

Česká zemědělská univerzita v Praze

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Bc. Marek HONCŮ

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Mikroklima v kabině strojvedoucího metra

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Autor práce: Bc. Marek Honců

PRAHA 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bc. Marek Honců

Silniční a městská automobilová doprava

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

- 1 Úvod
- 2 Cíl práce
- 3 Metodika práce
- 4 Současný stav sledované problematiky
- 5 Vlastní řešení
- 6 Výsledky a diskuse
- 7 Závěr a doporučení
- 8 Seznam použitých zdrojů
- 9 Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu

Klíčová slova

Klimatizace, pohoda prostředí, škodliviny, teplota, větrání, vlhkost vzduchu

Doporučené zdroje informací

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

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

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 18. 1. 2017

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2017

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Mikroklima v kabině strojvedoucího metra vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce prof. Ing. Pavlu Kicovi, DrSc., za podporu a pomoc při zpracování této bakalářské práce a dále svému zaměstnavateli DP hl. m. Prahy za umožnění odměření potřebných hodnot v kabině metra.

Mikroklima v kabině strojvedoucího metra

Abstrakt: Cílem této práce bylo shromáždit poznatky o mikroklimatických podmínkách na stanovišti strojvedoucího metra a zhodnotit jejich vliv na práci a zdraví strojvedoucích. V první části práce jsou obecně rozebrány jednotlivé složky mikroklimatu, uvedeny příslušné normy a zákony vztahující se k dané problematice a nastíněn vliv prostředí na lidské zdraví. Dále je zde zpracována metodika měření jednotlivých mikroklimatických veličin. Následuje úsek obsahující informace o jednotlivých druzích vozů metra používaných v Praze a možnostech ovlivňování mikroklimatu v jejich kabinách pro strojvedoucí. Podrobněji je zde probrána souprava typu 81-71M „rekonstrukce“, na které probíhala i praktická část práce. V té jsou graficky zpracována a analyzována data získaná měřeními v kabině strojvedoucího přímo na trati metra A. V závěru práce jsou získané poznatky diskutovány.

Klíčová slova: koncentrace CO₂, metro, pohoda prostředí

Microclimate in the cab of Metro driver

Summary: The goal of this thesis is to collect the available information in the microclimate of a Metro driver cab and evaluate their effects on the drivers' work performance and health. The first part presents different aspects of the microclimate, lists the laws and norms relevant to the issue and outlines environment's influence on human health. Furthermore, it deals with the methods of measuring the individual values of the microclimate. Next there is a part with the information on different metro train types in use in Prague and what the possibilities of influencing the microclimate in the cabs respective trains are. This part analyzes in detail the train type 81-71M "refitted", which was also used for the practical part of the thesis. The practical part provides a graphic representation and analysis of the data from the measurements in the cab of a train riding a line A. The conclusion discusses the findings.

Key words: CO₂ concentration, metro, workplace wellbeing

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce.....	2
3. Rozebrání teorie mikroklimatu	2
3.1. Mikroklima obecně s přihlédnutím ke zkoumanému prostředí.....	2
3.1.1. Teplota.....	3
3.1.2. Vlhkost vzduchu	4
3.1.3. Proudění vzduchu.....	5
3.2. Další faktory působící na pracovní prostředí.....	6
3.2.1. Hluk	6
3.2.2. Osvětlení.....	7
3.2.3. Koncentrace CO ₂	7
3.2.4. Prašnost.....	8
3.3. Vliv na zdraví	8
4. Metodika měření.....	10
4.1. Měření teploty	10
4.1.1. Teploměry	10
4.1.1. Metody měření.....	11
4.2. Měření vlhkosti.....	12
4.3. Měření proudění vzduchu	13
4.4. Měření hluku	14
4.5. Měření osvětlení	14
4.6. Měření koncentrace CO ₂	15
5. Metro v Praze	15
6. Možnosti regulace (vytápění, větrání) v kabině 81-71M	19
6.1. Vytápění	19
6.2. Ventilace.....	20

6.3.	Otevření oken.....	20
7.	Měření.....	21
7.1.	Měření funkce rychloohřevu při stání soupravy	21
7.2.	Měření za provozních podmínek.....	23
7.2.1.	Teplotní průběhy	26
7.2.2.	Zhodnocení vlhkosti v kabině	28
7.2.3.	Výsledky měření hluku	30
7.2.4.	Naměřené hladiny osvětlení	33
7.2.5.	Obsah CO ₂ ve vzduchu.....	34
8.	Závěr.....	36
9.	Literatura.....	39
10.	Seznam obrázků	41
11.	Příloha	42

1. Úvod

Úroveň pracovního prostředí je jednou ze základních podmínek pro spokojenost zaměstnanců na pracovišti, zlepšuje jejich přístup k práci a tím přispívá ke kvalitě odvedené práce, zvyšuje koncentraci a zamezuje nadměrnému zvyšování únavy. U řidičů a strojvedoucích jsou především tyto aspekty velmi žádoucí.

Téma mikroklimatu v kabině strojvedoucího metra jsem si pro svou práci zvolil proto, že jsem již delší dobu zaměstnán u Dopravního podniku hl. m. Prahy a. s. právě jako strojvedoucí metra. Z praxe znám podmínky na řídicích stanovištích i v dalších prostorách jízdního personálu, vím, jaké jsou problémy s větráním, vytápěním, hlukem, únavou. To vše ale pouze dle svého subjektivního pocitu a názorů svých kolegů. Objektivní, konkrétně změřené hodnoty, pro mě byly výzvou, abych se pustil do této práce. Teoretická část mi naopak poskytla možnost zjistit přípustné hodnoty pro zjišťované veličiny a v závěru je porovnat se zjištěnou skutečností.

Velmi zajímavé bylo především měření přímo v kabině metra a to jak z hlediska volby rozmístění všech přístrojů a sond na stanovišti, tak zajištění potřebného času pro sběr dat a rovněž příprava a udržení předem stanovených podmínek pro jednotlivé jízdy.

2. Cíl práce

Cílem této práce je shromáždění potřebných informací a podrobné teoretické seznámení se s prostředím na pracovišti jak z pohledu mikroklimatu, pohody prostředí, vlivu na zdraví, tak i s možnostmi ovlivňování těchto pracovních podmínek. Volba kabiny strojvedoucího metra vyplynula z mého zaměstnání u dopravního podniku. Následně je pak třeba zaměřit se přímo na řídicí pracoviště strojvedoucího v jednotlivých typech používaných vozů, zhodnotit jejich možnosti z hlediska větrání, klimatizace a prostředí obecně. U jednoho z typů (konkrétně 81-71M) pak provést během provozu potřebná měření pro porovnání s hodnotami udávanými normou či zákonem.

Jelikož v prostoru metra je prostředí poměrně stabilní, nedá se očekávat, že zaznamenané hodnoty budou nějak výrazně vybočovat z průměru nebo dokonce překračovat stanovené limity. Nicméně právě praktické měření v kabině metra a zjištění konkrétních hodnot je pro mne tím hlavním cílem a důvodem výběru právě tohoto tématu. Zejména zaznamenání hodnot hluku, které jsou předmětem spekulací ze strany mých kolegů a CO₂ způsobující únavu budou zajisté přínosem. Zpracování získaných hodnot a jejich interpretace by měla přinést zajímavý pohled na celkové podmínky při práci řidičů metra, možnosti jejich ovlivňování a poukázat na nedostatky.

3. Rozebrání teorie mikroklimatu

3.1. Mikroklima obecně s přihlédnutím ke zkoumanému prostředí

Když se řekne mikroklima, dá se to chápat jako prostředí v určitém omezeném prostoru bez ohledu na jeho velikost či uzavřenost. O mikroklimatu lze hovořit v rámci deštného pralesa, města, místní louky, budovy, ale i jen kanceláře či kabiny řidiče. A právě na tato specifická uzavřená prostředí se zaměříme a budeme se zabývat jejich vlivem na pracovní podmínky.

Základními kameny, které určují mikroklima v uzavřených prostorech, jsou teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Zobecníme-li však pojem mikroklimatu, lze říci, že sem spadají všechny faktory, které mají vliv na komfort a pohodu člověka v daném prostředí. Dá se sem tak bezesporu zařadit rovněž hlučnost, prašnost, hladina CO₂ (vydýchaný vzduch), intenzita, druh osvětlení, atd. V ještě podstatně širším smyslu pak lze uvažovat také o velikosti a tvarování místnosti, jejím vybavení, přítomnosti či nepřítomnosti dalších lidí, a mnoho dalších faktorů, které ve svém důsledku mohou dotvářet celkový pocit člověka pobývajícího v uzavřeném prostoru. Nedílnou součástí pracovní pohody je bezesporu také pracovní kolektiv. Pokud se člověk necítí

v přítomnosti svých spolupracovníků či kolegů dobře, ani sebelepší mikroklimatické podmínky jeho pohodu nezajistí.

Nicméně v rámci této práce se budu zabývat především základními exaktně měřitelnými veličinami ovlivňujícími mikroklima v uzavřených prostorách a především v kabině strojvedoucího metra. Těmito veličinami jsou teplota, vlhkost, proudění vzduchu, koncentrace CO₂ a další.

3.1.1. Teplota

Teplota je asi nejpodstatnější složkou mikroklimatu. Její subjektivní vnímání má zásadní vliv na tepelnou pohodu člověka. Ta vyjadřuje rovnováhu mezi člověkem a jeho okolím bez toho, aby byl nadměrně zatěžován jeho vlastní termoregulační systém.

Udržování teploty na pracovišti v určitých mezích je základem pro pohodu pracovníků a zamezení negativního vlivu na jejich zdraví. V tomto směru je právně závazný předpis pro požadavky na pracovní prostředí dán nařízením vlády (dále jen NV) č. 361/2007 Sbírky ve znění pozdějších předpisů. Tento předpis byl v částech, které využívá tato práce několikrát měněn a to především NV č. 68/2010 Sb. a NV č. 93/2012 Sb. Toto NV vytváří osm „tříd práce“ podle průměrného energetického výdeje (M) pracovníků za osmihodinovou směnu viz *Tab. 1*.

Tab. 1 – Třídy práce – výňatek z Tabulky č. 1 NV č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů [1]

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, ...	≤ 80
IIa	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, ...	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, ...	106 až 130

Podle těchto tříd jsou dále s ohledem na energetickou zátěž vyvozeny požadavky na teplotu, proudění vzduchu a relativní vlhkost a další faktory působící na zdraví člověka. Výňatek z tohoto nařízení pro zátěž teplem je v *Tab. 2*.

Tab. 2 – Zátěž teplem – výňatek z Tabulky č. 3 NV č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Hodnota relativní vlhkosti vzduchu 30 až 70% [1].

Třída práce	M (W·m ⁻²)	t _{o min} (t _{g min}) (°C)	t _{o max} (t _{g max}) (°C)	v _a (m·s ⁻¹)
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2
IIa	81 až 105	18	26	0,01 až 0,2
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3

- M Energetický výdej (W·m⁻²)
t_o Operativní teplota vzduchu (°C)
t_g Výsledná teplota kulového teploměru (°C)
v_a Rychlost proudění vzduchu (m·s⁻¹)

Pro kabinu strojvedoucího metra se jedná o třídu práce IIa a hodnoty t_{min} 18 °C a t_{max} 26 °C. Jelikož se však jedná o práci, kde nedochází k vysokému zatížení organismu, není potřeba při překročení těchto teplot přijímat opatření k zamezení vlivu teplot na lidské zdraví. Ovšem již nárůst maximální teploty o jeden stupeň Celsia může mít vliv na pozornost a soustředění a tím v tomto případě i na bezpečnost provozu.

3.1.2. Vlhkost vzduchu

Druhou nedílnou složkou mikroklimatu je vlhkost vzduchu.

Absolutní vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu můžeme vyjádřit jako absolutní veličinu vyjadřující hmotnost vodní páry v jednotce objemu.

$$\Phi = \frac{m}{V} [g \cdot m^{-3}]$$

kde **m** je hmotnost vodní páry a **V** objem ve kterém je tato pára obsažena.

Měrná vlhkost vzduchu

Udává hmotnost vodní páry m_{H₂O} na kilogram suchého vzduchu **m**.

$$x = \frac{m_{H_2O}}{m} [g \cdot kg_{sv}^{-1}]$$

Spolu s relativní vlhkostí vzduchu je tako definovaná veličina v oblasti vzduchotechniky nejběžnější.

Relativní vlhkost vzduchu

Další možností je vyjádření vlhkosti jako poměr hmotnosti vodních par v daném okamžiku a množství par v plně nasyceném vzduchu stejného objemu, tlaku a teplotě.

$$\phi = \frac{m}{M} \cdot 100[\%]$$

kde **m** je hmotnost par obsažených ve vzduchu a **M** hmotnost par v plně nasyceném vzduchu.

Relativní vlhkost vzduchu je v používání mnohem běžnější a setkáme se s ní jak v hojně využívaných meteostanicích, tak i v různých normách a předpisech určujících například požadovanou vlhkost v daném prostoru. I v této práci budeme-li mluvit o vlhkosti vzduchu, budeme mít na mysli vlhkost relativní.

U vnitřních prostor, ať už se jedná o budovy, místnosti nebo jako zde o kabinu strojvedoucího je vlhkost závislá na vlhkosti okolí – dostává se dovnitř větráním, množství lidí v uzavřeném prostoru a rovněž teplotě, se kterou je provázána.

Běžně doporučené hodnoty vlhkosti pro vnitřní prostředí se udává 30 – 70 % (NV č. 361/2007 Sbírky ve znění pozdějších předpisů). Člověk změnu vlhkosti nevnímá tak intenzivně jako je tomu u změny teploty, ale zejména při výrazném poklesu (pod 20 %) může být její vliv na zdraví nezanedbatelný. Především v zimním období k tomuto přispívá nadměrné vytápění. Naopak překročení horní hranice doporučené vlhkosti na zdraví takový vliv nemá, ale působí snížení celkového tepelného komfortu.

3.1.3. Proudění vzduchu

Poslední ze tří základních veličin sledovaných při hodnocení mikroklimatu je rychlost proudění vzduchu. Stejně jako předchozí dvě ovlivňuje tepelnou pohodu člověka. Toto proudění však může být vnímáno v různých podmínkách naprosto rozdílně. Proudění chladného vzduchu – průvan může být při vyšších teplotách vnímán pozitivně, ale i tak vlivem přílišného ochlazování organismu může způsobit zdravotní komplikace. V chladném prostředí je průvan zcela jednoznačně negativním jevem. Proudění však může i teplý vzduch od topení, klimatizace či jiného zdroje tepla. I to může být vnímáno oběma způsoby.

Přípustné průměrné hodnoty jdou opět dány, stejně jako rozmezí teplot, v závislosti na „třídě práce“ NV č. 361/2007 Sbírky ve znění pozdějších předpisů. Výňatek je v *Tab. 2*. Obecně je to pro pracovní prostředí rozpětí od 0,01 do 0,5 m·s⁻¹ po celý rok. Pro kabinu strojvedoucího jsou udané hodnoty 0,01 – 0,2 m·s⁻¹, přičemž obecně by se dalo říct, že pro zimní období je třeba se držet spíše dolní hranice a pro letní období té horní.

3.2. Další faktory působící na pracovní prostředí

Mimo předchozí tři základní mikroklimatické veličiny jsou podstatné i další složky tvořící pracovní prostředí a přispívající k celkové pohodě či komfortu pracovníka. Na některé z těchto složek pracovního prostředí se nyní zaměříme a osvětlíme si jejich význam. V praktické části práce pak budeme některé z nich i měřit v prostorách kabiny strojvedoucího metra a vyhodnocovat jejich vliv na práci strojvedoucího.

3.2.1. Hluk

Zvuk je po fyzikální stránce mechanické podélné kmitání v elastickém prostředí, způsobené zdrojem zvuku v rozsahu slyšitelných frekvencí. Lidské ucho je schopno rozlišovat frekvence zhruba od 16 Hz do 20 kHz. Pokud je frekvence pod tímto rozmezím, jedná se o infrazvuk, pokud nad ním, jde o ultrazvuk. Ve všech těchto pásmech je možné vytvářet a následně vnímat hluk.

Obecně lze říci, že hluk je jakýkoliv zvuk, který působí na člověka nepříjemným či rušivým dojmem nebo je pro člověka škodlivým. Pro potřeby ochrany zdraví při práci dle NV. č. 272/2011 Sb. ve znění pozdějších předpisů [2] rozlišujeme několik různých skupin hluku.

- **Hluk s tónovými složkami** – jedná se o hluk, ve kterém je akustický tlak v jednom třetinooktávovém pásmu alespoň o 5 dB vyšší než v obou pásmech sousedních. O tento hluk se jedná vždy, když jde o hudbu a zpěv.
- **Vysokoenergetický impulsní hluk** – hluk ve venkovním prostředí tvořený impulzy např. z lomu, demolice, výbuchy, střelba z těžkých zbraní, atd.
- **Vysoce impulsní hluk** – hluk ve venkovním prostředí tvořený impulzy, které mají dobu trvání pod 0,2 s jako např. střelba z lehkých zbraní, menší exploze, náraz pevných těles.
- **Proměnný hluk** – hluk, při kterém se v čase mění hladina akustického tlaku o více jak 5 dB. Toto je právě ten druh hluku, který je v kabině strojvedoucího metra a kterým se tak budeme zabývat i v následujících kapitolách.

- **Ustálený hluk** – hluk, při kterém se v čase nemění hladina akustického tlaku o více jak 5 dB.

Expoziční limit proměnného (i ustáleného) hluku při práci vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku a je roven 85 dB [2].

3.2.2. Osvětlení

Norma ČSN 28 1310 [3] určuje pro osvětlení kabiny strojvedoucího metra samostatné nezávisle ovládané světlo nastavitelné minimálně ve dvou stupních. Intenzita v úrovni řídicího pultu musí být při maximálním navoleném stupni nejméně 60 lx. Pro jízdu v noci, což se dá vztáhnout i na trvalou jízdu v tunelu, platí, že strojvedoucí musí vidět na trať a návěstidla, v kabině má osvětleny pouze přístroje a jízdní řád, svítí různé sdělovače, které nesmí strojvedoucího oslňovat. To praví TNŽ 28 5201.

Osvětlení v kabině nepředstavuje dle mého subjektivního posouzení, jakožto strojvedoucího, žádný problém. Úrovně osvětlení jsou nastavitelné ve třech úrovních a plně vyhovují potřebám obsluhy. Proto následné měření této veličiny berme pouze jako doplněk pro úplnou představu o pracovním prostředí obsluhy vozů metra.

3.2.3. Koncentrace CO₂

Dalším podstatným prvkem ovlivňujícím prostředí je kvalita vzduchu v místnosti (kabině). Tuto kvalitu ovlivňuje prašnost, přítomnost cizích látek ve vzduchu (kontaminace), ale také hladina CO₂, která se v nevětrané místnosti zvyšuje díky dýchání přítomných osob.

Koncentrace CO₂ je snadno měřitelná a její hodnota se udává v jednotkách ppm (parts per milion), v mg·m⁻³ nebo nejčastěji v procentech jak bude uváděno i dále v této práci. 1000 ppm odpovídá 0,1% nebo 1800 mg·m⁻³.

Z hlediska vlivu koncentrace CO₂ na člověka je posouzení velmi individuální a závislé i na dalších faktorech jako je například vlhkost. Obecně lze říci, že kolem hranice 0,1 % začíná člověk zaznamenávat vydýchaný vzduch a pociťovat ospalost. Typicky se to projevuje čtenějším výskytem zívání. Nad hranicí 0,2 % CO₂ ve vzduchu již u člověka může nastávat snižování koncentrace případně bolesti hlavy a nevolnost. Další zvyšování hladiny CO₂ vede ke zvýšení teploty, malátnosti až bezvědomí a smrti (cca 4,5 %).

Základním požadavkem na množství CO₂ v místnosti vychází z Pettenkoferova kritéria (Max von Pettenkofer 1818 - 1901), který již v roce 1877 stanovil, že koncentrace CO₂ v místnosti by

neměla překročit 0,1 % obj. Z toho vyplývá dávka venkovního vzduchu pro osoby, které nevykonávají fyzickou činnost. Toto množství odpovídá přibližně $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu.

Přípustnými limity pro pracovní prostředí se zabývá § 41 odst. 2 až 4 Nařízení vlády 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů [1]. To udává pro práci zařazenou do třídy IIa (*Tab. 1*) hodnotu množství přiváděného venkovního vzduchu na jednoho zaměstnance $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pro vzduch přiváděný na pracoviště vzduchotechnickým zařízením NV 361/2007 Sb. [1] doslova praví, že přiváděný vzduch musí obsahovat takový podíl venkovního vzduchu, který postačuje pro snížení koncentrace pod hodnotu přípustného limitu a nesmí být nižší než množství upravené v § 41 odst. 2 až 4. Při nuceném větrání musí být přiváděný vzduch filtrován a v zimě ohříván.

3.2.4. Prašnost

O prašnosti se zde zmíním jen okrajově, jelikož se jí tato práce nezabývá. Je však důležitým faktorem jak z hlediska pracovní pohody, tak hlavně vlivem na zdraví pracovníků. Mluvíme-li o prašnosti, jde o znečištění pevnými částicemi rozptýlenými ve vzduchu. Záleží u nich na koncentraci, velikosti a vlastnostech a podle toho se vyhodnocuje jejich vliv na lidské zdraví.

V prostředí metra se jeví prašnost jako možný problém a proto se jí hodlám zabývat odděleně ve své následující práci.

3.3. Vliv na zdraví

Vliv teplotně vlhkostního mikroklimatu na zdraví člověka je nesporný. Příliš vysoké teploty způsobují pocení jakožto reakci organismu na přehřívání. K tomu dopomáhá i vyšší vlhkost prostředí. Tím dochází ke ztrátám tekutin a iontů. Příliš nízká teplota naopak přináší ztuhlost, třas, případně omrzliny méně prokrvených částí, zvýšení krevního tlaku, ztrátu soustředění. K tomuto pro změnu přispívá proudění vzduchu. V běžném pracovním prostředí se proto tyto vlivy snažíme omezovat vhodnou regulací, pracovními oděvy a pomůckami, přísunem dostatku tekutin a dalšími mechanismy. Většinou je hodnotíme subjektivním pocitem a zařazujeme do jedné ze čtyř skupin podle ČSN EN ISO 7730.

Tab. 3 - Subjektivní hodnocení vlivu mikroklimatických podmínek [4]

0	Pohoda	Tepelně neutrální pocity, ani chlad ani teplo, není pocíováno proudění vzduchu
1	Mírná nepohoda	Nevýrazný pocit tepla nebo chladu, není potřeba měnit oděv, proudění vzduchu v chladu jako průvan, v teple naopak příjemné

2	Nepohoda	Výrazný pocit tepla s mírným pocením nebo chladu provázený vlhkem či suchem, průvan, potřeba změnit oděv
3	Značná nepohoda	Výrazný pocit zimy provázený třasem nebo pocit horka s výrazným pocením, nepříjemné závany větru

Na základě tohoto hodnocení pracovníky můžeme přistoupit k objektivnímu zjištění stavu pomocí měřících metod a následně k případnému návrhu změn.

Stejně jako teplotně vlhkostní mikroklima má na zdraví člověka vliv i nadměrný hluk. Ten může mít účinky buď orgánové (poškození sluchového aparátu, kardiovaskulární problémy, aj.), rušivé (ztráta pozornosti, nervozita) nebo na osobní pohodu (diskomfort). Trvalé poškození sluchu může způsobit i dlouhodobé působení hlukové zátěže kolem 70 dB, což je například podél hlavních komunikací [4]. Nadměrná hluková zátěž je dnes hlavní příčinou zhoršování či ztráty sluchu.

Velmi ošidná je z hlediska vlivu na člověka koncentrace CO₂. Lidský organismus se velmi rychle přizpůsobí vydýchanému vzduchu a nadále ho nedetekuje. Je to patrné při vstupu do místnosti se špatným vzduchem, který však po krátkém pobytu přestáváme vnímat jako rušivý a neuvědomujeme si jej. Následně už přicházejí na řadu příznaky únavy a ztráta koncentrace. Tabulka níže (Tab. 4) uvádí přibližné hodnoty koncentrací CO₂ a příznaky které způsobují.

Tab. 4 - Účinky CO₂ na lidský organismus

Účinky CO ₂ na lidský organismus	
cca 0,035 %	Venkovní prostředí
do 0,1 %	Doporučená úroveň vnitřního prostředí (Petternkofero kritérium)
0,12 % – 0,15 %	Doporučená maximální úroveň pro vnitřní prostředí
0,1 % – 0,2 %	Příznaky únavy, snižování koncentrace
0,2 % – 0,5 %	Možná bolest hlavy
0,5 %	Maximální bezpečná koncentrace bez rizik
> 0,5 %	Nevolnost, zvýšený tep
> 1,5 %	Dýchací potíže
> 4 %	Možná ztráta vědomí

Z těchto důvodů je důležité vždy náležitě větrat a to jak v domácím prostředí, tak na pracovišti.

Kompetence ke zjišťování hygienických parametrů drážných vozidel má Státní zdravotní ústav jakožto pověřená osoba k provádění těchto zkoušek. Kromě mikroklimatických podmínek se sleduje především prašnost, hluk, vibrace, osvětlení, elektromagnetické pole a ergonomické

parametry. Měření probíhá jak v prostorách pro strojvedoucí, tak v části pro cestující a to za stání vlaku i během jízdy [5].

4. Metodika měření

Metodika měření mikroklimatických podmínek stanovuje přesné a jednotné postupy pro zjišťování a vyhodnocování fyzikálních veličin charakterizujících pracovní prostředí. Takto zpracovaný metodický návod vydalo Ministerstvo zdravotnictví (dále jen MZ) ve Věstníku MZ ČR 8/2013 část 2 [6]. Tento věstník obsahuje pokyny pro měření teploty, vlhkosti a proudění vzduchu v pracovním prostředí.

Vždy je u všech použitých přístrojů nutné dodržet postupy dané výrobcem a přístroje musí mít platnou kalibraci. Měření se provádí v závislosti na homogenosti prostředí, poloze a pohybu člověka. Pro sedící osobu jsou doporučené tři úrovně umístění měřících přístrojů a to v oblasti kotníků (0,1 m), břicha (0,6 m) a hlavy (1,1 m).

4.1. Měření teploty

4.1.1. Teploměry

K měření teploty se používají teploměry. Ty mohou být založeny na různých fyzikálních principech.

- Kapalinové teploměry – rtuťové, lihové – jsou založeny na tepelné roztažnosti použité kapaliny, která je z rezervoáru vytlačována do tenké kapiláry opatřené stupnicí. Přesnost je různá podle velikosti rezervoáru a tenkosti kapiláry. Obecně v řádu desetin stupně.
- Odporové teploměry – změnou teploty se mění odpor použitého kovu (nejčastěji platina) podle vztahu

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

kde R_t je odpor při teplotě t

R_0 je odpor při nulové teplotě

α (K^{-1}) je teplotní součinitel odporu

Výhodou těchto teploměrů je veliký rozsah měřitelných teplot.

- Infračervený bezdotykový teploměr – založen na principu měření vyzářené energie v infračerveném spektru.

- Dalšími jsou například termočlánek, termistor, LC teploměry, atd.

4.1.1. Metody měření

Teplota vzduchu (t_a , t_i) – Teplotu vzduchu je možné uvažovat jako údaj pro hodnocení vlivu tepelného prostředí na člověka pouze v případě, že se jedná o prostředí teplotně homogenní, bez výrazného proudění vzduchu a bez zdrojů sálavého tepla.

Je možno použít jakékoliv teplotní čidlo s přesností $\pm 0,5$ °C.

Výsledná teplota kulového teploměru (t_g) – Kulový teploměr (Obr. 1) je buď klasický rtuťový teploměr nebo jakékoliv teplotní čidlo, kolem kterého je měděná koule s černým teplopohlcujícím povrchem. Jde o tzv. Vernonův nebo Vernon-Joklův kulový teploměr. U tohoto měření je vždy potřeba vyčkat na ustálení teploty a to přibližně 20 až 30 minut.

Tato veličina je jednou ze základních teplotních veličin pro stanovení tepelné zátěže podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Obr. 1 - Kulový teploměr



Střední radiační teplota (\bar{t}_r) – měří se buď přímo radiometry, nebo se počítá z výsledné teploty kulového teploměru některým ze vztahů dle NV č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

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

pro kulový teploměr o průměru 100 mm nebo

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

pro kulový teploměr o průměru 150 mm.

Sama tato teplota neslouží k hodnocení prostředí, ale používá se k výpočtu operativní teploty.

Operativní teplota (t_o) – Sama o sobě se tato teplota neměří, ale získává se výpočtem ze vztahu

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

kde koeficient A je funkcí rychlosti proudění vzduchu podle Tab. 5.

Tab. 5 – Tabulka koeficientů A pro výpočet operativní teploty [6]

v_a ($m \cdot s^{-1}$)	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

Povrchová teplota (t_s) – Jde o teplotu povrchu těles změřenou buď kontaktním, nebo bezkontaktním čidlem. Měření se provádí na více místech a výsledek se získá průměrem, případně váženým průměrem. Používají se především infračervené radiační přístroje.

Používá se pro výpočet sálání dle ČSN EN ISO 7726, pro hodnocení přípustných teplot povrchů, s nimiž lze přijít do přímého styku, pro stanovování rosných bodů.

Korigovaná teplota (t_{korig}) – Především pro venkovní prostředí s vysokým prouděním vzduchu. Převod teploty vzduchu na korigovanou teplotu je v NV 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

4.2. Měření vlhkosti

Jak již bylo uváděno výše v této práci, měření vlhkosti vzduchu je prováděno jakožto měření relativní vlhkosti. To znamená jako poměr tlaku vodní páry v měřeném vzduchu ku tlaku vodní páry v nasyceném vzduchu. Takto vyjádřená veličina (**rh**) je udávána v % případně jako bezrozměrná.

Relativní vlhkost je možno měřit vlhkoměry:

- Kapacitní vlhkoměr - kapacita čidla je úměrná měřené vlhkosti. Změna kapacity je zde asi 0,1 % na 1 % *rh*. Tato čidla jsou poměrně levná a jejich přesnost je v jednotkách %. Nejsou příliš závislá na teplotě a nevadí jim kondenzace.
- Psychrometr – porovnává teploty suchého a vlhkého čidla, jejichž rozdíl je nepřímo úměrný relativní vlhkosti.
- Hygrometr – též mechanický nebo vlasový vlhkoměr, je založen na reakci organického materiálu (vlasu, hedvábí, ...) na vlhkost. Před měřením je nutné jej regenerovat. Při nízkých teplotách pod bodem mrazu jsou přesnější než psychrometry. Tato metoda je jednou z nejstarších metod měření vlhkosti.

- Gravimetr – Měří se přírůstek hmotnosti sušidla ve známém objemu vzduchu. Velice přesné měření, ale většinou jen v laboratorním prostředí např. pro kalibraci.
- Jsou i další přístroje jako např. odporový, elektrolytický, s termistory, a jiné.

Veškeré tyto přístroje jsou popsány v ČSN EN ISO 7726. Ta také určuje potřebnou přesnost pro měření a to rozsah $\pm 5\%$.

4.3. Měření proudění vzduchu

Pro měření proudění vzduchu je třeba zvolit vhodné metody v závislosti na nízkých rychlostech proudění vzduchu v uzavřených prostorech ($0,01$ až $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [1]) a na proměnlivosti tohoto proudění v čase. Proudění může být, zvláště v pohybujícím se prostředí jako je kabina metra, značně turbulentní a proto je třeba použít všesměrová čidla po dobu minimálně tří minut a následně stanovit střední hodnotu proudění.

Obr. 2 - Lopatkový anemometr



Čidla používaná k měření [7]:

- Termoanemometr – anemometry, kde se žhaví nějaké tělíčko (jeden nebo více drátků, kulička, ...) a měří se jeho ochlazování prouděním vzduchu. Mají velký měřicí rozsah od $0,01$ až do cca $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zejména se ale hodí pro měření malých rychlostí, kde se jejich citlivost zvyšuje.
- Ultrazvukový anemometr – doba průchodu ultrazvuku prostředím se mění v závislosti na jeho pohybu. Každý pár přijímač – vysílač je schopen měřit proudění v jednom směru. Rychle reaguje na změny proudění.
- Mechanický anemometr – miskový, lopatkový (Obr. 2), kyvadlový, kde proudění vzduchu otáčí miskami (lopatkami, ...). Není všesměrový. Určuje jen rychlost větru a nikoliv jeho směr.
- Dalšími jsou například Dopplerův anemometr, termistorový anemometr nebo třeba rezonanční anemometr.

Zdroj: Laserliner - Innovation in Tools [13]

Měřidla opět popisuje norma ČSN EN ISO 7726 a určuje přesnost měření $\pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

V praktické části práce měření rychlosti proudění vzduchu v kabině strojvedoucího prováděno nebylo. Důvodem je především to, že do velikosti minimální a zároveň směrově proměnlivé proudění, které je v daných podmínkách obtížně měřitelné a naměřené hodnoty by neměly příliš velkou vypovídající hodnotu. Proudění vzduchu tak bude hodnoceno pouze pomocí subjektivních pocitů strojvedoucího.

4.4. Měření hluku

K měření hluku jsou používány zvukoměry třídy 1 nebo 2 vyhovující požadavkům příslušných norem. Chceme-li zjistit i frekvenční spektrum měřeného hluku, musíme použít příslušné pásmové filtry. Základní hlukoměry používají zpravidla směrový mikrofon na konci měřicí hlavičky a je opatřen pěnovou ochranou proti větru a nečistotám (*Obr. 18*).

Samozřejmostí je mít všechny používané přístroje řádně kalibrované.

4.5. Měření osvětlení

Pro měření osvětlení můžeme podle podstaty požadovaného výstupu zvolit některý z možných přístrojů.

- Luxmetr – funguje na fotoelektrickém principu, kdy je dopadající světlo pomocí fotočlánku měněno na elektrický proud.
- Jasoměr – též jasový analyzátor, funguje na stejném principu jako luxmetr, ale pomocí optiky omezí dopadající světlo a pustí jej jen z předem známého prostorového úhlu. Jasoměry mohou být buď bodové s malým zorným úhlem, nebo integrační s úhlem obvykle nad 1 stupeň.
- Spektrometr – určuje vlastnosti dopadajícího světla. Nejčastěji převažující vlnovou délku, teplotu chromatičnosti nebo graf spektrálního rozložení světla.

Podle přesnosti měření se podle normy ČSN 360011 rozlišují měření přesné ve výzkumu nebo laboratořích, měření provozní pro ověřování stanovených a realizovaných podmínek a měření orientační pro základní zjišťování světelných podmínek. Pro všechna tato měření jsou stanoveny přípustné odchylky a přístroje musí být pravidelně kalibrovány.

4.6. Měření koncentrace CO₂

Pro množství měření CO₂ ve vzduchu se nejčastěji používají čidla založená na některém z následujících principů. [8]

- NDIR – Non-Dispersive InfraRed jsou založena na měření útlumu určité vlnové délky (4,2 μm) v infračerveném spektru při průchodu vzduchem. Tento útlum se dále vyhodnocuje a odpovídá určité koncentraci CO₂ v měřeném vzduchu. Výhodou je velký rozsah měřených hodnot, nevýhodou pak vysoká cena.
- Elektrochemická čidla – pracují s elektrochemickým článkem s tuhým elektrolytem, kde na elektrodách vzniká elektromotorická síla, která se dále vyhodnocuje a udává množství CO₂ ve vzduchu. Tato čidla mají vysokou selektivitu na oxid uhličitý a nižší cenu než NDIR. Měří však až cca od 400 ppm, což však vzhledem k venkovním koncentracím nemusí být nevýhodou.
- Elektroakustická čidla – vyhodnocují změny frekvence ultrazvuku v mechanickém rezonátoru, které jsou úměrné koncentraci CO₂. Výhodou je velká stabilita těchto čidel.

5. Metro v Praze

Mluvíme-li o metru, jedná se o druh kolejové dopravy a to konkrétně o dráhu speciální. Speciální dráha dle definice slouží zejména k zabezpečení dopravní obslužnosti obce [9]. Metro a jeho provoz spadají pod drážní zákon a na něj navazující prováděcí předpisy, a z něj také vyplývají požadavky na technické parametry jednotlivých souprav. Veškeré změny v konstrukci, vybavení, příslušenství, softwaru, atd. musí projít příslušnými zkouškami a být před uvedením do provozu schváleny drážním úřadem. Všechny tyto procedury jsou velmi finančně a časově náročné a proto jakékoliv změny jsou potřeba dělat v rámci určité koncepce. Proto není snadné jakkoliv prosadit změny ve větrání, vytápění nebo klimatizaci kabin strojvedoucích jen na základě pocitu diskomfortu obsluhy. Jediný prostředek schopný dosáhnout změny by byl odborný posudek prokazující ohrožení zdraví strojvedoucích, případně překračování norem. Žádný takový posudek však závažné nedostatky neprokázal.

Metro v Praze má v současnosti tři linky A, B a C s celkovou provozní délkou 65,233 km a 61 stanicemi. [10] Na každé trase jezdí soupravy určené výhradně pro tu konkrétní linku. Na Lince C jsou to vozy M1, na linkách A a B soupravy 81-71M ovšem s modifikací na konkrétní typ zabezpečovacího zařízení, které je na těchto linkách zatím různé. V začátcích provozu byl zabezpečovač (ARS) na všech linkách totožný a jednotlivé vozy metra tak mohly sloužit na kterékoliv trase.

V pražském metru se v průběhu let používaly celkem čtyři typy souprav.

- **Typ Ečs (Obr. 3)** – Původní vůz ruské výroby typu 81-709 vyrobený Mytiščinským strojírenským závodem (Мытищинский машиностроительный завод) pro pražské

Obr. 3 - Souprava Ečs



metro. Tyto vozy jezdily v Praze od zahájení provozu pražského metra v roce 1974 až do roku 1997, kdy vyjela na trať poslední souprava. Jezdily zpočátku jako třívozové posléze jako čtyřvozové a od roku 1979 jako pětivozové soupravy. Zajímavostí je, že každý vůz, včetně vozů vložených, měl kabinu strojvedoucího a mohl tak sloužit jako vůz čelní. Dopravní podnik

udržuje jednu třívozovou soupravu jakožto historickou a vyjíždí s ní na tratě metra při slavnostních příležitostech nebo v rámci zážitkové turistiky.

Vytápění kabiny strojvedoucího zde bylo řešeno topným tělesem přímo v kabině, vzadu po pravé ruce. Topné spirály byly napojeny přímo (přes pojistku, stykač a spínač topení) na vysoké napětí 750 V stejnosměrných z přívodní kolejnice. Větrání bylo zajištěno velikým okénkem na pravé straně, které bylo prakticky celé zasunovací do mezistěny. Takto velké otevírací okno již u žádného dalšího typu souprav v Praze použito nebylo.

- **Typ 81-71 (Obr. 4)** – Na rozdíl od Ečs *Obr. 4 - Souprava 81-71*

jsou u soupravy tohoto typu dva rozdílné druhy vozů. Čelní vůz s označením 81-717 a vložený vůz bez kabiny 81-714. V provozu jsou od roku 1978, kdy začaly nahrazovat zastaralé Ečs. Jejich provoz v Praze byl ukončen poslední pravidelnou jízdou v roce 2009. Nyní je v provozu rovněž jedna historická, tentokrát



pětivozová souprava, která vyjíždí v rámci zážitkové turistiky nebo při slavnostních příležitostech.

Tepelné „pohody“ strojvedoucího bylo stejně jako u předchozího typu dosahováno topným tělesem přímo v kabině na pravé zadní stěně. Okénko (opět pouze pravé) tentokrát bylo již půlené a jeho horní část se vyklápěla směrem dovnitř místo zasouvání do mezistěny jako u Ečs.

- **Typ 81-71M (Obr. 5)** – Tento typ vozů metra vznikl rekonstrukcí původních ruských vozů 81-71 firmou Škoda Transportation a. s. v Plzni. Původní vozy rychle zastarávaly a nebylo

Obr. 5 - Souprava 81-71M



ve finančních možnostech Prahy nakoupit nové vozy pro celou síť metra. Proto byl zvolen kompromis - rekonstrukce. Ta probíhala v podstatě tak, že se souprava komplet odstrojila, vyměnily se všechny součásti za nové, odřízlo se čelo a přivařilo nové. Původní tak prakticky zůstala pouze skříň vozu a podvozek. Souprava sestává ze

dvou čelních vozů 2Mt, dvou vložených vozů 4Mt a jednoho středového vozu 3Mt. Souprava je primárně konstruována jako nedělitelná. První souprava začala vozit cestující v roce 2006 na lince C. Nyní tyto vozy stále jezdí na linkách A a B. Tento konkrétní typ je předmětem této práce, takže se větráním, vytápěním a dalším aspektům mikroklimatu budeme podrobněji věnovat v dalších kapitolách.

- **Typ M1 (Obr. 6)** – Vozidlová jednotka od firmy Siemens (ve skutečnosti původně konsorcium firem). Tyto zcela nové soupravy jsou konstruovány jako nedělitelné a skládají se ze dvou čelních vozů M1.1 dvou vložených vozů M1.2 a jednoho středového vozu M1.3. Provoz s cestujícími byl s těmito vozy na lince C (kde také tyto soupravy jezdí dodnes) zahájen od roku 2000.

Kabina strojvedoucího vozů M1 *Obr. 6 - Souprava M1*

nemá na rozdíl od ostatních otevíratelná okénka a tak je větrání možné pouze přetlakové pomocí ventilátoru. Vzduch je ventilátorem přiváděn přes filtr z venkovního prostoru pod vozidlem přes topnou spirálu do prostoru kabiny. Pro efektivnější rozvedení přiváděného vzduchu po kabině je zde větší



množství průduchů pro přívod jak chladného, tak ohříváného vzduchu. Dva jsou stejně jako u vozů 81-71M umístěny u předního skla a jsou opatřeny posuvnou klapkou. Další dva jsou na stranách pultu strojvedoucího a pak ještě dvě dvojice dole, těsně nad podlahou. Systém vytápění a větrání se mírně liší podle verze soupravy. První verze má čtyři polohy. Nula, větrání, 50 % (3kW) a 100 % (6kW) topení. Novější verze pak mají poloh šest. Tři z toho pro ventilaci, dvě pro vytápění, opět 50 % a 100 % a nulu. Tyto polohy určují rychlost ventilátoru v režimu větrání a tím i množství proudícího vzduchu a dále použití topné spirály v jednom ze dvou výkonových stupňů. Teplota na stanovišti se dá regulovat pomocí potenciometru. Toto řešení je z hlediska udržení požadované teploty přesnější než u typu 81-71M.

Jak již bylo zmíněno, pro potřeby této práce se budeme zabývat vozy metra typu 81-71M tzv. „rekonstrukce“. Jedná se o vozy původní ruské konstrukce, které prošli modernizací ve firmě Škoda Transportation a. s.

6. Možnosti regulace (vytápění, větrání) v kabině 81-71M

6.1. Vytápění

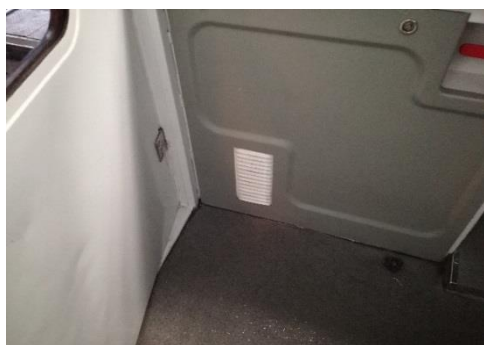
Vytápění je schopné fungovat ve dvou režimech ovládaných přepínačem z panelu nouze (Obr. 10). Prvním z nich je R - rychloohřev. V tomto režimu se radiálním ventilátorem žene plným výkonem vzduch

Obr. 7 - Průduchy od ventilace a topení



přes topnou spirálu do průduchů (Obr. 7) mezi čelním sklem a zadní částí řídicího pultu. Odtud proudí vzhůru a pomalu se rozprostírá do celé kabiny. Vzduch, který ventilátor nasává je do ventilátorového prostoru přiváděn krátkým vzduchovodem pouze přes mřížku (bez filtru) přímo z kabiny, vlevo u země z pohledu strojvedoucího (Obr. 8). Je zde rovněž mírné přisávání vzduchu z prostoru pod kabinou. Takto zvolený přívod není zrovna vhodný z hlediska přisávání prachu, který se pak přes topný systém víří po celé kabině. Doba potřebná k vytopení pocitově vychladlé kabiny na příjemnou teplotu trvá minimálně deset minut. Tento čas je závislý především na době než se dostatečně zahřeje topná spirála. Závislost nárůstu teploty na čase zapnutí rychloohřevu v režimu stojící soupravy bude zpracována v praktické části práce.

Obr. 8 - Místo nasávání vzduchu k ventilátoru



Druhým režimem, ve kterém může topení pracovat, je A – automatický. V tomto případě se požadovaná teplota nastaví na termostatu. Jedná se o autobusový termostat REGO 947 51, 24 V, 0,3 A s regulačním rozsahem +5 °C až +30 °C. Ten však pouze zapíná a vypíná vyhřívání topné spirály a podle toho je proudící vzduch více či méně ohříván v závislosti na době sepnutí. Tím je zde vytvořena dlouhá časová odezva na

činnost termostatu způsobená dobu trvání než se spirála rozžhává a při vypnutí než zase vystydně. I přes to, že přesnost termostatu je udávána <1,5 °C, regulace tímto způsobem není ani trochu přesná a v praxi funguje defakto vytápění hodně, středně nebo skoro vůbec. I tak pokud se podaří trefit nastavení na střední teplotu, pak je to způsob udržení jakž takž přijatelné teploty. V opačném případě je třeba použít regulaci manuální – vypínat a zapínat topení ručně.

6.2. Ventilace

Obr. 10 – Panel nouze s vyznačeným přepínačem topení, ventilátor



Na stejném přepínači na panelu nouze (*Obr. 10*) jako se volí režimy pro vytápění lze nastavit V – ventilátor. Při této volbě vše funguje naprosto stejně jako při vytápění, jen nejsou zapnuty topné spirály. Vzduch tedy proudí nasávacím otvorem u podlahy v kabině a přísávacím otvorem zezadu na skříni ventilátoru (cca 8x8 cm) přes filtr do prostoru ventilátoru. Jedná se o trojfázový radiální ventilátor RC-T G2D 146-BG 06-25 firmy RC-Technic. Technické specifikace možné dohledat na stránkách výrobce [11]. Ventilátor vhání vzduch dále do boxu s topnými spirálami, které jsou však v tomto případě vypnuté. Ventilátor a box s topnými spirálami

jsou umístěny společně v jedné skříni pod kabinou na pravé straně při pohledu zepředu na čelo vlaku. Pohled zesponu do této skříně je na *Obr. 9*. Dále vzduch proudí opět do průduchů u čelního skla kabiny (*Obr. 7*).

Jak je z této konstrukce patrné, za stání se nikde nepřivádí čerstvý vzduch zvenčí, nýbrž jen chladnější vzduch od podlahy se vhání nahoru a vytváří mírné proudění. Při jízdě se proud vzduchu systémem a něco zvýší patrně přísávacím větším množstvím vzduchu zpod vozu. Tím se účinnost větrání nepatrně zvýší. V letních měsících však tento typ ventilace ani zdaleka nestačí pro udržení tepelného komfortu uvnitř prostoru pro strojvedoucího.

Obr. 9 – Ventilátor a přívody do boxu s topnými spirálami



6.3. Otevření oken

Otevření jednoho, případně obou okének na bočních dveřích kabiny strojvedoucího je nejúčinnějším způsobem větrání kabiny (*Obr. 11*). Proud chladnějšího vzduchu při jízdě v tunelu velmi intenzívně proniká do kabiny a větrá její prostor. V letních měsících, kdy je kabina metra zejména po výjezdu z haly depa výrazně prohřátá, je to prakticky jediná možnost ochlazení vnitřního prostoru. V situaci, kdy je souprava v provozu již delší dobu (cca 2 hodiny) nebo byla-li

deponována na trati místo v depu, lze udržet teplotu na, sice vyšší, ale snesitelné teplotě pouze použitím ventilátoru.

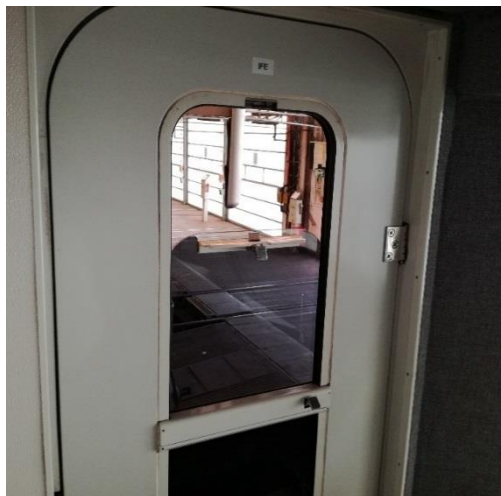
První zcela zřejmou nevýhodou tohoto typu větrání je průvan. Jízdou v tunelu, kde souprava metra působí jako píst, vzniká při otevřených okénkách průvan, který může, při této rychlosti jeho proudění způsobovat nepohodlí a i případné zdravotní komplikace. A to, i když se v létě jedná o vzduch příjemné teploty. Z vlastní zkušenosti vím, že nejsou výjimkou takzvané „letní rýmy“ a prochladnutí zad v oblasti bederní páteře, kudy vzduch z otevřených okének rovněž proudí.

Další velikou nevýhodou je velmi výrazné zvýšení již

tak dost vysoké hladiny hluku. To je velmi výrazné zdravotní riziko, nehledě na to, že v hluku může zaniknout jiný podnět důležitý pro řízení, plynulost či bezpečnost provozu.

Zvýšení prašnosti či nedostatečné oddělení prostoru kabiny strojvedoucího od cestujících – klientů při stání vlaku ve stanici jsou jen nepatrným problémem ve srovnání s předchozími dvěma.

Obr. 11 – Pootevřené levé okénko na soupravě typu 81-71M



7. Měření

7.1. Měření funkce rychloohřevu při stání soupravy

Jako první jsem se rozhodl odměřit charakteristiku nárůstu teploty v kabině po zapnutí rychloohřevu. Jednalo se o statické měření aktuální teploty vzduchu při zapnutém režimu vytápění na rychloohřev v kabině strojvedoucího na soupravě stojící v hale depa. Souprava byla delší dobu zapnuta pod vysokým napětím. Teplota v kabině byla ustálena na počátečních 21,6 °C. Měření bylo prováděno při uzavřených dveřích i oknech za přítomnosti jednoho strojvedoucího na stanovišti. Interval měření byl stanoven na půl minuty po dobu

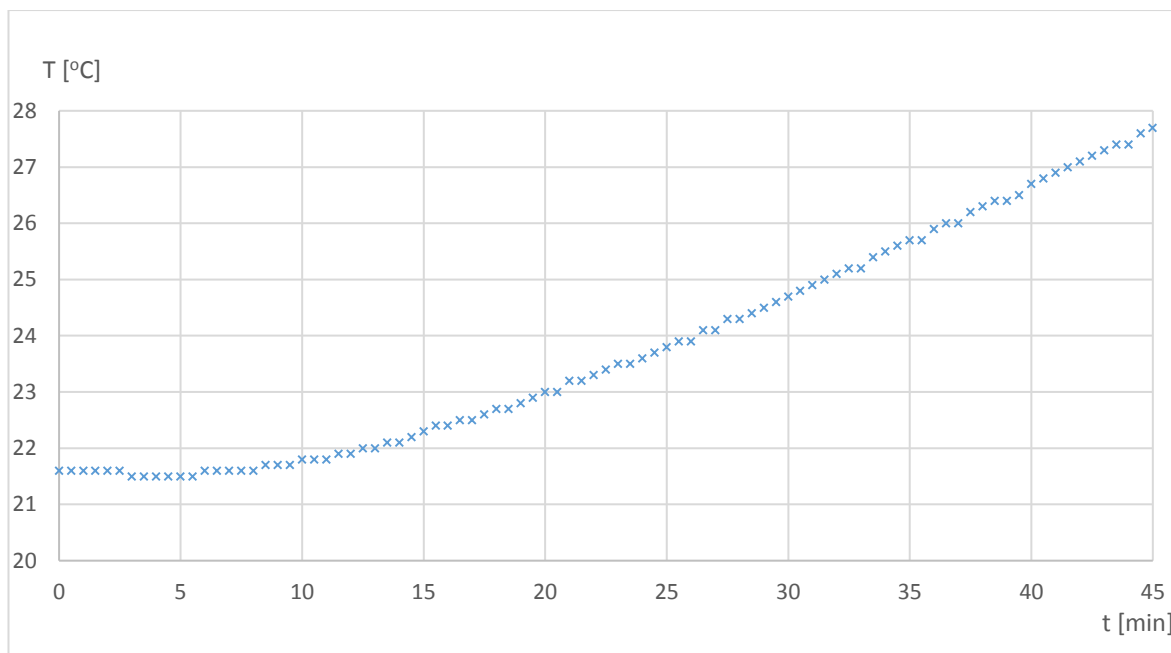
Obr. 12 – Umístění meteostanice na řídicím pultu



45 minut. Následně strojvedoucí opustil již přehřátou kabinu a poslední hodnota byla následně odečtena v čase 115 minut od počátku měření (zapnutí rychloohřevu) a to 37,6 °C.

K měření teploty byla využita meteostanice Hyundai WS 1814 [12] umístěná ve středu ovládacího pultu (Obr. 12).

Obr. 13 - Závislost teploty v kabině od zapnutí rychloohřevu na čase



Z naměřené závislosti (Příloha Tab. 6 a Obr. 13) je zřejmé, že je potřeba delší časový úsek než se sledovaný prostor začne vůbec ohřívat. Dokonce je zde patrný mírný pokles teploty mezi 3 a 6 minutou způsobený tím, že ventilátor sice žene vzduch přes topné spirály, ale ty nejsou ještě nažhavené a tak zpět do kabiny proudí vzduch chladnější. K dlouhému náběhu topení přispívá také to, že ohřátý vzduch je přiváděn podél čelního skla směrem vzhůru. Teplý vzduch tak proudí rovnou ke stropu kabiny, kde se drží a neprochází tak celou kabinou. Na úroveň ovládacího pultu, potažmo sedícího strojvedoucího, se tak ohřátý vzduch dostává postupně až následným dodáním ještě teplejšího vzduchu ke stropu kabiny.

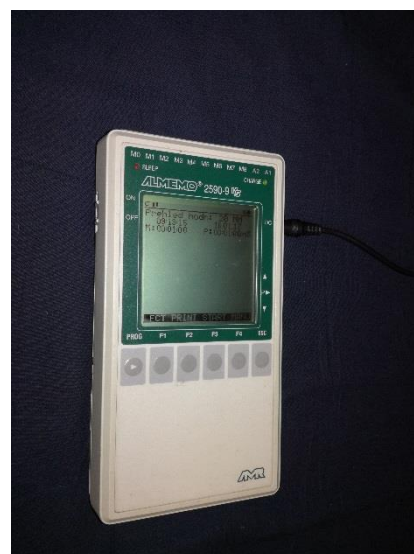
Po plném rozběhnutí a nahřátí systému se už teplota zvyšuje prakticky lineárně rychlostí cca 0,19 °C·min⁻¹.

7.2. Měření za provozních podmínek

Samotnému měření předcházela pečlivá příprava a plánování.

Nejprve bylo nutné najít vhodný termín, kdy by bylo možno měření uskutečnit bez toho, aby to jakkoliv narušovalo mou pracovní činnost a byl jsem schopen měření provádět po dostatečně dlouhou dobu pro sběr potřebných dat. Jako vhodný termín bylo vybráno pondělí 16. ledna 2017. Na tento den jsem si zajistil vypůjčení potřebných přístrojů a sond. V plánu jsem původně měl odměřit teplotu vzduchu (i kulového teploměru), vlhkost vzduchu, proudění vzduchu a hluk. Proudění vzduchu nakonec měřeno nebylo z důvodů uvedených v kapitole 4.3. Místo toho jsem navíc zařadil čidla pro měření osvětlení a hlavně množství CO₂ ve vzduchu, což mě velice zajímalo. Hodnoty jsem se chystal zaznamenat ze všech čidel univerzálním datalogerem ALMEMO 2590-9 (Obr. 14) a následně zpracovat.

Obr. 14 - Univerzální dataloger ALMEMO 2590-9



Následovalo vytyčení ohledně přesného času a konkrétní soupravy, na které jsem plánoval měření uskutečnit. Vzhledem k různým provozním výkonům jednotlivých souprav a jejich nepravidelným obsazováním jednotlivými strojvedoucími nebylo vůbec lehké najít vhodný oběh. Jelikož mým cílem bylo shromažďovat data při jízdě vždy v jednom směru, pokud možno po celé délce trati, a toto provádět za přesně daných podmínek (jedna osoba na stanovišti, atd.) několikrát za sebou, šlo o náročnou operaci z hlediska koordinace postupu s dozorcím SPO Dejvická a kolegy strojvedoucími. Pro měření jsem nakonec vybral soupravu 3500-3900 (měření proběhlo v kabině vozu číslo 3900) v oběhu číslo 8 v čase mezi 13:03, kdy byla na obratu ve stanici Petřiny a časem 17:49 kdy jsem měření zakončil na první koleji ve stanici Dejvická.

Před započítím jsem připravil všechny přístroje, prověřil jejich funkčnost a případně plně nabití baterií. Pečlivě jsem si rozmyslel rozmístění jednotlivých přístrojů a čidel v kabině strojvedoucího a připravil si potřebné pomůcky pro upevnění. Při instalaci bylo nezbytně nutné dbát na to, aby žádný z přístrojů ani připojovacích vodičů nijak nezasahoval do výkonu funkce strojvedoucího, nebránil výhledu či manipulaci s ovládacími prvky soupravy a především nijak, ani potenciálně, neohrozil bezpečnost cestujících ani obsluhy. To se povedlo snad jen s výjimkou mírně sníženého komfortu. Samotná příprava proběhla velmi rychle, při jízdě na zadním neobsazeném stanovišti z druhé koleje ve stanici Dejvická do stanice Petřiny na nultou obratovou kolej, kde začalo samotné

měření. Rozmístění jednotlivých měřidel, čidel a sond je názorně vidět na fotografii pořízené během měření (Obr. 15).

Obr. 15 - Rozmístění měřících přístrojů v kabině strojvedoucího



Čas strávený na soupravě byl rozdělen do několika částí. Vzhledem k tomu, že přístroje byly umístěny pouze na jednom čele soupravy, probíhal záznam hodnot vždy jen ve směru jízdy do stanice Depo Hostivař. Při jízdě opačným směrem jsem byl na stanovišti také přítomen a vždy jsem si udělal záznamy o průběhu a parametrech měření a provedl přípravu počátečních podmínek pro následující měřený úsek. Celkem jsem takto absolvoval čtyři jízdy. Poprvé byl začátek ve stanici Petřiny (PE) a následně třikrát byla projeta celá trasa ze stanice Nemocnice Motol (MO) až Depo Hostivař (HO). V průběhu těchto jízd byly zaznamenávány hodnoty z přístrojů a čidel v intervalu 1 minuty. Na závěr následoval ještě krátký úsek z Petřin (PE) do stanice Dejvická (DE), kdy jsem zmenšil měřicí interval na 10 sekund a nechal zaznamenávat již jen údaje o hluku a osvětlení.

Jednotlivé jízdy byly uskutečněny v časech:

- Jízda č. 1: PE 13:04 až 13:33 HO
- Jízda č. 2: MO 14:14 až 14:43 HO
- Jízda č. 3: MO 15:27 až 15:58 HO
- Jízda č. 4: MO 16:35 až 17:06 HO
- Jízda č. 5: PE 17:43 až 17:49 DE

V tabulkách a grafech jsou uváděny minuty měření s tím, že počátek, tedy čas 0, je vždy v čase odjezdu soupravy z obratu na konečné stanici Nemocnice Motol a to i tehdy, když tam souprava fyzicky nebyla. Je tak učiněno z důvodu srovnání jednotlivých jízd a možnost jejich porovnávání.

V následujících kapitolách budou postupně uváděny získané hodnoty, bude s nimi pracováno a vyvozovány závěry. Každá z jízd měla rovněž svá specifika co se do větrání, vytápění a dalších aspektů týče, takže vždy budou uvedeny pro každou jízdu její specifika.

Parametry jednotlivých jízd

Zde uvádím parametry pro jednotlivé jízdy, které se vztahují ke všem následujícím měřením. Ne pro každou zjišťovanou veličinu jsou vždy všechny údaje relevantní, ale jedná se o úplný popis základního nastavení kabiny pro potřeby zamýšleného měření.

Barevná specifikace jednotlivých jízd, zde naznačená, pro větší přehlednost plně koresponduje s barevným rozlišením u všech následujících grafických výstupů.

- **Jízda č. 1** – Vyvětraná kabina, zavřená obě okénka, topení/větrání vypnuto, osvětlení kabiny tlumené, přítomen 1 strojvedoucí
- **Jízda č. 2** – Předem vytopená kabina, zavřená obě okénka, zapnut rychloohřev celou cestu ze stanice Depo Hostivař do stanice Nemocnice Motol a poté dál v čase měření do stanice Nádraží Veleslavín (na záznamu jde o minutu č. 5), poté přepnuto na ventilátor, osvětlení kabiny tlumené, přítomen 1 strojvedoucí
- **Jízda č. 3** – Vyvětraná kabina, otevřené levé okénko na ½ do stanice Muzeum (na záznamu jde o minutu č. 18), poté otevřeno i druhé okénko opět na ½, topení/větrání vypnuto, osvětlení kabiny plné do stanice Dejvická, pak tlumené, přítomen 1 strojvedoucí
- **Jízda č. 4** – Vyvětraná kabina, zavřená obě okénka, topení zapnuto v režimu automat a nastaveno na 23 °C, osvětlení kabiny zhasnuto, přítomni 2 strojvedoucí

- **Jízda č. 5** - Vyvětraná kabina, zavřená obě okénka, topení/větrání vypnuto, osvětlení kabiny tlumené, přítomni 2 strojvedoucí

Nutno ještě podotknouti, že jelikož se měření odehrávalo v lednu, pohybovala se venkovní teplota těsně pod bodem mrazu, obloha byla zatažená a ve volném prostoru byla sněhová pokrývka. V případě metra se tyto informace zdají být bezpředmětné, ale na lince A jsou konečné stanice povrchové a do stanice Depo Hostivař jsou vedeny koleje přímo venkovním prostředím.

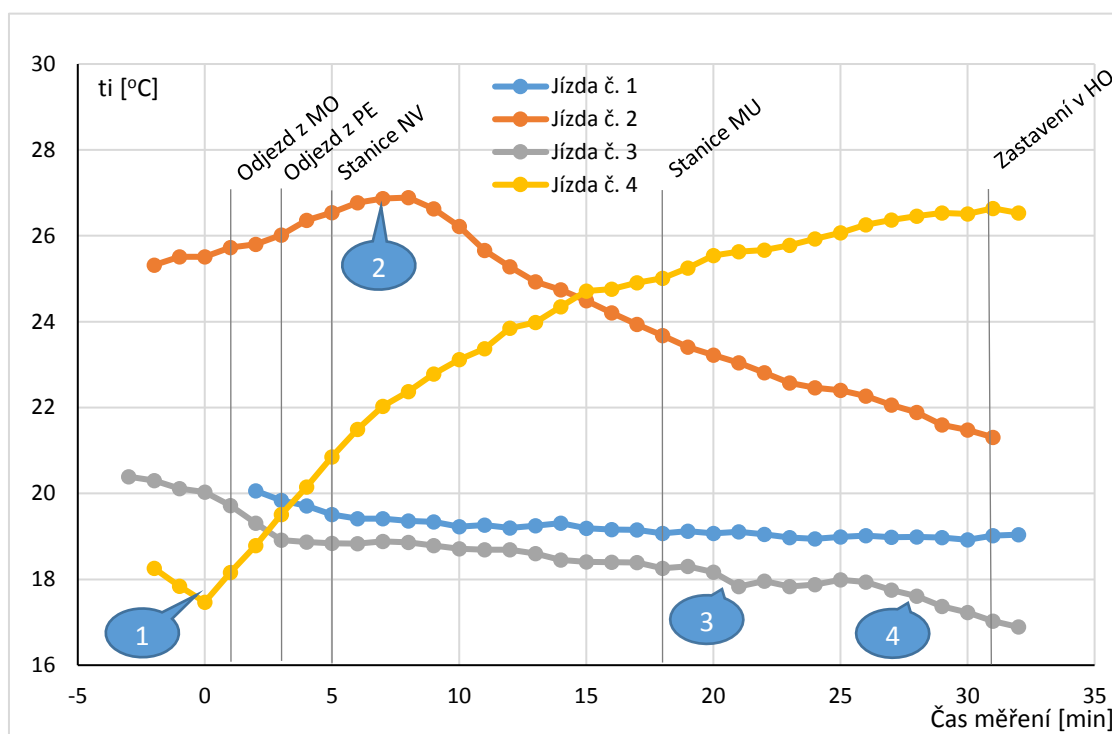
7.2.1. Teplotní průběhy

Teplota byla během měření zaznamenávána ze dvou zdrojů. Jednak teplotním čidlem, které určovalo teplotu vzduchu (t_i) v blízkosti ovládacího pultu zhruba ve výšce prsou sedícího strojvedoucího a rovněž kulovým teploměrem (t_g) umístěným vpravo ve výšce hlavy.

Kulový teploměr má dlouhou reakční dobu na změnu teploty a hodnoty z něj jsou tak opožděny za zaznamenanou teplotou vzduchu. Doba jízdy soupravy (cca 30 minut) nestačí k realizaci pomalejších změn, pro které by bylo jeho použití vhodnější. Vzhledem k absenci výraznějších zdrojů sálavého tepla a proudění vzduchu tak není použití kulového teploměru nezbytně nutné. Hodnoty z něj jsou uvedeny spolu s teplotami vzduchu v *Příloze Tab. 7*, ale při dalším zpracování a hodnocení budou přednostně užívány naměřené hodnoty teploty vzduchu (t_i).

V následujícím grafu (*Obr. 16*) jsou časové průběhy těchto hodnot vyneseny spolu s vyznačenými důležitými body z hlediska jednotlivých jízd, kde se například měnily některé parametry.

Obr. 16 - Vývoj teploty vzduchu v čase při jednotlivých jízdách soupravy



Důležité body grafu:

- 1 – Vytápění ve stanici Nemocnice Motol (MO) a následné zapnutí topení v automatickém režimu nastaveném na 23 °C.
- 2 – Doběh rychloohřevu po vypnutí topení ve stanici Nádraží Veleslavin (NV) a následné plynulé klesání teploty.
- 3 – Mírný propad teploty po otevření druhého okénka.
- 4 – Pokles teploty v úseku trati s výrazným podílem venkovního vzduchu při otevřených okénkách.

První jízda se zavřenými okny a bez jakýchkoliv doplňujících vlivů na teplotu proběhla za v podstatě konstantní průměrné teploty 19,2 °C. Tuto jízdu bych vzal jako referenční a zcela typickou pro běžný provoz v zimním období.

Na první pohled je patrné, že Jízda č. 2 začínala na rozdíl od ostatních v přehřáté kabině a to cca na 25 °C a vytápění kabiny probíhalo i dál než bylo ve stanici Nádraží Veleslavin (NV) při teplotě 26,5 °C vypnuto a následně byl zapnut ventilátor. Poté teplota ještě zhruba tři minuty narůstala, což je způsobeno doběhem na topných spirálách, jelikož i vzduch určený pro chlazení prochází stejným prostorem tj. přes topné spirály, které však nejsou v tomto případě napájeny, jak je blíže osvětleno v kapitole 6.2. Následuje prakticky lineární snižování teploty, která by se

měla ustávit těsně nad hodnotou teploty okolí. K tomuto bodu však měření nedospělo, protože vlak dříve než k tomu mohlo dojít, dojel do konečné stanice.

Na průběhu třetí jízdy s otevřenými okénky je vidět několik zajímavých věcí. Hned ze začátku jízdy je zjevný výrazný pokles teploty a to o 1,5 °C během stání na obratu stanice Nemocnice Motol a následně jízdou do stanice Petřiny. Takto rychlé „vyvětrání“ je způsobeno tím, že stanice Nemocnice Motol je povrchová a tak v ní je v zimě teplota velice nízká a to i na obratových kolejích. Snížení teploty v kabině tak proběhlo velmi rychle. Další pokles je již jen pozvolný. Malý skok je vidět i za stanicí Muzeum (MU), kde bylo otevřeno i druhé okénko. V tomto případě však má velký vliv už také průvan vznikající mezi protisobě otevřenými okénky. Dalším velmi zajímavým úsekem je konec trati. Z *Obr. 16* je zřetelný zlom ve 26. minutě měření kdy se souprava nacházela mezi stanicemi Želivského a Strašnická. Stanice Strašnická je opět téměř na povrchu a nasává tak studený vzduch z venkovního prostoru a ten se šíří i do přilehlých tunelových úseků. Rovněž na následující stanici Skalka přímo navazuje úsek, kdy souprava vyjíždí z tunelu ven a jede dál po venkovní trati. Poslední tři stanice v tomto směru jízdy jsou tak velmi chladné a projevuje se to i v jednotlivých mezistaničních úsecích. Při otevřených okénkách tak nastal i výrazný pokles teploty v kabině.

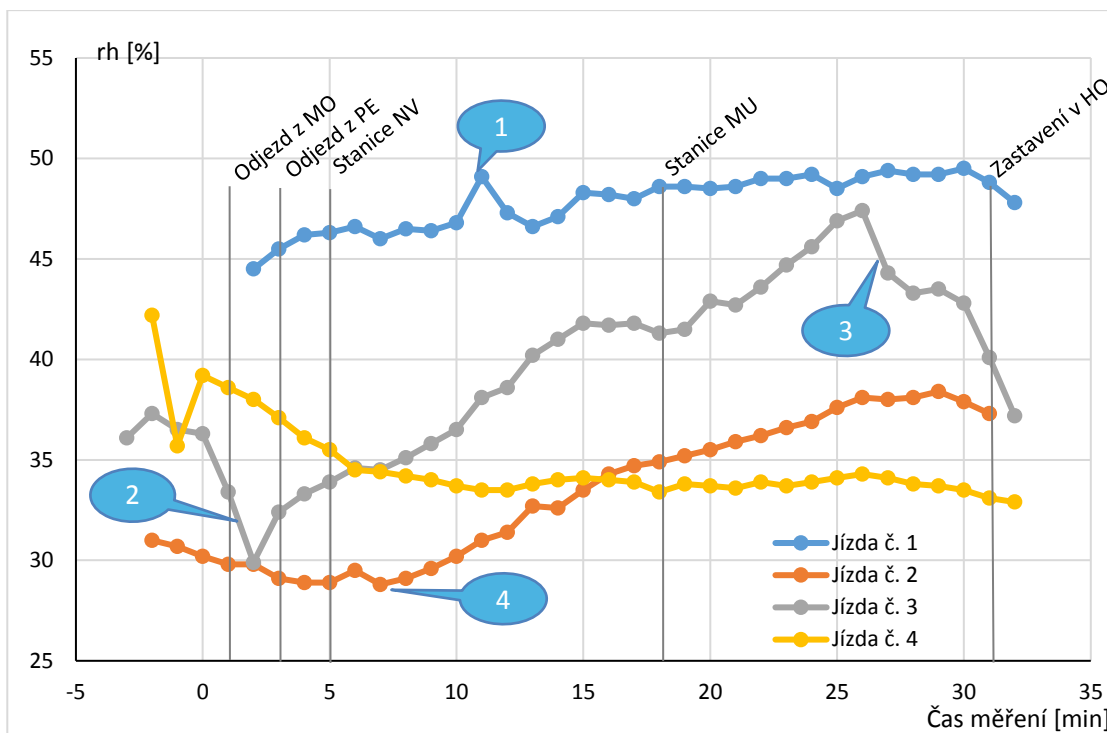
Během poslední jízdy je na obratu v Nemocnici Motol opět vidět výše popsany pokles při větrání. Poté bylo zapnuto vytápění v automatickém režimu a na termostatu nastavena teplota 23 °C. Teplota postupně narůstala ovšem nikoliv na požadované stupně Celsia, ale až k finálním 27 °C což již není snesitelné. Potvrdily se tak subjektivní poznatky ohledně regulace termostatem rozebrané v kapitole 6.1.

7.2.2. Zhodnocení vlhkosti v kabině

Hodnoty vlhkosti vzduchu rh [%] byly zaznamenávány stejným kombinovaným čidlem jako v předchozím případě teplota vzduchu. Bylo umístěno přibližně ve výšce prsou strojvedoucího na pultě na jeho pravé straně.

Opět jsou naměřené hodnoty (*Příloha Tab. 8*) vyneseny do grafu (*Obr. 17*). Barevné provedení je shodné jako v předchozím případě pro lepší orientaci.

Obr. 17 - Vlhkost během jednotlivých jízd



Důležité body grafu:

- 1 – Hodnota vybočující z trendu. Patrně jsem ve chvíli měření vykonával činnost v blízkosti čidla a ovlivnil hodnotu svým dechem.
- 2 - Vytápění ve stanici Nemocnice Motol (MO), pokles vlhkosti k úrovni suchého, mrazivého vzduchu vnějšího prostředí.
- 3 – Pokles vlhkosti v úseku trati s výrazným podílem venkovního. Nejvíce se projevil u otevřených okének, ale je patrný i u ostatních jízd.
- 4 – Zlomová hodnota po vypnutí rychloohřevu. Vzduch se přestává vysušovat a vlhkost stoupá.

Pro Jízdu č. 1 s uzavřenými okny a bez jakéhokoliv ovlivnitelného zdroje proudění vzduchu je charakteristická, a předem očekávaná, nejvyšší hodnota vzdušné vlhkosti. Průměrná hodnota za tuto jízdu dosáhla 47,8 %. Z grafu je vidět pouze malý, v podstatě lineární, nárůst vlhkosti během jízdy, způsobený přítomností a dýcháním strojvedoucího na stanovišti. Jak již bylo zmíněno výše, jízdu za takovýchto podmínek je typická pro provoz v zimním období.

U Jízdy č. 2 je zezáčátku vlhkost velmi nízká a následně dále klesá až na 28,8 % což je pouze 60 % původní hodnoty při referenční jízdě. Takto nízká vlhkost je výsledkem zapnutého rychloohřevu během cesty ze stanice Depo Hostivař do stanice Nemocnice Motol na zadním stanovišti. Došlo tak k výraznému vysušení vzduchu. Vytápění maximálním výkonem probíhalo až do stanice Nádraží Veveslavín (NV), kde nastal přechod na větrání pomocí ventilátoru. Následuje plynulý nárůst vlhkosti během pokračující jízdy až k hodnotě 38 %. Není tak rychlý

jako při otevřených okénkách jelikož ventilátor většinou nasává vzduch přímo od podlahy z kabiny a výměna vzduchu tím pádem není tak veliká. Na konci trati jsou hodnoty ovlivněny výjezdem vlaku do venkovního prostředí, což bude patrnější u jízdy s otevřenými okny.

Na průběhu třetí jízdy s otevřenými okénky jsou především dvě velmi zajímavé části. Počáteční vlhkost je zhruba na úrovni konce předchozí jízdy, ale okamžitě výrazně klesá a stoupat začne až po odjezdu ze stanice Nemocnice Motol (MO). Následuje nárůst až k hodnotám referenční první jízdy. Ke konci trati, mezi stanicemi Želivského a Strašnická, začíná další velmi výrazný pokles. Tyto propady vlhkosti na obou koncích tratě jsou, stejně jako u vývoje charakteristik teploty, dány skutečností, že stanice Nemocnice Motol a na druhé straně Strašnická, Skalka a Depo Hostivař jsou velmi blízko povrchu nebo přímo na povrchu a dostává se sem venkovní vzduch. Ten vzhledem k mrazivým podmínkám obsahoval jen nízké procento vlhkosti a při otevřených okénkách klima v kabině výrazně ovlivnil.

U poslední jízdy je z počátku opět vidět pokles při počátečním vyvětrání kabiny. Následně se při zapnutém vytápění v automatickém režimu (nastaveno 23 °C) vlhkost postupně ustálí na přibližně 33,5 %, což je víc než při maximálním vytápění, ale výrazně méně než úplně bez větrání či vytápění.

7.2.3. Výsledky měření hluku

Hladina hluku LA [dB] byla měřena zvukoměrem UNITEST 93411 (Obr. 18) připevněným na levém boku pultu strojvedoucího (Obr. 15) a zaznamenávána datalogerem (Obr. 14). Tabulka hodnot je uvedena v Příloze Tab. 9.

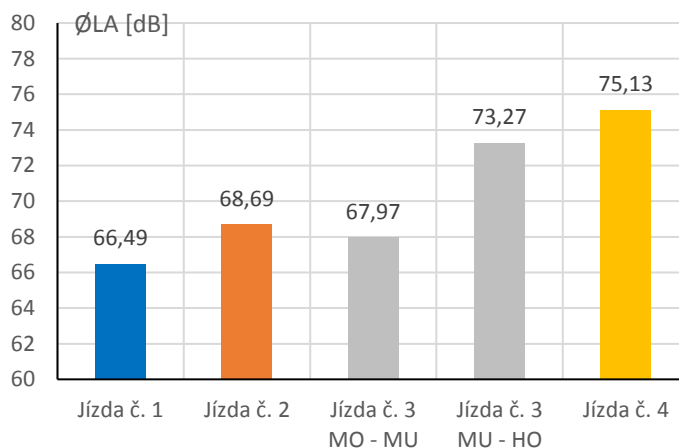
Vzhledem k velkému rozptylu hodnot měřených intervalem jedné minuty není grafické vyjádření všech naměřených bodů v tomto případě vhodné, a proto pro lepší znázornění jsou zde úrovně hluku pro jednotlivé jízdy znázorněny pouze jejich průměry - Obr. 19. Ty mají v tomto případě větší vypovídací schopnost než samotné hodnoty měřené v takto dlouhém intervalu. Jízda číslo tři je z hlediska těchto průměrů rozdělena do dvou částí, jelikož se ve stanici Muzeum změnily podmínky na stanovišti strojvedoucího dle parametrů jednotlivých jízd (bylo otevřeno druhé okénko).

Obr. 18 - Zvukoměr UNITEST 93411



Navíc oproti předchozím veličinám byl hluk měřen i ve zkrácené Jízdě č. 5, kde byl měřicí interval snižen z jedné minuty na 10 sekund - *Příloha Tab. 10* a jsou zde tak patrné nárůsty hluku za jízdy proti hodnotám při stání soupravy. Samostatný *Obr. 20* toto názorně vykresluje.

Obr. 19 - Průměry hluku naměřeného během jednotlivých jízd



Vzhledem k tomu, že při vzorkování hladiny hluku s frekvencí 1x za minutu stihne za daný interval souprava metra překonat značnou vzdálenost nebo třeba zastavit ve stanici a opět odjet, nemají jednotlivé zjištěné hodnoty příliš význam. Teprve jejich dalším zpracováním je možno určit jisté tendence pro zvolené parametry jednotlivých jízd.

Zcela podle očekávání tak z *Obr. 19* vidíme, že nejlépe z hlediska hlukové zátěže dopadla Jízda č. 1 se zavřenými okénky a vypnutou veškerou vzduchotechnikou. Průměrná hodnota hluku zde dosahovala 66,5 dB což je hluboko pod požadovaným limitem.

Lehce překvapivá se mi naopak jeví téměř shodná hladina hluku pro jízdu se zapnutým ventilátorem (ať už rychloohřev nebo větrání) při Jízdě č. 2 a otevřeným jedním okénkem při Jízdě č. 3. Subjektivní pocit během jízdy by jednoznačně určil jako hlučnější jízdu s otevřeným okénkem. Možná je to způsobeno monotónností hluku ventilátoru na rozdíl od hluku zvenčí. Rovněž zapnutý ventilátor způsobuje hluk po celou dobu včetně stání vlaku ve stanici, zatímco ve druhém případě je zdrojem pouze jedoucí souprava.

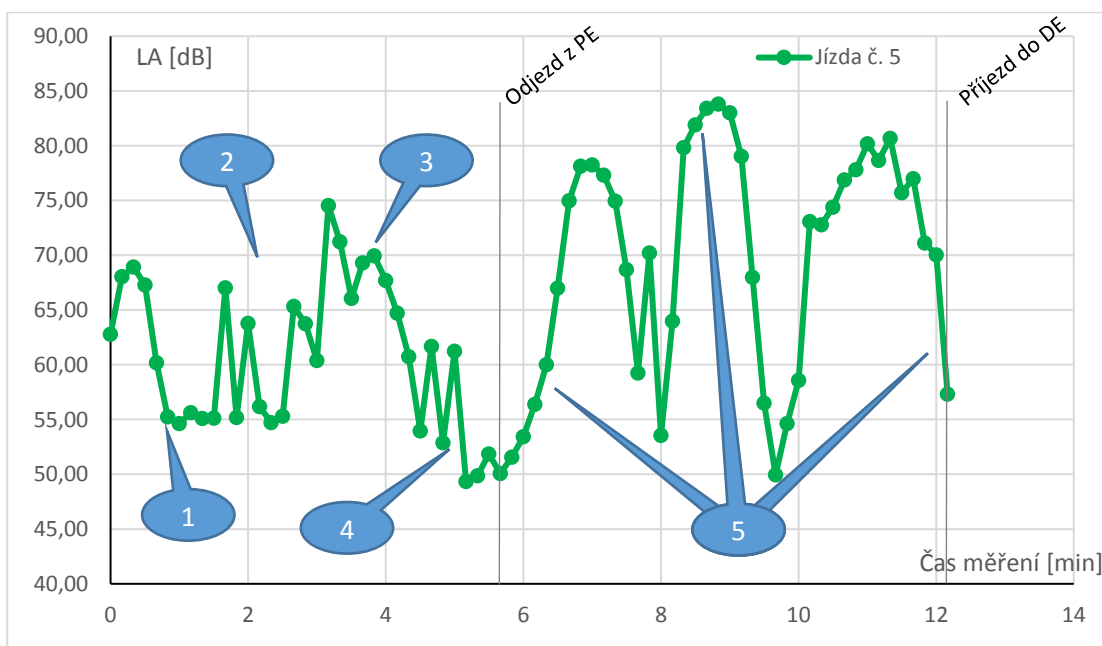
Druhá část Jízdy č. 3, kdy od stanice Muzeum (MU) byla otevřena obě okénka, je již podstatně hlučnější. Nárůst proti první jízdě je zde více než 10 % a špičkové hodnoty dosahují až na 85 dB. V letním období, kdy jsou soupravy metra často velmi vyhřáté z haly depa a trvá poměrně

dlouho (řádově přes hodinu) než se během jízdy ochladí na přijatelnou úroveň, je jízda s oběma otevřenými okny zcela běžnou. Tato úroveň hluku je již velmi obtěžující.

Velice zajímavé hodnoty ukazuje též čtvrtá jízda, kde byli přítomni na stanovišti dva strojvedoucí a zapnuté topení v automatickém režimu. Během celé jízdy probíhal hovor mezi kolegy a průměrná hladina hluku se tak, z cca 69 dB při shodných parametrech, ale jen s jedním strojvedoucím při Jízdě č. 2, zvedla až na 75 dB. To je tedy ještě víc, než když byla otevřena obě okénka. Nutno však dodat, že toto nebylo vnímáno jako hluk, tedy rušivý vliv, ale jako běžné a žádoucí zvuky způsobené hovorem.

Na samém závěru vyhrazeného měřicího času jsem ještě přenastavil interval odběru měřených vzorků na 10 sekund a projel trasu Petřiny (PE) – Dejvická (DE). Hodnoty jsou uvedeny v Příloze Tab. 10 a Obr. 20 znázorňuje jejich průběh.

Obr. 20 - Vývoj hluku při sníženém intervalu měření v úseku PE – DE



Důležité body grafu:

- 1 – V tuto chvíli souprava přijela ze stanice na obratovou kolej Petřiny.
- 2 – Hluk způsobený zprovozněním soupravy strojvedoucím a hovor.
- 3 – Pomalá jízda z obratové koleje do stanice Petřiny (PE).
- 4 – Stání ve stanici Petřiny a hovor.
- 5 – Zrychlování, jízda maximální rychlostí a brzdění až do zastavení ve stanicích Nádraží Veleslavín (NV), Bořislavka (BO) a Dejvická (DE)

Jsou zde jasně patrné úseky, kdy souprava stála ve stanici a hluk tak byl minimální. Jde o časové úseky v okolí 5., 8. a 10. minuty, kdy souprava stála postupně ve stanicích Petřiny, Nádraží Veleslavín a Bořislavka. Ve 12. minutě bylo měření ukončeno po zastavení ve stanici Dejvická. Naproti tomu při rozjezdu hluk prudce narůstal, během jízdy se ustálil v oblasti kolem 80 dB a při snižování rychlosti opět postupně klesal až do úplného zastavení. Pro úplnost ještě nutno dodat, že souprava v uvedených mezistaničních úsecích dosahuje své maximální provozní rychlosti $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

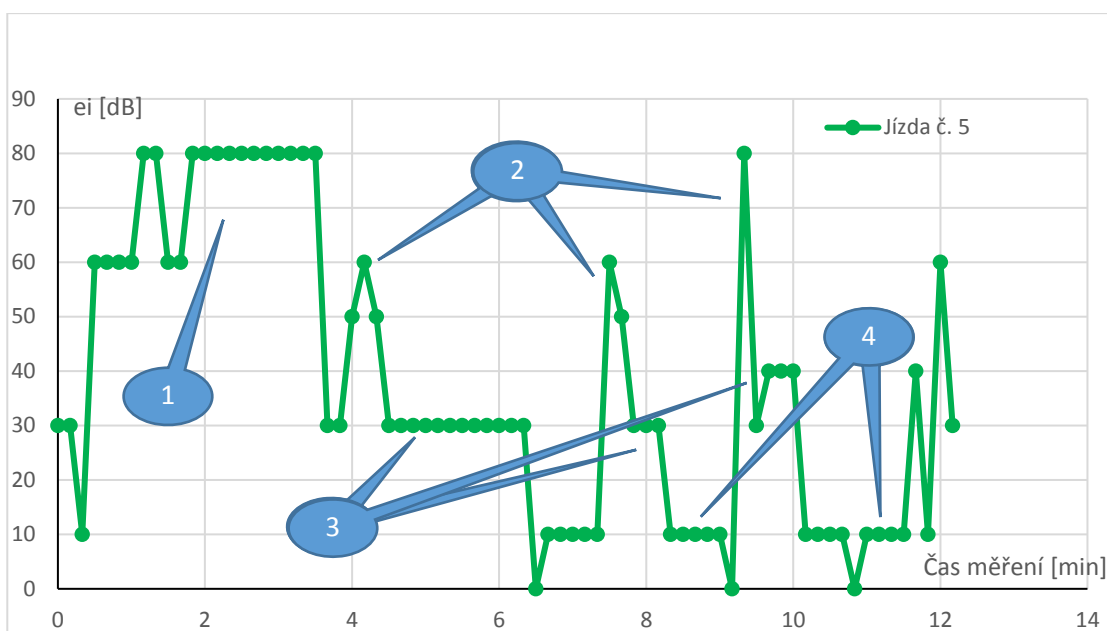
V levé části grafu je ještě vidět zajíždění soupravy do obratu Petřiny (čas 0 – 0:50), stání na obratové koleji se špičkami způsobenými příchodem strojvedoucího do kabiny a manipulací při zprovoznování stanoviště (0:50 – 3) a následně výjezd soupravy k 1. staniční koleji Petřiny (3 – 4,5).

7.2.4. Naměřené hladiny osvětlení

Osvětlení v kabině bylo snímáno sondou Luxsonde FLA613 – VL od společnosti Ahlborn umístěnou na přední části pultu strojvedoucího viz *Obr. 15*. Vzhledem k tomu, že metro jezdí převážně pod zemí je hladina osvětlení velice nízká v řádu jednotek až desítek luxů. Zaznamenané hodnoty pro jízdy 1 až 4 jsou sice uvedeny v *Příloze Tab. 11*, ale z praktického hlediska nemají velký význam a dále zde nebudou vyhodnocovány. Za zmínku stojí snad jen prudká změna hodnot při výjezdu ven z tunelu cestou do stanice Depo Hostivař, kde se nárazově změnila hodnota osvětlení z desítek luxů na cca 1500 lx. Tento nápor na oči je pak ještě daleko větší při slunečném počasí.

Osvětlení bylo rovněž zaznamenáváno během zkrácené jízdy č. 5 (*Příloha Tab. 12*) a pro tuto jízdu zde již pro ilustraci graf uvádím (*Obr. 21*).

Obr. 21 - Zaznamenané osvětlení při sníženém intervalu měření v úseku PE – DE



Důležité body grafu:

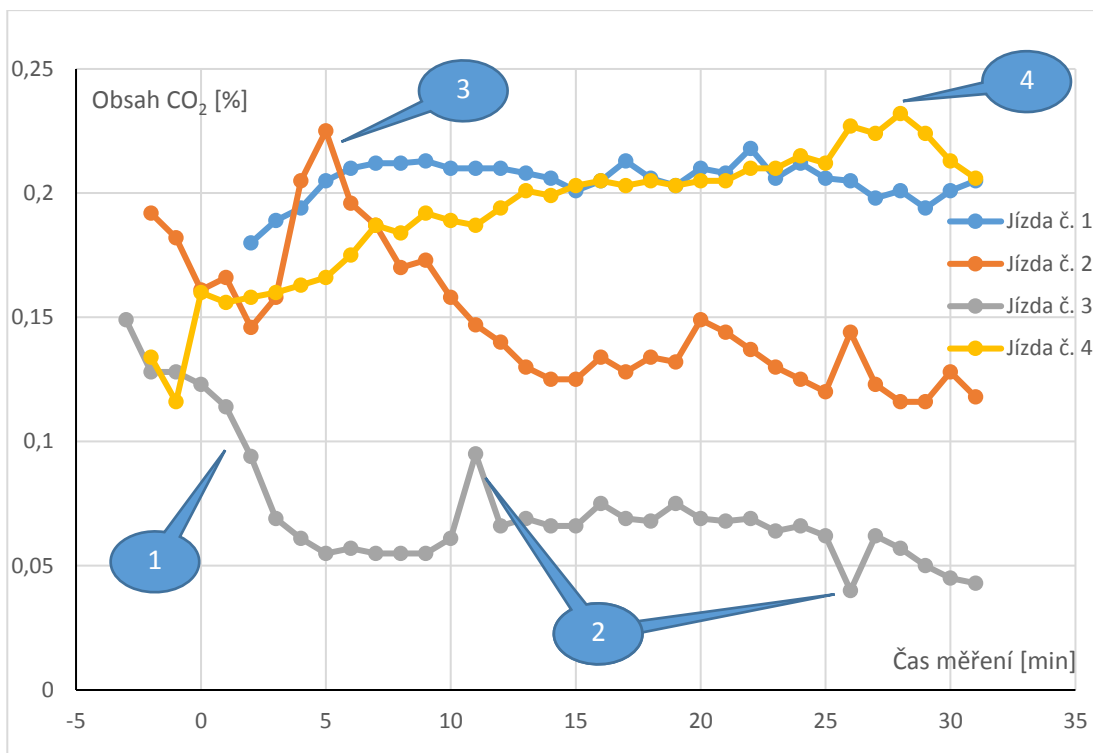
- 1 – Obrat Petřiny, dobře osvětlen včetně přilehlých kolejí
- 2 – Vyšší osvětlení vždy při vjezdu do stanice.
- 3 – Stání ve stanicích. Čelo vlaku je již směrem do tunelu, proto je osvětlení nižší než při vjezdu do stanice.
- 4 – Jízda vlaku tunelem.

Opět jako u měření hluku během Jízdy č. 5 je zde jasně vidět, kdy vlak stál ve stanici (hodnoty 30 – 40 lx) a kdy se nacházel v tunelu (10 lx a méně). Špičky při vjezdu do stanice způsobuje větší míra osvětlení ze stanice pronikající do kabiny skrze čelní sklo než při následném stání, kdy před soupravou už je opět pouze neosvětlený tunel. Výrazně vyšší osvětlení v prvních minutách měření je stání soupravy na obrátové koleji, která je osvětlena stejně jako koleje před čelem vlaku směrem do stanice.

7.2.5. Obsah CO₂ ve vzduchu

Snímač CO₂ byl v kabině umístěn přímo uprostřed pultu strojvedoucího (Obr. 15) tak, aby zaznamenával stav ovzduší přibližně v oblasti hlavy, ale dost daleko na to, aby nebyl ovlivněn přímo vydechaným vzduchem přítomného strojvůdce. Následně jsou získané hodnoty z datalogeru upraveny do Tab. 13 v Příloze této práce a grafický výstup z nich (Obr. 22) zhodnocen pod tímto obrázkem.

Obr. 22 - Graf závislosti obsahu CO₂ ve vzduchu na parametrech jízdy



Důležité body grafu:

- 1 – Prudký pokles CO₂ po vyvětrání během prvních dvou stanic jízdy (minuta 0 až 5).
- 2 – Výkyvy patrně způsobené manipulací v kabině.
- 3 – Počáteční vysoká hladina při rychloohřevu, následným přepnutím na ventilátor postupně klesá.
- 4 – Při obsazení stanoviště dvěma strojvedoucími hladina CO₂ stoupá velmi vysoko i přes zapnutý ohřev na automat.

U vyhodnocování těchto průběhů bych netradičně začal Jízdou č. 3, u které byla po dobu jízdy otevřena okénka a tím pádem se hodnoty CO₂ v kabině blížily hodnotám venkovním. Na začátku je patrné prudké větrání a tím pokles CO₂ z počáteční vyšší hodnoty. Následně se hodnoty ustálily na průměrných 0,06 %. Na konci trati, kde vlak vyjel na povrch, klesla koncentrace na venkovní hodnotu 0,042 %, což je pro zimní období zcela obvyklé. Tyto hodnoty tak berme jako základní pro další hodnocení.

Druhou zcela elementární jízdou, a to především pro svou typičnost pro zimní období, je Jízda č. 1. Žádná nucená ventilace a uzavřená okénka zapříčinila nárůst hladiny obsahu oxidu uhličitého ve vzduchu až na průměrných 0,21 %, kde se držela po celou dobu jízdy. Toto jsou již hodnoty mající vliv na únavu a koncentraci.

Zapnutý rychloohřev během cesty na zadním stanovišti, který byl přípravou na Jízdu č. 2 a pokračoval již během měření až do stanice NV (minuta 5), kabinu od CO₂ příliš nevyvětral. Naproti tomu následně zapnutý ventilátor již ano a to v celku rychle na průměrnou hodnotu 0,13 %, která se již nadále v kabině držela.

Poslední jízda, během níž byli v kabině dva strojvedoucí a zavřená okénka, přinesla vcelku očekávané postupné navyšování koncentrace oxidu uhličitého a ani zapnuté topení v automatickém režimu, které zajišťovalo alespoň nějakou cirkulaci vzduchu, nebylo schopno tento nárůst zastavit. Koncentrace se vyšplhala až na 0,232 % a kdyby nepřišel konec trati, pravděpodobně by šla ještě výše. Toto již jsou hodnoty alarmující, protože jízda ve dvou (i více) lidech v kabině je poměrně častou záležitostí a vliv na pozornost je při řízení metra jev značně nežádoucí.

8. Závěr

Z teplotně vlhkostního pohledu na prostředí v kabině strojvedoucího metra je zřejmé, že zůstává dle očekávání poměrně stabilní pokud se ho nepokoušíme nějakým způsobem regulovat. Automatická regulace totiž není schopna trvale udržet stabilní teplotu a tak je nutno přizpůsobovat a kombinovat větrání a vytápění ručně a reagovat tak na aktuální stav. To může způsobovat jistou míru diskomfortu, ale v žádném případě se však ani nepřibližuje limitům, kde by mohlo mít závažnější vliv na lidské zdraví.

Zatímco v zimním období se teplota drží, pro daný typ práce, ve velmi přijatelných mezích pokud kabinu úmyslně nepřetopíme, v letním období působí horko, které se z kabiny těžko vyvětrává, nepříjemně. Snižování teploty je pak spojeno s průvanem a nárůstem hluku z otevřených okének.

Vlhkost v tunelu metra je vesměs konstantní v hodnotách 30 % až 50 %. V podmínkách při kterých měření probíhalo, tzn. zimní období, teplota pod bodem mrazu a nízká vlhkost (pod 30 %), se drží v oblasti kolem 47 %. Stanice a části trati s výraznou výměnou vzduchu s vnějším prostředím jsou tímto ovlivněny a hodnoty s ohledem na způsob větrání dosahují úrovní vlhkosti venkovní. Plné vytápění (bez větrání) naopak vlhkost výrazně snižuje bez ohledu na vnější stav. Hodnoty ve vytápěné kabině jen kolem 30% jsou již velice nízké a na samé hranici doporučených hodnot pro pracovní prostředí. Toto může v zimním období působit zejména respirační problémy, což mohu potvrdit z vlastních zkušeností i vyjádření některých svých kolegů. Obvyklým projevem vytápění kabin tak je u citlivějších jedinců pocit škrábání v krku a suchý kašel výrazněji se projevující v pracovní době a po ní. Zmírnit tyto projevy by

bylo možné častějším větráním a tím nepřesoušením vzduchu topným systémem, ale zase na úkor tepelného komfortu a možnosti nastydnutí z průvanu.

Trvalá zátěž hlukem při řízení soupravy metra se ani nepřibližuje k hygienickým limitům pro pracovní prostředí. Nikterak se tak nepotvrdil dost častý subjektivní pocit některých mých kolegů o přílišné hlučnosti v kabině. Jen při otevřených okénkách je expozice o něco vyšší, ale pouze se vyrovnává běžné verbální komunikaci, pokud jsou v kabině dvě osoby. Pocit zvýšeného hluku je tak patrně dán typem tohoto hluku, který se jeví jako hluk pozadí, a navíc musí být přehlušován provozními signalizacemi, hlášeními, komunikací, atd.

Naopak očekávání se naplnilo z hlediska koncentrace CO₂. Hodnoty se trvale drží velmi vysoko a pouze jízda s otevřenými okénky zajišťuje dostatečný přísun čerstvého vzduchu pro plně soustředěný výkon práce. Hodnoty kolem 0,2 % i výše již znamenají pociťování únavy, ztrátu koncentrace a zásadně tak překračují maximálních doporučených 0,15 %. Zcela běžný tak je jev, kdy strojvedoucí již při cestě do práce (s kolegou v kabině) začíná zívát. Je to patrně reflexivní chování reagující na očekávání nedostatku kyslíku ve vzduchu (podpořené i skutečným nárůstem CO₂ proti venkovnímu prostředí).

Zcela jednoznačně je však samotný výkon služby strojvedoucího náročný na pozornost a únava silně podpořená vysokou hladinou oxidu uhličitého je značná. K jejímu zmírňování lze využít možnosti přímého větrání, což však s sebou přináší teplotní a hlukové snížení komfortu. Na konečných stanicích strojvedoucí vždy přechází podél vlaku na opačné řídicí stanoviště, takže má alespoň pár minut na to nadýchat se čerstvého vzduchu. Nařízením vlády č. 589/2006 Sb. a Směrnicí generálního ředitele č. 52007 jsou pak stanoveny povinné bezpečnostní přestávky, kdy strojvedoucí nesmí být přítomen na stanovišti a má tak čas na regeneraci. Pro metro je stanoven nejdelší možný čas strávený v kuse na soupravě na 2,5 hodiny. I to je však již značně unavující. Možným řešením by mohla být úprava směn tak, aby nevznikaly takto dlouhé bloky v kuse, ale byly rozděleny třeba i kratšími pauzami.

Závěrem bych rád uvedl, že tato práce zcela jistě naplnila cíle ohledně seznámení se s pracovními podmínkami v kabině metra a to jak po teoretické stránce uvedením doporučených, případně mezních hodnot pro jednotlivé veličiny a norem, nařízení a předpisů, které je stanovují, tak i praktickou částí v kabině metra za provozu. Výsledné hodnoty byly zpracovány, interpretovány a konkrétní poznatky diskutovány s ohledem na zkušenosti z provozu.

Zjištěné skutečnosti velmi rozšířili mé povědomí o samotném prostředí v kabině, jež jsem znal a mohl hodnotit do té doby pouze subjektivně. Byli tak pro mne velkým přínosem a některým částem bych se rád věnoval i nadále ve své další práci.

9. Literatura

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. NV č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: NV č. 361/2007 Sb. Praha, 2007, ročník 2007, číslo 361. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361/zneni-20160129>
- [2] NV č. 272/2011 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: . Praha, 2011, ročník 2011, číslo 272.
- [3] ČSN 28 1310: Vozy metra pro přepravu cestujících - Základní technické požadavky a zkoušky. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [4] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť. In: *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha, 2007 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikroklimaticke-podminky-vnitriho-prostredi-pracovist>
- [5] *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, b.r. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/>
- [6] *Věstník MZ ČR*. Praha: MZ ČR, 2013, 2013(8).
- [7] VRBICKÝ, Jiří. *Senzor měření rychlosti proudění vzduchu v elektrickém stroji*. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Radek Vlach, Ph.D.
- [8] TZB-info. *TZB-info* [online]. Chrudim: Protronix s.r.o., 2009 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>
- [9] *Zákon č. 266/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů: Zákon o drahách*. In: . Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 1994, ročník 1994, číslo 266. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>
- [10] REJDAL, Tomáš. *WWW.METROWEB.CZ: Web nejen o pražském metru* [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://www.metroweb.cz>

- [11] *RADIAL BLOWER RC-T G2D 146 BG 06-25 GF*. Berlin: RC-Technik, 2012. Dostupné také z: <http://www.rc-technik.com/wp-content/uploads/2015/12/Data-Sheet-RC-G2D-146-BG-06-25-GF1.pdf>
- [12] HYUNDAI CORPORATION. *Meteorologická stanice, Model: WS 1814*. Zlín: HP TRONIC Zlín, b.r.. Dostupné také z: http://www.hyundai-electronics.cz/_img_226767/hyuws1814_pl_cz.pdf
- [13] *Laserliner - Innovation in Tools* [online]. Velká Británie: Property Perspective Ltd., 2016 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://laser-liner.co.uk/product/airflowtest-master/>

10. Seznam obrázků

Obr. 1 - Kulový teploměr	11
Obr. 2 - Lopatkový anemometr	13
Obr. 3 - Souprava Ečs	16
Obr. 4 - Souprava 81-71	16
Obr. 5 - Souprava 81-71M	17
Obr. 6 - Souprava M1	18
Obr. 7 - Místo nasávání vzduchu k ventilátoru	19
Obr. 8 - Průduchy od ventilace a topení	19
Obr. 9 – Ventilátor a přívody do boxu s topnými spirálami	20
Obr. 10 – Panel nouze s vyznačeným přepínačem topení, ventilátor.....	20
Obr. 11 – Pootevřené levé okénko na soupravě typu 81-71M	21
Obr. 12 – Umístění meteostanice na řídicím pultu	21
Obr. 13 - Závislost teploty v kabině od zapnutí rychoohřevu na čase	22
Obr. 14 - Univerzální dataloger ALMEMO 2590-9.....	23
Obr. 15 - Rozmístění měřicích přístrojů v kabině strojvedoucího.....	24
Obr. 16 - Vývoj teploty vzduchu v čase při jednotlivých jízdách soupravy	27
Obr. 17 - Vlhkost během jednotlivých jízd	29
Obr. 18 - Zvukoměr UNITEST 93411.....	30
Obr. 19 - Průměry hluku naměřeného během jednotlivých jízd.....	31
Obr. 20 - Vývoj hluku při sníženém intervalu měření v úseku PE – DE	32
Obr. 21 - Zaznamenané osvětlení při sníženém intervalu měření v úseku PE – DE.....	34
Obr. 22 - Graf závislosti obsahu CO ₂ ve vzduchu na parametrech jízdy	35

11. Příloha

Tab. 6 - Závislost teploty T [°C] v kabině od zapnutí rychoohřevu na čase

t [min]	T [°C]	t [min]	T [°C]	t [min]	T [°C]	t [min]	T [°C]	t [min]	T [°C]
0	21,6	9,5	21,7	19	22,8	28	24,3	37	26
0,5	21,6	10	21,8	19,5	22,9	28,5	24,4	37,5	26,2
1	21,6	10,5	21,8	20	23	29	24,5	38	26,3
1,5	21,6	11	21,8	20,5	23	29,5	24,6	38,5	26,4
2	21,6	11,5	21,9	21	23,2	30	24,7	39	26,4
2,5	21,6	12	21,9	21,5	23,2	30,5	24,8	39,5	26,5
3	21,5	12,5	22	22	23,3	31	24,9	40	26,7
3,5	21,5	13	22	22,5	23,4	31,5	25	40,5	26,8
4	21,5	13,5	22,1	23	23,5	32	25,1	41	26,9
4,5	21,5	14	22,1	23,5	23,5	32,5	25,2	41,5	27
5	21,5	14,5	22,2	24	23,6	33	25,2	42	27,1
5,5	21,5	15	22,3	24,5	23,7	33,5	25,4	42,5	27,2
6	21,6	15,5	22,4	25	23,8	34	25,5	43	27,3
6,5	21,6	16	22,4	25,5	23,9	34,5	25,6	43,5	27,4
7	21,6	16,5	22,5	26	23,9	35	25,7	44	27,4
7,5	21,6	17	22,5	26,5	24,1	35,5	25,7	44,5	27,6
8	21,6	17,5	22,6	27	24,1	36	25,9	45	27,7
8,5	21,7	18	22,7	27,5	24,3	36,5	26	115	37,6
9	21,7	18,5	22,7						

Tab. 7 - Tabulka hodnot naměřených teplot vzduchu t_i [°C] a kulového teploměru t_g [°C]

Čas [min]	Jízda č. 1		Jízda č. 2		Jízda č. 3		Jízda č. 4	
	t_i [°C]	t_g [°C]	t_i [°C]	t_g [°C]	t_i [°C]	t_g [°C]	t_i [°C]	t_g [°C]
-3					20,39	20,57		
-2			25,32	25,1	20,3	20,56	18,26	18,35
-1			25,51	25,29	20,11	20,52	17,84	18,38
0			25,51	25,48	20,03	20,49	17,47	18,31
1			25,73	25,69	19,72	20,46	18,16	18,3
2	20,06	19,71	25,8	25,89	19,31	20,33	18,79	18,32
3	19,84	19,62	26,02	26,08	18,91	20,17	19,51	18,41
4	19,71	19,55	26,36	26,31	18,87	19,99	20,15	18,59
5	19,51	19,5	26,54	26,51	18,84	19,84	20,85	18,85
6	19,41	19,44	26,77	26,74	18,83	19,7	21,49	19,22
7	19,41	19,4	26,87	26,98	18,88	19,58	22,03	19,6
8	19,36	19,37	26,89	27,14	18,86	19,47	22,37	20,05
9	19,34	19,35	26,63	27,32	18,79	19,39	22,78	20,47
10	19,23	19,29	26,22	27,4	18,71	19,27	23,12	20,94
11	19,26	19,29	25,66	27,39	18,69	19,19	23,37	21,38
12	19,2	19,28	25,28	27,33	18,69	19,11	23,85	21,8
13	19,25	19,25	24,93	27,21	18,6	19,03	23,98	22,2
14	19,31	19,23	24,74	27,05	18,45	18,93	24,35	22,65
15	19,19	19,2	24,49	26,86	18,41	18,83	24,71	23
16	19,16	19,2	24,21	26,6	18,4	18,75	24,76	23,37
17	19,15	19,15	23,94	26,37	18,39	18,67	24,91	23,73
18	19,07	19,11	23,68	26,12	18,26	18,59	25,01	24,04
19	19,12	19,08	23,41	25,86	18,3	18,52	25,25	24,33
20	19,07	19,07	23,22	25,6	18,17	18,42	25,54	24,61
21	19,11	19,07	23,04	25,35	17,83	18,33	25,63	24,87
22	19,05	19,06	22,81	25,08	17,96	18,23	25,67	25,16
23	18,97	19,03	22,57	24,84	17,83	18,13	25,78	25,38
24	18,94	19,01	22,46	24,63	17,88	18,07	25,93	25,61
25	18,99	19	22,4	24,39	17,99	18	26,07	25,87
26	19,02	19	22,27	24,21	17,94	17,93	26,26	26,11
27	18,98	19,02	22,06	24	17,75	17,88	26,37	26,33
28	18,99	19	21,89	23,81	17,61	17,83	26,46	26,52
29	18,97	19,01	21,6	23,6	17,37	17,73	26,53	26,72
30	18,92	18,98	21,48	23,43	17,23	17,67	26,51	26,89
31	19,02	18,95	21,31	23,23	17,03	17,6	26,64	27,07
32	19,04	18,95			16,89	17,49	26,53	27,18

Tab. 8 - Tabulka hodnot naměřených vlhkostí vzduchu rh [%] pro jednotlivé jízdy

Čas [min]	Jízda č. 1	Jízda č. 2	Jízda č. 3	Jízda č. 4
	rh [%]	rh [%]	rh [%]	rh [%]
-3			36,1	
-2		31	37,3	42,2
-1		30,7	36,5	35,7
0		30,2	36,3	39,2
1		29,8	33,4	38,6
2	44,5	29,8	29,9	38
3	45,5	29,1	32,4	37,1
4	46,2	28,9	33,3	36,1
5	46,3	28,9	33,9	35,5
6	46,6	29,5	34,6	34,5
7	46	28,8	34,5	34,4
8	46,5	29,1	35,1	34,2
9	46,4	29,6	35,8	34
10	46,8	30,2	36,5	33,7
11	49,1	31	38,1	33,5
12	47,3	31,4	38,6	33,5
13	46,6	32,7	40,2	33,8
14	47,1	32,6	41	34

Čas [min]	Jízda č. 1	Jízda č. 2	Jízda č. 3	Jízda č. 4
	rh [%]	rh [%]	rh [%]	rh [%]
15	48,3	33,5	41,8	34,1
16	48,2	34,3	41,7	34
17	48	34,7	41,8	33,9
18	48,6	34,9	41,3	33,4
19	48,6	35,2	41,5	33,8
20	48,5	35,5	42,9	33,7
21	48,6	35,9	42,7	33,6
22	49	36,2	43,6	33,9
23	49	36,6	44,7	33,7
24	49,2	36,9	45,6	33,9
25	48,5	37,6	46,9	34,1
26	49,1	38,1	47,4	34,3
27	49,4	38	44,3	34,1
28	49,2	38,1	43,3	33,8
29	49,2	38,4	43,5	33,7
30	49,5	37,9	42,8	33,5
31	48,8	37,3	40,1	33,1
32	47,8		37,2	32,9

Tab. 9 - Tabulka hodnot hluku LA [dB] naměřených pro jednotlivé jízdy

Čas [min]	Jízda č. 1	Jízda č. 2	Jízda č. 3	Jízda č. 4	Čas [min]	Jízda č. 1	Jízda č. 2	Jízda č. 3	Jízda č. 4
	LA [dB]	LA [dB]	LA [dB]	LA [dB]		LA [dB]	LA [dB]	LA [dB]	LA [dB]
-3			57,38		15	53,25	70,21	60,02	68,81
-2		56	57,55	54,23	16	59,46	77,82	84,4	67,07
-1		56,47	58	77,05	17	76,24	54,73	57,83	77,58
0		65,14	57,72	76,34	18	48,49	69,56	62,14	74,63
1		55,82	55,68	57,53	19	79,92	77,49	84,59	82,45
2	67,74	72,41	76,83	79,3	20	58,04	85,03	81,95	73,73
3	52,16	75,01	68,91	85,29	21	67,68	89,88	54,2	70,27
4	59,49	61,17	79,35	69,17	22	77,16	76,83	81,6	83
5	77,2	77,61	71,65	82,57	23	55,3	56,88	82,83	74,56
6	58,97	56,44	80,4	64,71	24	76,55	71,31	70,8	80
7	69,76	69,5	58,65	68,91	25	60,98	74,3	81,42	71,28
8	77,16	75	83,71	83,23	26	77,96	60,93	62,72	79,18
9	80,8	82,47	75,47	82,15	27	50,01	71,36	78,35	60,91
10	50,12	59,45	57,13	79,07	28	70,12	74	82,85	78
11	78,7	81,1	80,69	86,53	29	71,8	57,11	69,13	78,36
12	76,76	54,55	60,93	66,48	30	55,16	67,9	76,27	67,31
13	62,47	79,11	86,87	79,54	31	66,42	64,34	71,23	85,87
14	80,48	58,4	58,13	84,97	32	64,69		59	79,55

Tab. 10 - Tabulka hluku při sníženém intervalu měření v úseku PE – DE

Jízda č. 5							
Čas [min]	LA [dB]	Čas [min]	LA [dB]	Čas [min]	LA [dB]	Čas [min]	LA [dB]
0:00	62,79	3:10	74,55	6:20	60,00	9:30	56,50
0:10	68,06	3:20	71,23	6:30	66,99	9:40	49,95
0:20	68,93	3:30	66,06	6:40	74,98	9:50	54,64
0:30	67,29	3:40	69,32	6:50	78,14	10:00	58,57
0:40	60,18	3:50	69,94	7:00	78,25	10:10	73,09
0:50	55,24	4:00	67,70	7:10	77,31	10:20	72,79
1:00	54,63	4:10	64,72	7:20	74,95	10:30	74,39
1:10	55,64	4:20	60,73	7:30	68,69	10:40	76,88
1:20	55,11	4:30	53,97	7:40	59,25	10:50	77,81
1:30	55,12	4:40	61,68	7:50	70,21	11:00	80,18
1:40	67,02	4:50	52,89	8:00	53,55	11:10	78,65
1:50	55,19	5:00	61,25	8:10	63,98	11:20	80,69
2:00	63,79	5:10	49,33	8:20	79,82	11:30	75,71
2:10	56,19	5:20	49,88	8:30	81,91	11:40	76,99
2:20	54,71	5:30	51,86	8:40	83,44	11:50	71,12
2:30	55,30	5:40	50,08	8:50	83,82	12:00	70,04
2:40	65,33	5:50	51,56	9:00	83,03	12:10	57,31
2:50	63,74	6:00	53,44	9:10	79,03		
3:00	60,39	6:10	56,39	9:20	67,98		

Tab. 11 - Tabulka hodnot hladiny osvětlení e_i [klx] naměřených pro jednotlivé jízdy

Čas [min]	Jízda č. 1	Jízda č. 2	Jízda č. 3	Jízda č. 4	Čas [min]	Jízda č. 1	Jízda č. 2	Jízda č. 3	Jízda č. 4
	e_i [klx]	e_i [klx]	e_i [klx]	e_i [klx]		e_i [klx]	e_i [klx]	e_i [klx]	e_i [klx]
-3			0,05		15	0,03	0,03	0,03	0,03
-2		0,04	0,05	0,05	16	0,04	0,01	0,01	0,05
-1		0,05	0,05	0,05	17	0,01	0,04	0,04	0
0		0,3	0,06	0,08	18	0,03	0,04	0,03	0,01
1		0,15	0,08	0,04	19	0,01	0,01	0,01	0,01
2	0,03	0,04	0,01	0,03	20	0,03	0,01	0,01	0
3	0,03	0	0,05	0,01	21	0,04	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	22	0,01	0,01	0,01	0,01
5	0,01	0,01	0,05	0	23	0,03	0,03	0,01	0,03
6	0,01	0,03	0,03	0	24	0,01	0,05	0,06	0,01
7	0,06	0,05	0,04	0,05	25	0,03	0,01	0,01	0,01
8	0,01	0	0,03	0	26	0,01	0,01	0,03	0
9	0,01	0,01	0,05	0	27	0,01	0,01	0,01	0,01
10	0,01	0,01	0,03	0,01	28	0	0,01	0,01	0
11	0,01	0,01	0,01	0	29	0,01	0,06	0,06	0,01
12	0,01	0,03	0,03	0,01	30	0,06	1,47	0,01	0,04
13	0,03	0,01	0,01	0,03	31	0,01	0,05	0,18	0,01
14	0,01	0,01	0,03	0,01	32	1,54		0,06	0,05

Tab. 12 - Tabulka osvětlení e_i [lx] při sníženém intervalu měření v úseku PE – DE

Jízda č. 5									
Čas [min]	e_i [lx]	Čas [min]	e_i [lx]	Čas [min]	e_i [lx]	Čas [min]	e_i [lx]	Čas [min]	e_i [lx]
0:00	30	3:10	80	6:20	30	9:30	30		
0:10	30	3:20	80	6:30	0	9:40	40		
0:20	10	3:30	80	6:40	10	9:50	40		
0:30	60	3:40	30	6:50	10	10:00	40		
0:40	60	3:50	30	7:00	10	10:10	10		
0:50	60	4:00	50	7:10	10	10:20	10		
1:00	60	4:10	60	7:20	10	10:30	10		
1:10	80	4:20	50	7:30	60	10:40	10		
1:20	80	4:30	30	7:40	50	10:50	0		
1:30	60	4:40	30	7:50	30	11:00	10		
1:40	60	4:50	30	8:00	30	11:10	10		
1:50	80	5:00	30	8:10	30	11:20	10		
2:00	80	5:10	30	8:20	10	11:30	10		
2:10	80	5:20	30	8:30	10	11:40	40		
2:20	80	5:30	30	8:40	10	11:50	10		
2:30	80	5:40	30	8:50	10	12:00	60		
2:40	80	5:50	30	9:00	10	12:10	30		
2:50	80	6:00	30	9:10	0				
3:00	80	6:10	30	9:20	80				

Tab. 13 - Tabulka hodnot obsahu CO₂ [%] naměřených pro jednotlivé jízdy

Čas [min]	Jízda č. 1	Jízda č. 2	Jízda č. 3	Jízda č. 4
	[%]	[%]	[%]	[%]
-3			0,149	
-2		0,192	0,128	0,134
-1		0,182	0,128	0,116
0		0,161	0,123	0,16
1		0,166	0,114	0,156
2	0,18	0,146	0,094	0,158
3	0,189	0,158	0,069	0,16
4	0,194	0,205	0,061	0,163
5	0,205	0,225	0,055	0,166
6	0,21	0,196	0,057	0,175
7	0,212	0,187	0,055	0,187
8	0,212	0,17	0,055	0,184
9	0,213	0,173	0,055	0,192
10	0,21	0,158	0,061	0,189
11	0,21	0,147	0,095	0,187
12	0,21	0,14	0,066	0,194
13	0,208	0,13	0,069	0,201
14	0,206	0,125	0,066	0,199
15	0,201	0,125	0,066	0,203
16	0,205	0,134	0,075	0,205
17	0,213	0,128	0,069	0,203
18	0,206	0,134	0,068	0,205
19	0,203	0,132	0,075	0,203
20	0,21	0,149	0,069	0,205
21	0,208	0,144	0,068	0,205
22	0,218	0,137	0,069	0,21
23	0,206	0,13	0,064	0,21
24	0,212	0,125	0,066	0,215
25	0,206	0,12	0,062	0,212
26	0,205	0,144	0,04	0,227
27	0,198	0,123	0,062	0,224
28	0,201	0,116	0,057	0,232
29	0,194	0,116	0,05	0,224
30	0,201	0,128	0,045	0,213
31	0,205	0,118	0,043	0,206
	0,203		0,042	0,213