	63,23	58,21	62,06	74,89
30	63,16	67,30	68,13	71,90
31	71,59		64,88	58,97
32	63,53			58,03
33				72,43
34				47,71

Příloha 5: Změřené hodnoty osvětlení ze všech měření

čas [min]	E	E	E	E
	[lx]	[lx]	[lx]	[lx]
	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4
0	23	5	42	18
1	8	63	6	58
2	-	-	39	-
3	19	29	17	-
4	-	-	38	28
5	3	258	38	1 114
6	43	-	38	-
7	-	34	38	2
8	12	-	64	32
9	-	36	38	-
10	27	-	26	32
11	18	-	38	-
12	24	36	32	-
13	-	-	25	31
14	23	-	-	32
15	-	-	36	-
16	17	24	15	-
17	-	-	36	-
18	15	31	13	-
19	-	27	36	27
20	-	-	36	21
21	26	25	39	-
22	-	-	36	-
23	36	-	34	16
24	-	49	36	-
25	217	-	1 243	36
26	-	-	36	28
27	18	17	15	-
28	-	-	36	24
29	40	6	74	-
30	66		79	15
31	27		71	14883
32	15			14670
33				14625
34				360