ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁVRH VĚTRACÍHO SYSTÉMU ZÁKLADNÍ ŠKOLY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. JANA CHUDOBOVÁ

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

2017/2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Chudobová Jméno: Jana Osobní číslo: 409666

Zadávající katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh větracího systému základní školy

Název diplomové práce anglicky: Design of ventilation system of primary school

Pokyny pro vypracování:
Zpracování rešeršní části zaměřené na větrání škol - požadavky na větrání škol, popis větracích systémů škol, analýza stávajícícho systému větrání zadaného objektu a výběr vhodného systému větrání pro zadaný objekt.

Vypracování projektové dokumentace vybraného systému větrání zadaného objektu (bez prostoru kuchyně). Obsahem dokumentace budou půdorysy a řezy větracího systému, výpočet množství vzduchu, hydraulické výpočty, návrh distribučních elementů, technická zpráva, posouzení hluku.

Seznam doporučené literatury:
Günter Gebauer, Helena Horká, Olga Rubinová - Vzduchotechnika
Daniel Klaus, Technika budov - Příručka pro projektanty, Jaga
Vladimír Zmrhal a kol., Větrání škol v souvislostech, Společnost pro techniku prostředí z.s.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing.Zuzana Veverková, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 9.10.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

9.10.2017

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

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

V Praze dne 7. ledna 2018 ……

PODĚKOVÁNÍ:

Za konzultace, rady, trpělivost, oporu a pozitivní myšlení moc děkuji vedoucí mé diplomové práce, paní Ing. Zuzaně Veverkové, Ph.D.

Obsah

Anotace 6
Úvod 7
1 Požadavky na větrání škol - legislativa 9
2 Popis větracích systémů škol 11
2.1 Přirozené větrání 12
2.2 Nucené větrání: 14
2.3 Hybridní větrání 17
3 Analýza stávajícího systému větrání zadaného objektu 18
3.1 Popis stávajícího systému 18
3.2 Hybridní větrání tříd 20
4 Experimentální část 21
4.1 Měření kvality vzduchu 21
4.1.1 Popis grafů č. 1 a č. 2 čidel CM-0016 a CM-0018 k měření ve dnech 14.-15.6., 20.6.2017 30
4.1.2 Popis grafů č. 8 a č. 9 čidel CM-0016, CM-0018 k měření ve dnech 20.-21.11.2017 39
4.2 Dotazník 41
4.2.1 Výstupy z dotazníku 41
4.2.2 Poznatky učitelky a dětí ve třídě, ve které proběhlo měření 43
4.2.3 Mé poznatky a shrnutí 44
4.3 Výběr vhodného systému 45
Závěr 47
Zdroje 48

Anotace

Předmětem této diplomové práce je analýza stávajícího systému větrání v ZŠ Praha - Kbely, zjištění jeho funkčnosti na základě experimentální části, která obsahuje měření kvality vzduchu a dotazníkový průzkum. Následuje výběr a návrh vhodného alternativního řešení systému větrání. Součástí diplomové práce je základní rozdělení systémů větrání, které se používají u větrání škol.

Klíčová slova:

vzduch, větrání, větrání škol, vzduchotechnika, nucené větrání, hybridní větrání, základní škola, kvalita vzduchu, oxid uhličitý, žáci, pedagog

Annotation

The subject of this thesis is the analysis of the current ventilation system at elementary school ZŠ Praha - Kbely, and also to find out it‘s functionality based on the experimental part, which is composed of air quality measurement and questionnaire survey. The next step is the selection and design of a suitable alternative ventilation system solution. The part of thesis is also basic division of air out systems that are used to ventilate schools.

Key words:

air, ventilation, school ventilation, ventilation, forced ventilation, hybrid ventilation, elementary school, air quality, carbon dioxide, pupils, teacher

Úvod

Proč je důležité dbát na dostatečné větrání ve školách? Zajištěním dostatečného množství čerstvého vzduchu se zlepšuje vnitřní mikroklima, které zajišťuje lepší prostředí pro studium dětí. Již naši předkové věděli, že k správnému vyučování a chápání probírané látky dětmi neodmyslitelně patří zajištění čerstvého vzduchu. Například podle uvedeného zdroje byly již na přelomu 17. - 18. století stanoveny pokyny do školních předpisů pro vyučující: *„Při přestávce třídu řádně vyvětrat otevřenými okny a děti či mládež na chodbách dostatečně rozpohybovat, aby další vyučovací hodinu byly bdělé!“* [5] Při nedostatečném větrání se zvyšuje koncentrace oxidu uhličitého (CO2), která má za následek únavu, nižní schopnost soustředit se, malátnost, v krajních případech nevolnost a mdloby. Kvalitu vnitřního prostředí neurčuje pouze koncentrace CO2, ale také teplota, vlhkost, koncentrace formaldehydu (z nového nábytku), koncentrace radonu (místa v ČR s radonovým podložím) a prachové částice. Správným větráním se koncentrace těchto látek snižují a mění se i teplota a vlhkost. Nedostatečné větrání může být příčinou vyšší nemocnosti dětí i učitelek (převažují nemocí přenášené vzduchem jako je nachlazení, rýma nebo chřipka) a vyšší výskyt astmatu, alergií nebo ekzémů.

V současné době se klade důraz na rekonstrukci škol z hlediska energetické úspory – školy získávají dotace na zateplování a výměnu oken. Výsledkem je vzduchotěsná obálka, ve které, pokud není navrženo nucené větrání, je výměna vzduchu je závislá na otevírání oken učiteli. Již není zajištěno větrání tzv. mikroventilací, tedy netěsností oken.
Jelikož je z bezpečnostních důvodů na většině škol zákaz otevírání oken o přestávkách, je větrání umožněno pouze během vyučovacích hodin. Zde nastává problém hlavně v zimním období, kdy na žáky sedící v řadě u oken táhne studený vzduch. Vyučující se po určité době také může na vydýchaný vzduch adaptovat a ihned si ho neuvědomí. Proto je vhodné instalovat CO2 čidla, která vyučujícího upozorní, kdy je čas vyvětrat, a on se tak může plně věnovat svým učitelským povinnostem. [6], [7], [8], [9]

Cílem mé diplomové práce je zjistit, jaký je v Základní škole Praha - Kbely navržený systém větrání, jakým způsobem funguje a v neposlední řadě také navrhnout alternativní variantu

řešení systému větrání. Jako podklady ke zpracování mé diplomové práce jsem využila projektovou dokumentaci ZŠ Praha - Kbely získanou na Úřadu Městské části Praha 19, výstupy z vlastního měření CO2, teploty a relativní vlhkosti v budově školy, dotazníkové šetření mezi pedagogy školy a odborné články a publikace.

1 Požadavky na větrání škol - legislativa

Momentálně se parametry kvality vnitřního ovzduší řídí *Vyhláškou č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých ve znění Vyhlášky č. 343/2009 Sb*.

Požadavky na množství vzduchu dle *Vyhlášky č. 410/2005 Sb*. jsou uvedeny v Tabulce č. 1.

Typ prostoru	Množství vzduchu [m3/h]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka*
Šatny	20 na 1 žáka
Umývarny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinu, 25 na 1 pisoár
*s ohledem na konkrétní využití (dle druhu prováděného cvičení) a kapacitu tělocvičny	

Tabulka č. 1- Požadavky na množství vzduchu

Požadavky na teplotu, rychlost proudění a relativní vlhkost vzduchu dle *Vyhlášky č. 410/2005 Sb*. jsou uvedeny v Tabulce č. 2.

Typ prostoru	**Výsledná teplota**			**Rychlost proudění**	**Relativní vlhkost**
	tg min [°C]	**tg opt [°C]**	**tg max [°C]**	**va [m/s]**	**rh [%]**
Učebny, pracovny, místnosti určené k dlouhodobému pobytu	20	22+-2	28	0,1-0,2	30-65
Tělocvičny	18	20+-2	28	0,1-0,2	30-65
Šatny	20	22+-2	28	0,1-0,2	30-65
Sprchy	24	-	-	-	-
Záchody	18	-	-	0,1-0,2	30-65
Chodby	18	-	-	0,1-0,2	30-65

Tabulka č. 2 – Požadavky na teplotu, rychlost proudění a relativní vlhkost vzduchu

Teplota vzduchu v učebnách musí být v rozmezí od minimálně 16 °C do maximálně 30 °C v jiném případě musí být přerušena výuka dle *Vyhlášky č. 410/2005 Sb*. [1]

Dle *Vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby ve znění Vyhlášky č. 20/2012 Sb*. musí být v pobytové místnosti v době pobytu osob zajištěno minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu 25m3/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5 1/h. Zároveň nesmí být koncentrace CO2 překročena hranice 1500 ppm. [2]

Dle *Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací ve znění č. 217/2016 Sb*. se hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A stanoví pro hluk pronikající vzduchem zvenčí a pro hluk ze stavební činnosti uvnitř objektu součtem základní hladiny akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ se rovná 40 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 2 k tomuto nařízení. [3]

2 Popis větracích systémů škol

Při tvorbě popisu systémů větrání škol vycházím z doporučené literatury *V. Zmrhal a kol. Větrání škol v souvislostech* z kapitoly *4.2.5 Přehled větracích systémů a možnosti použití v učebnách* a z článku *Větrání bytových domů - Základy teorie větrání* od Ivana Cifrince, ale mám za to, že tyto základní systémy lze aplikovat na všechny typy budov.

Základní rozdělení systémů větrání:

- **Přirozené větrání:**
  - Infiltrace
  - provětrávání
  - aerace
  - šachtové
- **Nucené větrání:**
  - Centrální
  - Lokální
  - Zónové
- **Hybridní větrání**

2.1 Přirozené větrání

Jeden z nejzákladnějších způsobů větrání. Princip přirozeného větrání je založen na rozdílu tlaku vzduchu exteriérovým a interiérovým, rozdílu teplot a rychlosti větru.

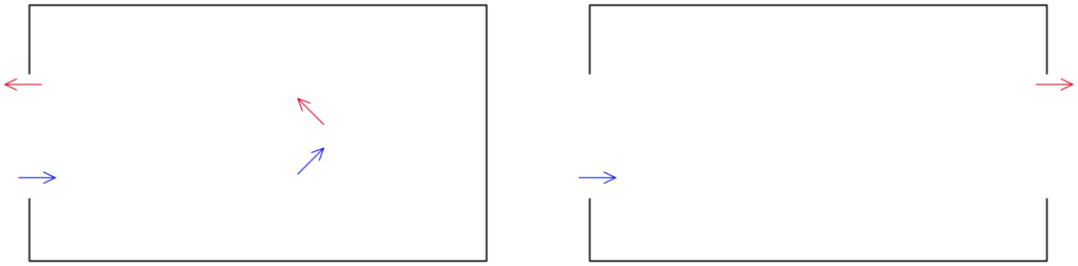
- **Infiltrace**

Výměna vzduchu je zajištěna netěsností obálky, funkčními spárami v oknech, v případě těsných oken mikroventilací či větracími štěrbinami.

Obrázek č. 1 – Infiltrace

- **Provětrávání**

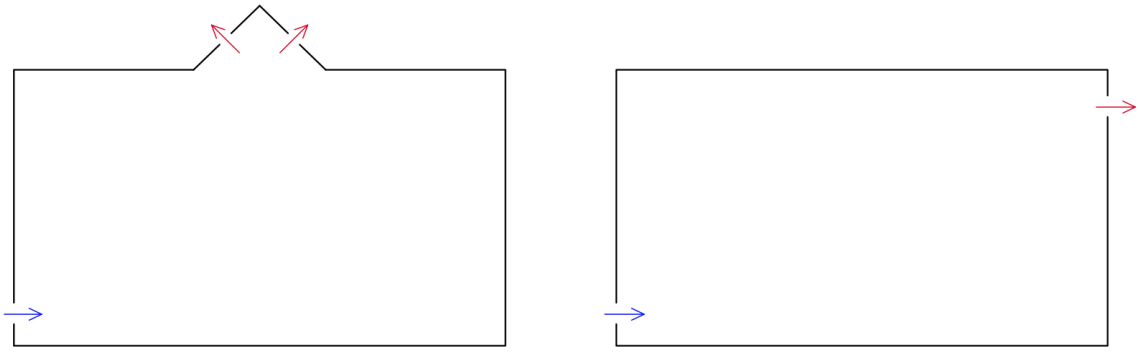
Úmyslné provětrávání otevřenými okny - jednostranné a příčné.



Obrázek č. 2 – Jednostranné provětrávání okny, příčné provětrávání okny

- **Aerace**

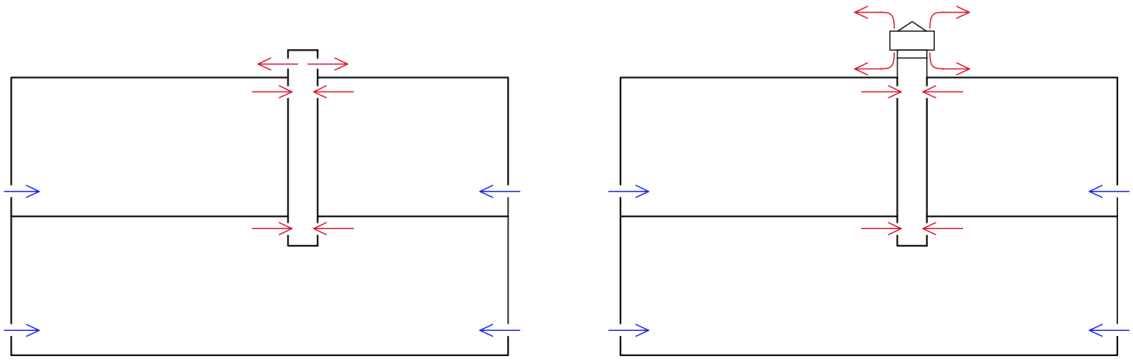
K výměně vzduchu dochází pomocí přívodních otvorů nad podlahou a odvodními otvory pod stropem, musí být zajištěna dostatečná výška, vzniká účinný vztlak.



Obrázek č. 3 - Aerace

- **Šachtové větrání**

Větrací otvory z větrávaných místností jsou vedené do sběrné šachty, která je vyvedena nad střechu. Šachtové větrání může být použito jak pro přívod tak odvod vzduchu. Pohyb vzduchu je dán opět rozdílem teplot interiérového a exteriérového vzduchu. Účinnost šachtového větrání se dá zvýšit pomocí větracích hlavic.



Obrázek č. 4 – Šachtové větrání, šachtové větrání s větrací hlavicí

Výhody: žádné náklady na energii, pocit zdravějšího větrání, levnější řešení.

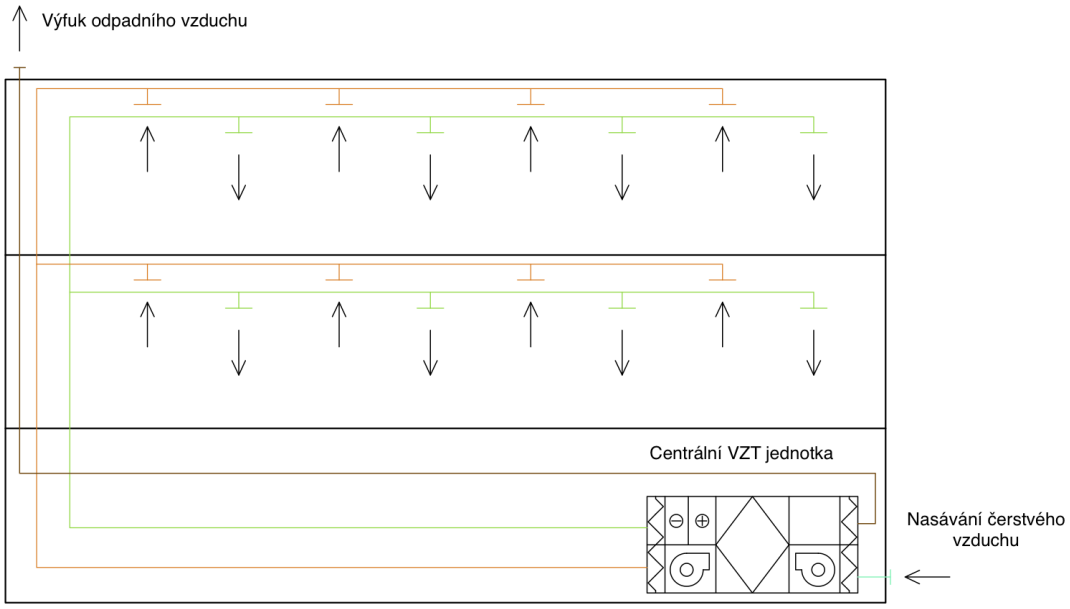
Nevýhody: často nedokáže splnit požadavky na množství přívodního vzduchu, v zimě nepříjemné studené proudy vzduchu, v zimním období se často okna z důvodu studeného vzduchu neotevírají, tudíž se nevětrá.

2.2 Nucené větrání:

K výměně vzduchu u nuceného větrání je používán ventilátor, který zajišťuje potřebnou změnu tlaku. U nuceného větrání máme možnost úpravy venkovního vzduchu dle našich požadavků (vlhkost, teplota, filtrace). Úprava teploty je možná buď pouhým ohřevem exteriérového vzduchu nebo pomocí zpětného získávání tepla (ZZT - rekuperace) v kombinaci s dohřevem. V případě škol je velmi žádoucí použití vzduchotechnických jednotek s rekuperací díky snížení nákladů na energii.

- **Centrální větrání**

Tento systém větrání tvoří jedna vzduchotechnická jednotka, která slouží k větrání celé budovy, či několika místností dle typu provozu, a dále rozvody vzduchu. Centrální vzduchotechnická jednotka může být umístěna buď ve strojovně vzduchotechniky, nebo na střeše. Centrální jednotka může zajišťovat rekuperaci, ohřev, vlhčení, chlazení najednou.



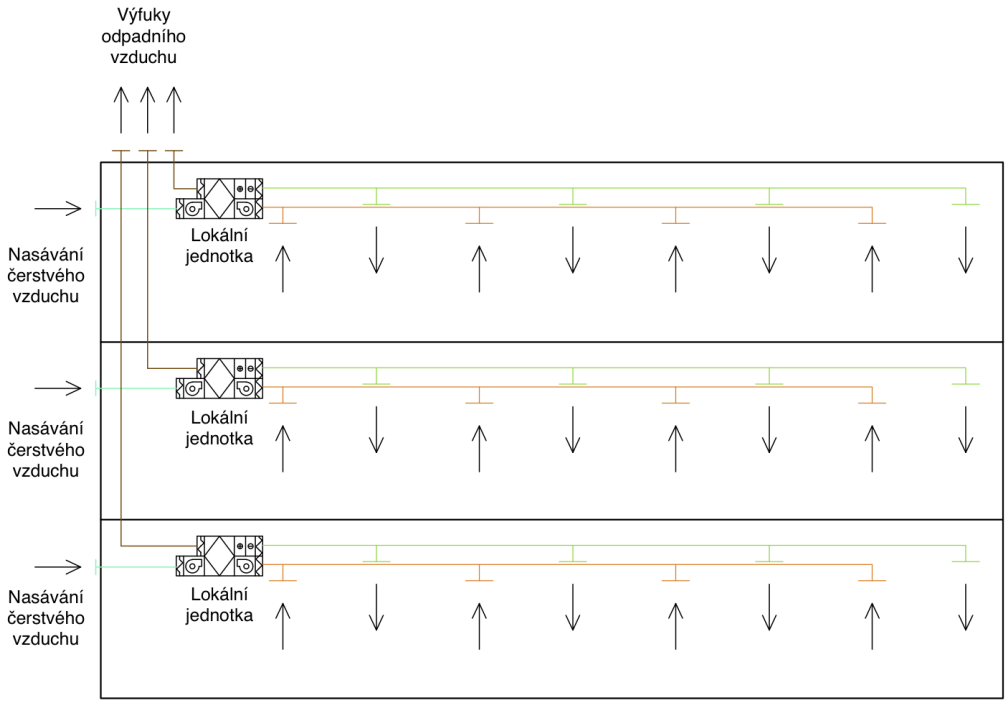
Obrázek č. 5 – Centrální systém

Výhody: jedno nasávání, jeden výfuk, jedna jednotka, zdroj hluku je situován mimo pobytovou místnost, rychlejší servis (obsluha jen jedné jednotky).

Nevýhody: větší jednotka, delší rozvody, větší průměry potrubí, cena jednotky.

- **Lokální (decentrální) větrání**

Principem lokálního systému je větrání každé místnosti zvlášť. Jedná se o menší vzduchotechnické jednotky, které bývají umístěny přímo ve větrané místnosti. Lokální jednotky většinou řeší konkrétní požadavky dané místnosti a mívají méně funkcí.



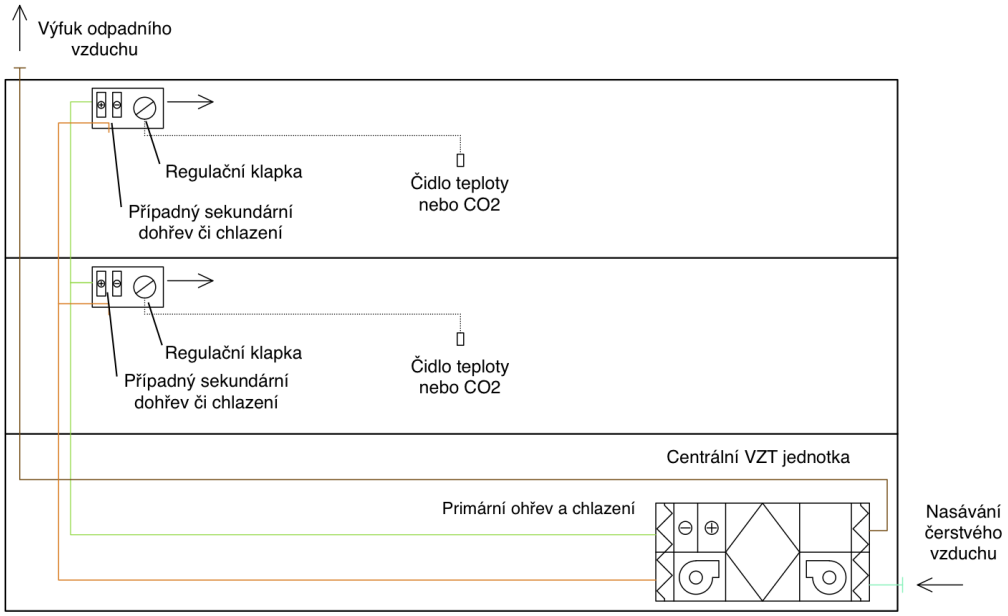
Obrázek č. 6 – Lokální systém

Výhody: kratší rozvody, menší potrubí, cena jednotky, malé rozměry jednotky

Nevýhody: zdroj hluku přímo v pobytové místnosti, při velkém počtu jednotek může být dražší servis, při volbě většího množství jednotek je nutnost mnoha prostupů na fasádu, vizuálně rušivý element v interiéru.

- **Zónové**

Spojuje kladné vlastnosti centrálního a lokálního systému. Výhodou je přesnější regulace systému a plnění konkrétních požadavků, což vede k úspoře potřeby energie a tím pádem i nákladů. Je použita jedna centrální jednotka a dále je vzduch upraven dle konkrétních požadavků přímo v místnosti pomocí VAV boxů, smart boxů, fan coilů či jinak.



Obrázek č. 7 – Zónový systém

Nucené větrání lze dále dělit dle tlaku vzduchu ve větrané místnosti:

- **Rovnotlaké**

Do větrané místnosti je přiváděn a odváděn stejný objem vzduchu, řešení je s konstantním průtokem nebo s proměnlivým průtokem, např. třídy, kabinety, jídelna.

- **Podtlakové**

Z větrané místnosti je odváděno více množství vzduchu než přiváděno, např. šatny, WC.

- **Přetlakové**

Do větrané místnosti je přiváděno větší množství vzduchu než odváděno, použití je vhodné v čistých prostorách, ve školách se nepoužívá.

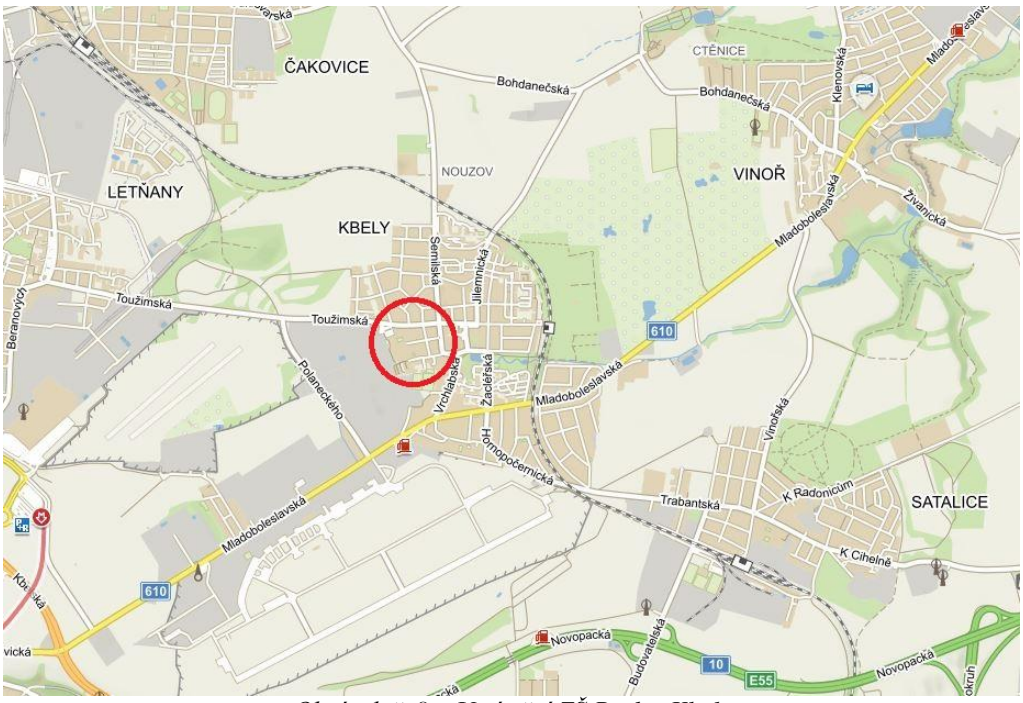
2.3 Hybridní větrání

Hybridní větrání kombinuje prvky jak přirozeného tak nuceného větrání. Dokud je možné udržet požadovanou kvalitu vnitřního prostředí je využito přirozené větrání a dále už nucené. Snahou je co nejnižší spotřeba energie. Například ve škole, která je předmětem zkoumání mé diplomové práce, je použito hybridní větrání tím způsobem, že jsou třídy odvětrávány šachtami, ve kterých jsou umístěny ventilátory, a šachty jsou zakončeny samotahovými hlavicemi. [4], [9], [10]

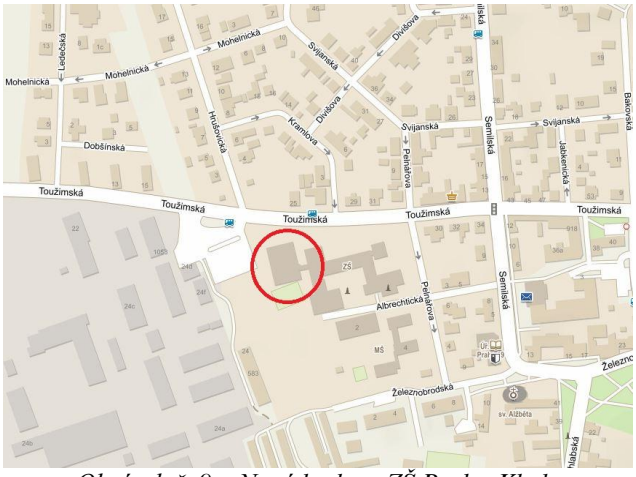
3 Analýza stávajícího systému větrání zadaného objektu

3.1 Popis stávajícího systému

Ke zpracování diplomové práce jsem si vybrala budovu Základní školy Praha-Kbely. Zaprvé se tato základní škola nachází v místě mého bydliště a zadruhé znám osobně některé z tamnějších pedagogů. Díky tomu jsem měla snadnější přístup k požadovaným informacím. Škola se skládá ze dvou budov - starší a novější, která byla přistavena z důvodu nedostačující kapacity starší budovy. Mým původním záměrem bylo mít za předmět zkoumání starší budovu, ve které jsem chtěla navrhnout systém větrání odpovídající současným požadavkům, avšak k této budově není dostupná dostačující projektová dokumentace, proto se nakonec věnuji budově novější. V té je navržen hybridní větrací systém a cílem mé práce je zhodnocení tohoto systému a navržení varianty alternativní.



Obrázek č. 8 – Umístění ZŠ Praha-Kbely



Obrázek č. 9 – Nová budova ZŠ Praha-Kbely

Nová budova je určena pro žáky 0. - 4. tříd. Budova má čtyři nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží, které se nachází pouze pod částí budovy. V 1.PP je umístěna strojovna vzduchotechniky, sklady, šatna pro zaměstnance stravovacího zařízení, dvě koupelny a výměník. V 1.NP se nachází vstup do budovy a dále vstupní hala, recepce, šatny pro žáky, jídelna, kuchyně, sklady potravin a WC. Ve 2.NP, 3.NP a 4.NP jsou přestávkové haly, třídy, kabinety, WC. Ve 4.NP je navíc sborovna, zasedačka a kanceláře. Celkem je v budově 16 tříd pro 30 žáků. Ve třídách ve 4. NP je navrženo chlazení dvěma vnitřními nástěnnými jednotkami a jednou venkovní jednotkou pro každou učebnu (Multisplitový systém).

Ve škole je zvolena výuka “Škola hrou”, proto jsou třídy prostornější. Jednotlivá patra jsou spojena tříramenným schodištěm a výtahem. Navíc se u budovy nachází venkovní únikové schodiště. Na všech oknech jsou instalovány venkovní žaluzie pro odvod tepelné zátěže. Zastřešení budovy tvoří krov z příhradových vazníků.

Stávající systém větrání je rozdělen do čtyř částí: nucené centrální podtlakové větrání šaten, nucené centrální podtlakové větrání kuchyně, nucené centrální podtlakové větrání haly a WC, hybridní větrání tříd. Vzduchotechnické jednotky jsou umístěny ve strojovně vzduchotechniky v 1.PP.

3.2 Hybridní větrání tříd

Do každé třídy je přiváděn vzduch přirozeně otevřenými okny nebo větracími štěrbinami. Odváděn je přes uzavíratelnou mřížku do šachty, která vede nad střechu. Pro zvýšení účinnosti je na doporučení hygienika v šachtě umístěn ventilátor a šachta je zakončena samotahovou hlavicí. Ovládání ventilátoru je manuální - tlačítkem umístěným ve třídě. Pedagogičtí zaměstnanci ventilátor zapínají dle svého uvážení – jak jsem zjistila dotazníkovým šetřením, v praxi je ventilátor využíván zřídka.

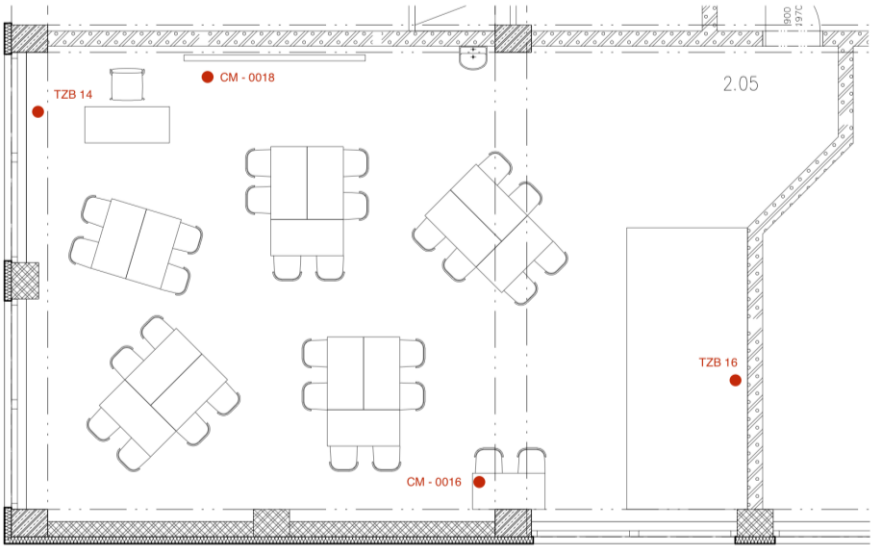
4 Experimentální část

4.1 Měření kvality vzduchu

Měření proběhlo v učebně 2.05 ve 2.NP (třída 2.D) a to dvakrát - jednou v létě 2017 a jednou na podzim 2017.

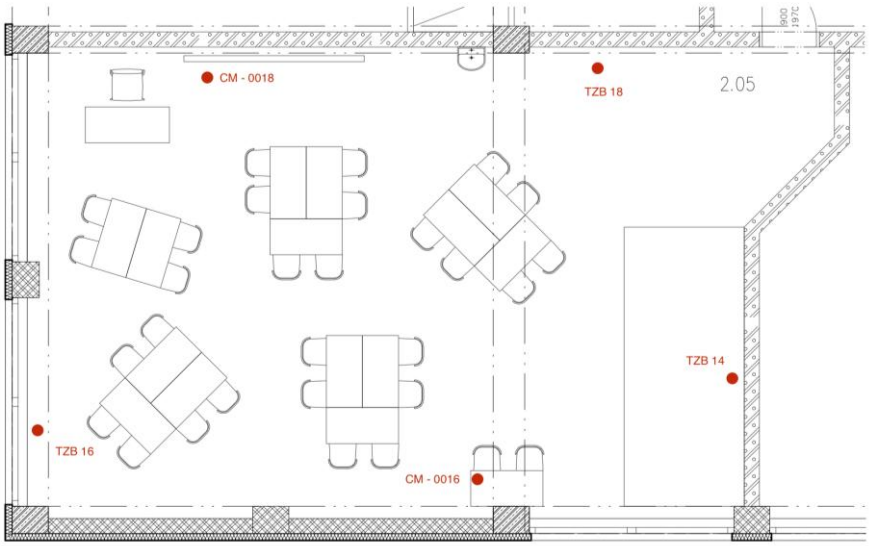
Měření bylo provedeno dvěma čidly CO2 značky CO2Meter.com vždy umístěnými ve třídě a čtyřmi čidly relativní vlhkosti a teploty značky Comet (TZB 14, TZB 16, TZB 17, TZB 18). U letního měření bylo jedno čidlo relativní vlhkosti a teploty umístěné venku, dvě čidla umístěná ve třídě a jedno čidlo pro zajímavost umístěné ve třídě ve 4. NP, kde je klimatizace. U podzimního měření je opět jedno čidlo relativní vlhkosti a teploty umístěné venku a zbylá tři čidla ve třídě. Pro doplňující informace o rychlosti větru jsem využila data z Meteorologické stanice Praha - Kbely.

Při prvním měření v létě, přesněji 14.-15. a 20.6.2017 bylo čidlo TZB 17 (průběh zobrazuje graf č.6) umístěné venku a čidlo TZB 18 (graf č.5) ve třídě ve 4.NP.



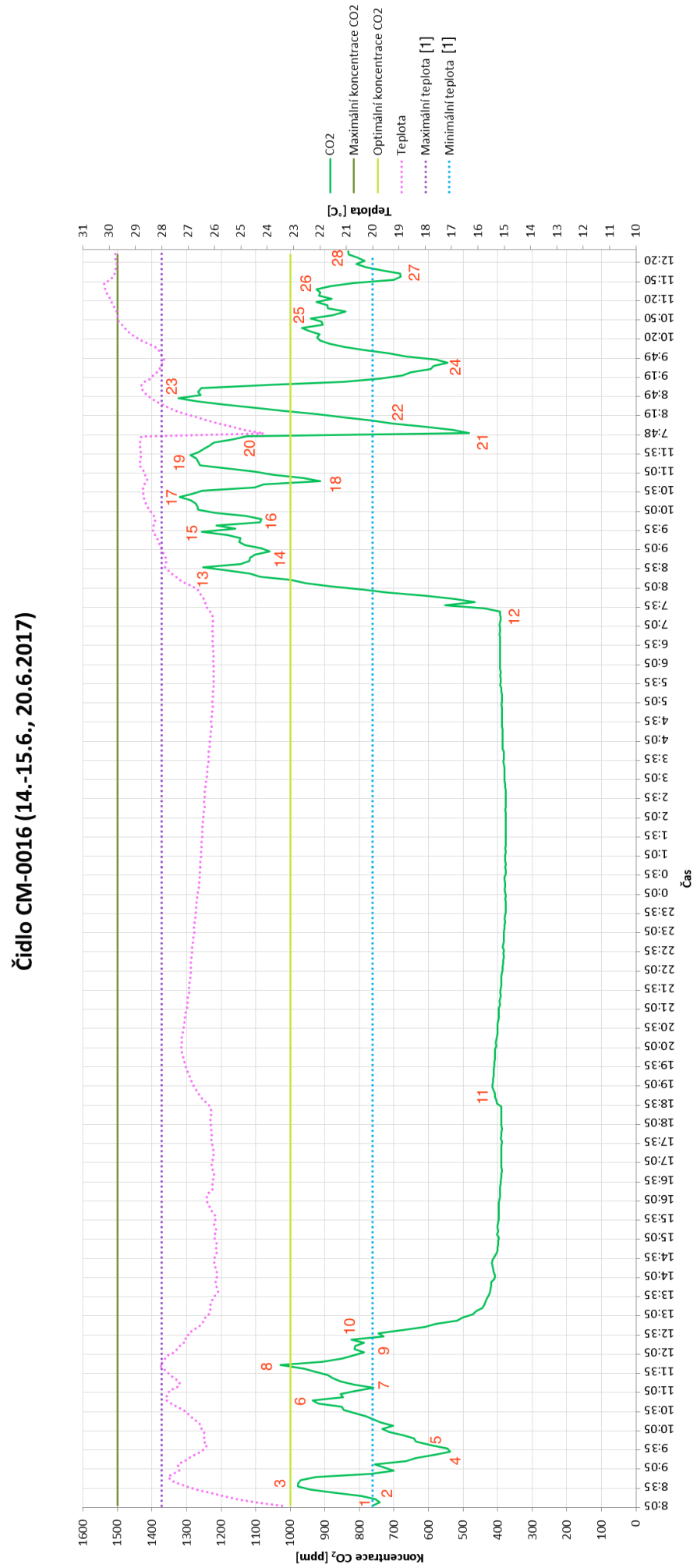
Obrázek č. 10 – Rozmístění čidel ve třídě - červen

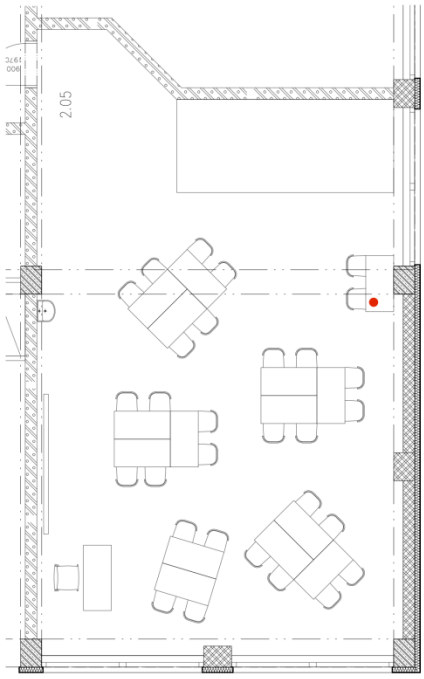
Při druhém měření bylo čidlo TZB 17 (průběh je zobrazen v grafu č.13) opět umístěné venku. U každého grafu je malý půdorys, na kterém je červeným puntíkem zobrazené umístění daného čidla.



Obrázek č. 11 – Rozmístění čidel ve třídě – listopad

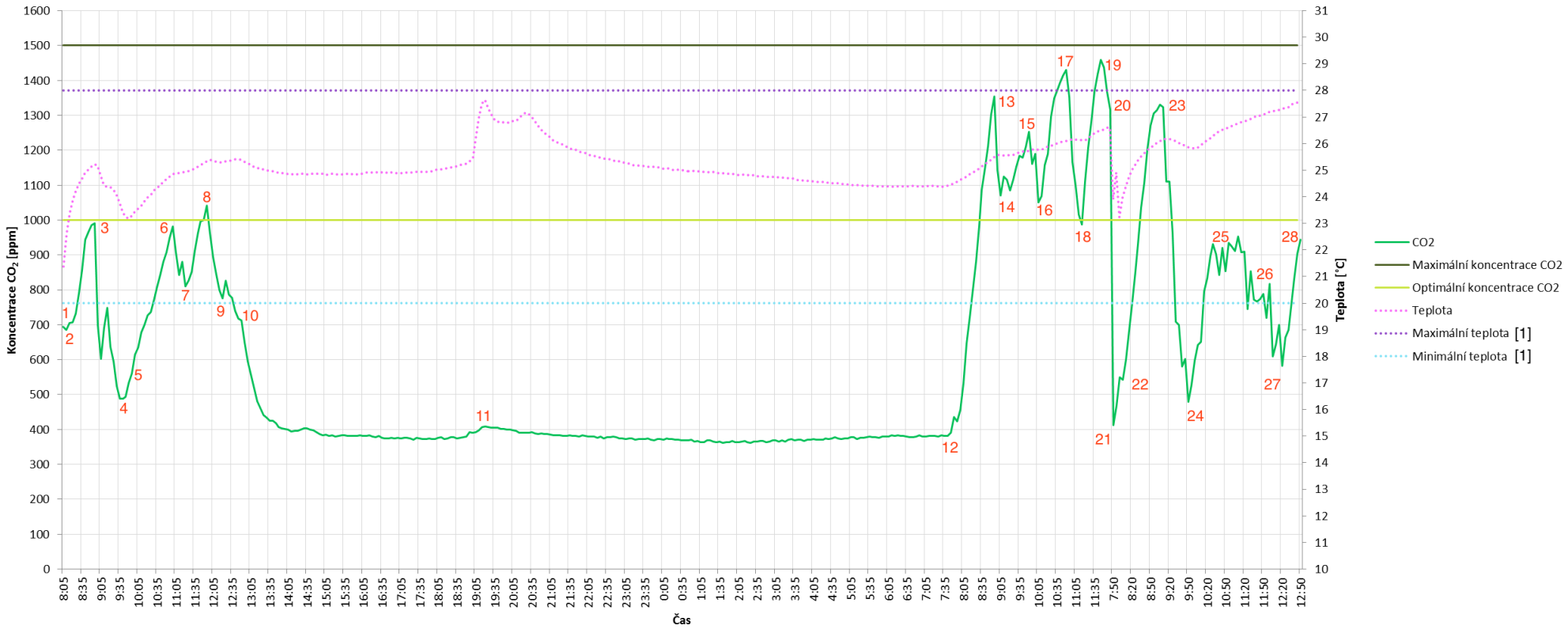
Měření je vyhodnocené pomocí následujících grafů.

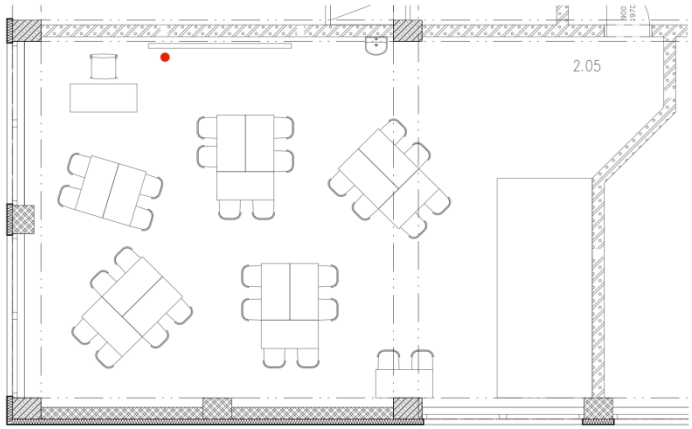




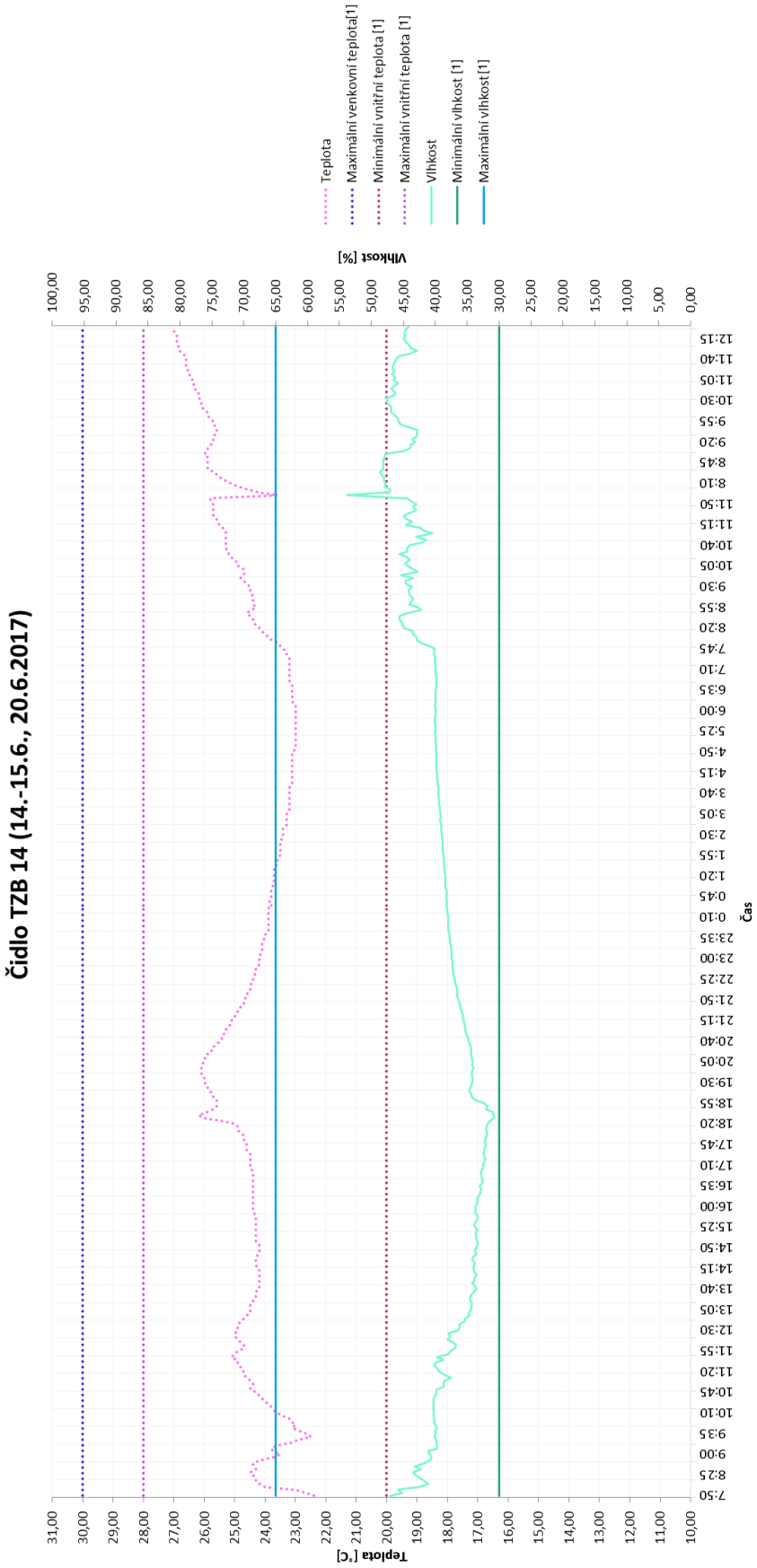
Graf č. 1
(popis grafu na stránce č. 30-31)

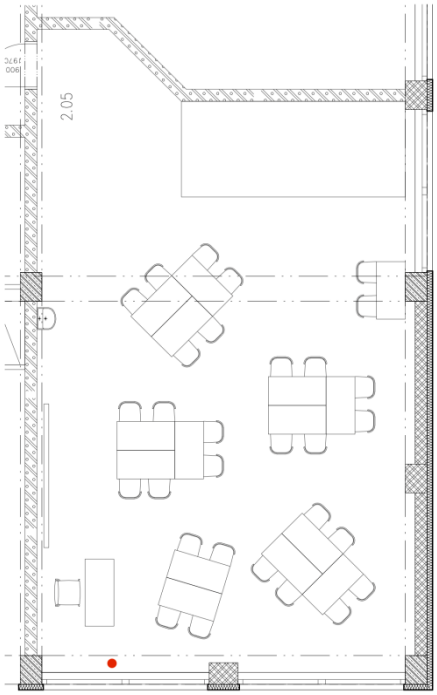
Čidlo CM-0018 (14.-15.6., 20.6.2017)



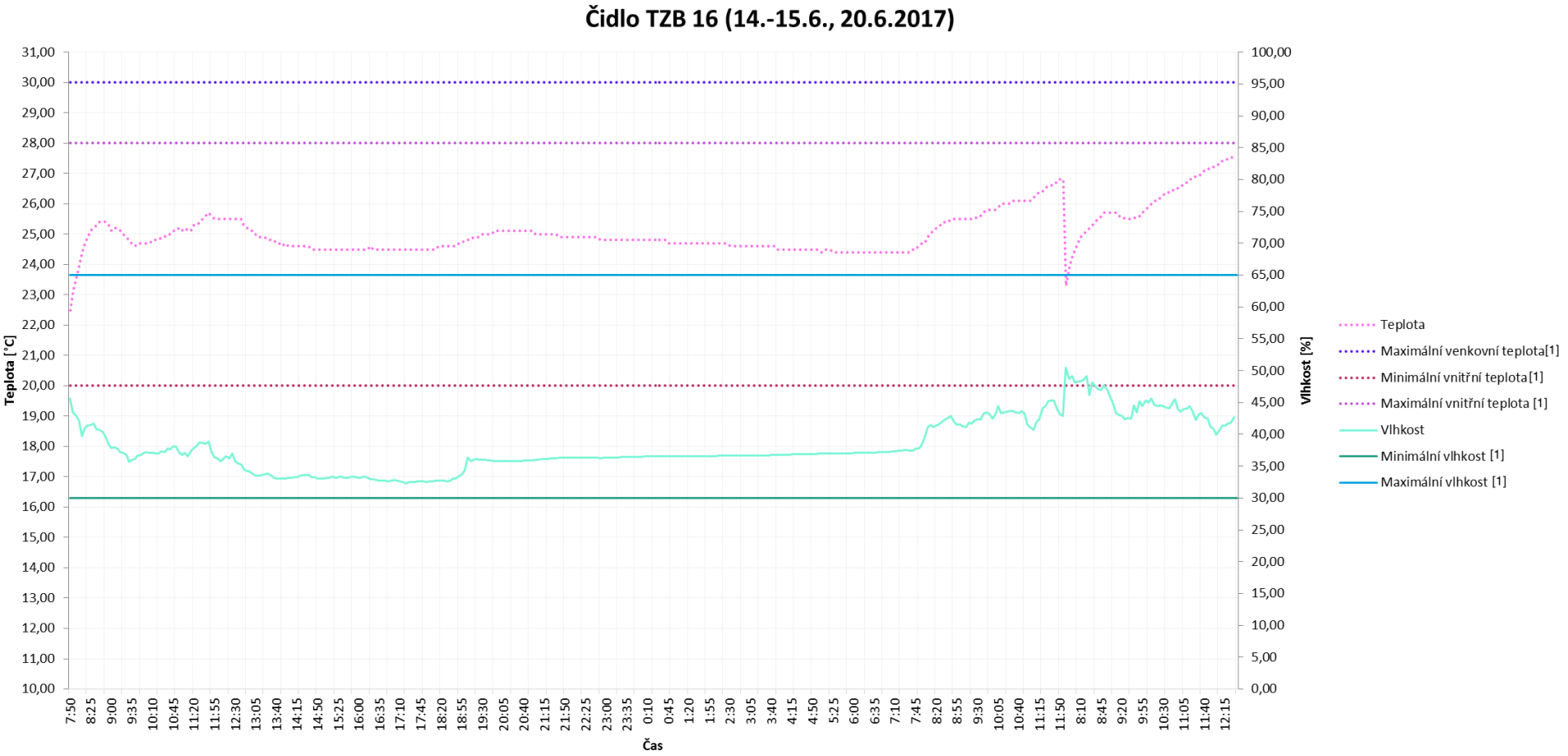


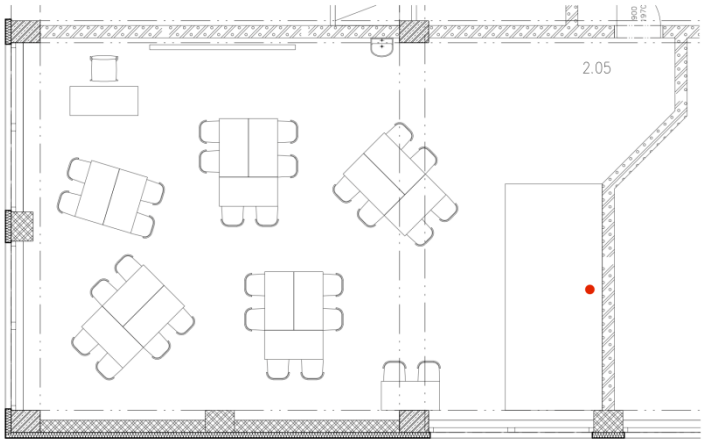
Graf č. 2
(popis grafu na
stránce č. 30-31)


Čidlo TZB 14 (14.-15.6., 20.6.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Čas
Teplota
Maximální venkovní teplota [1]
Minimální vnitřní teplota [1]
Maximální vnitřní teplota [1]
Vlhkost
Minimální vlhkost [1]
Maximální vlhkost [1]

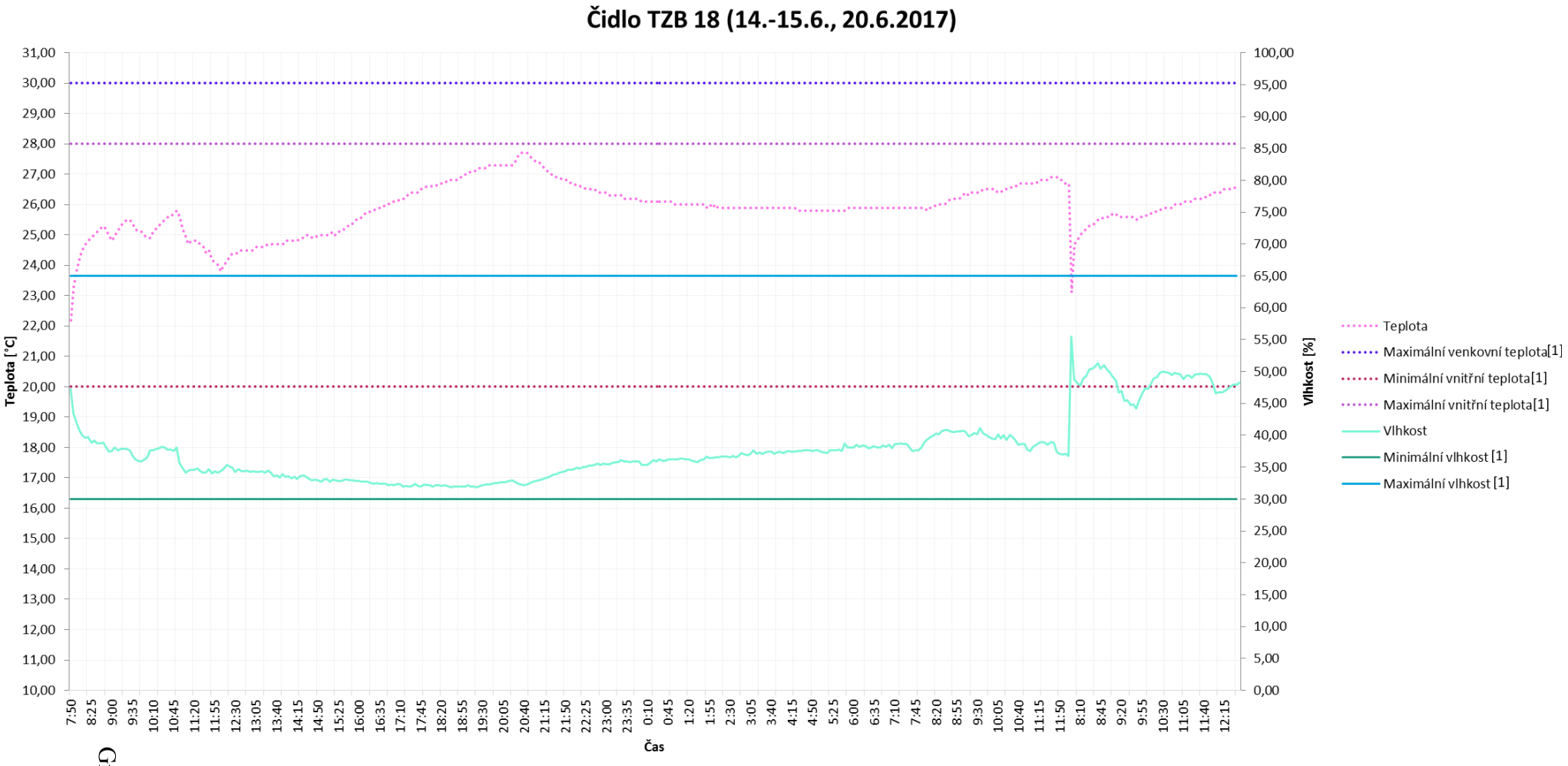

2.05

Graf č. 3

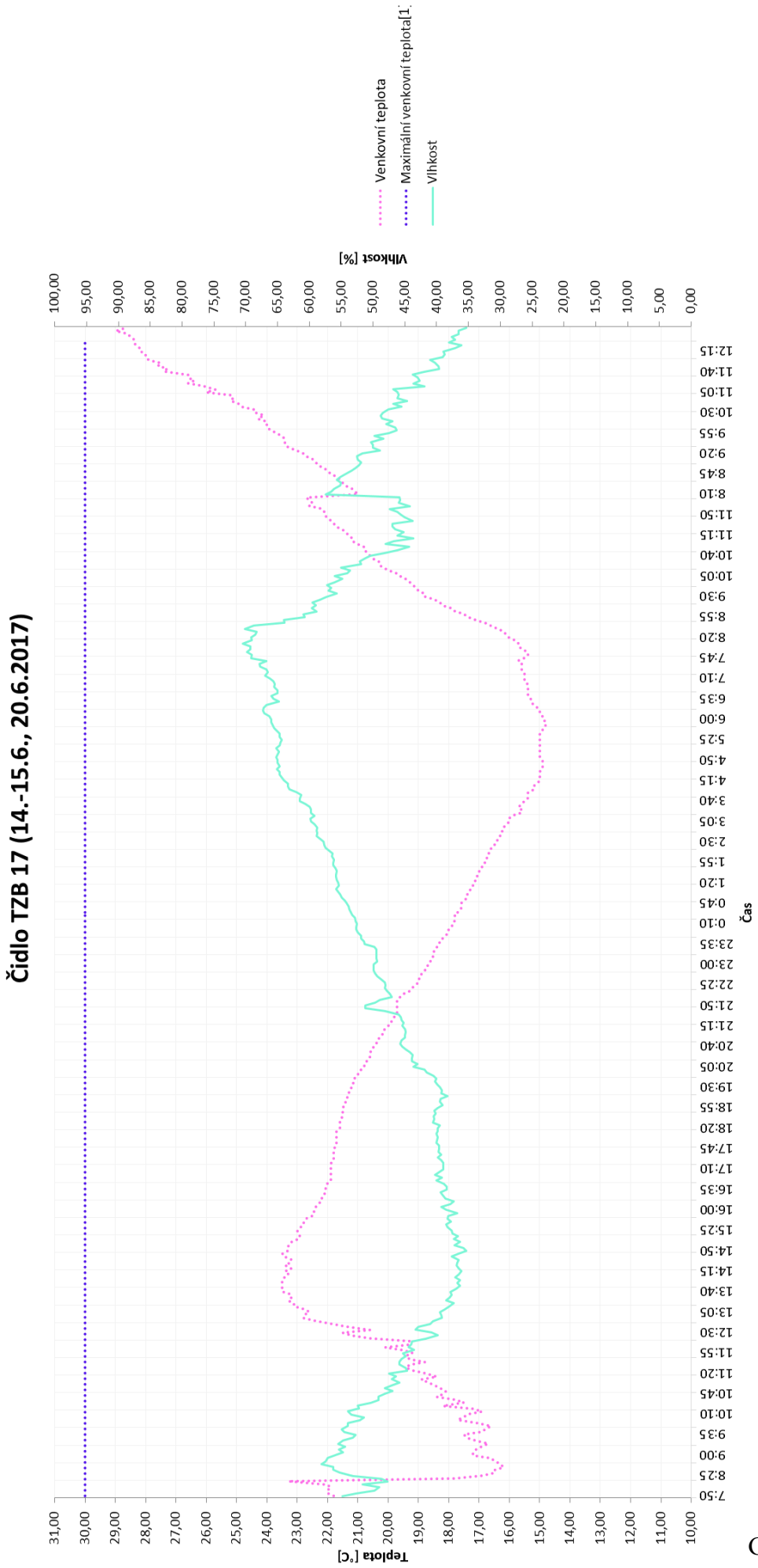

Čidlo TZB 16 (14.-15.6., 20.6.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Čas
Teplota
Maximální venkovní teplota[1]
Minimální vnitřní teplota[1]
Maximální vnitřní teplota [1]
Vlhkost
Minimální vlhkost [1]
Maximální vlhkost [1]


2.05

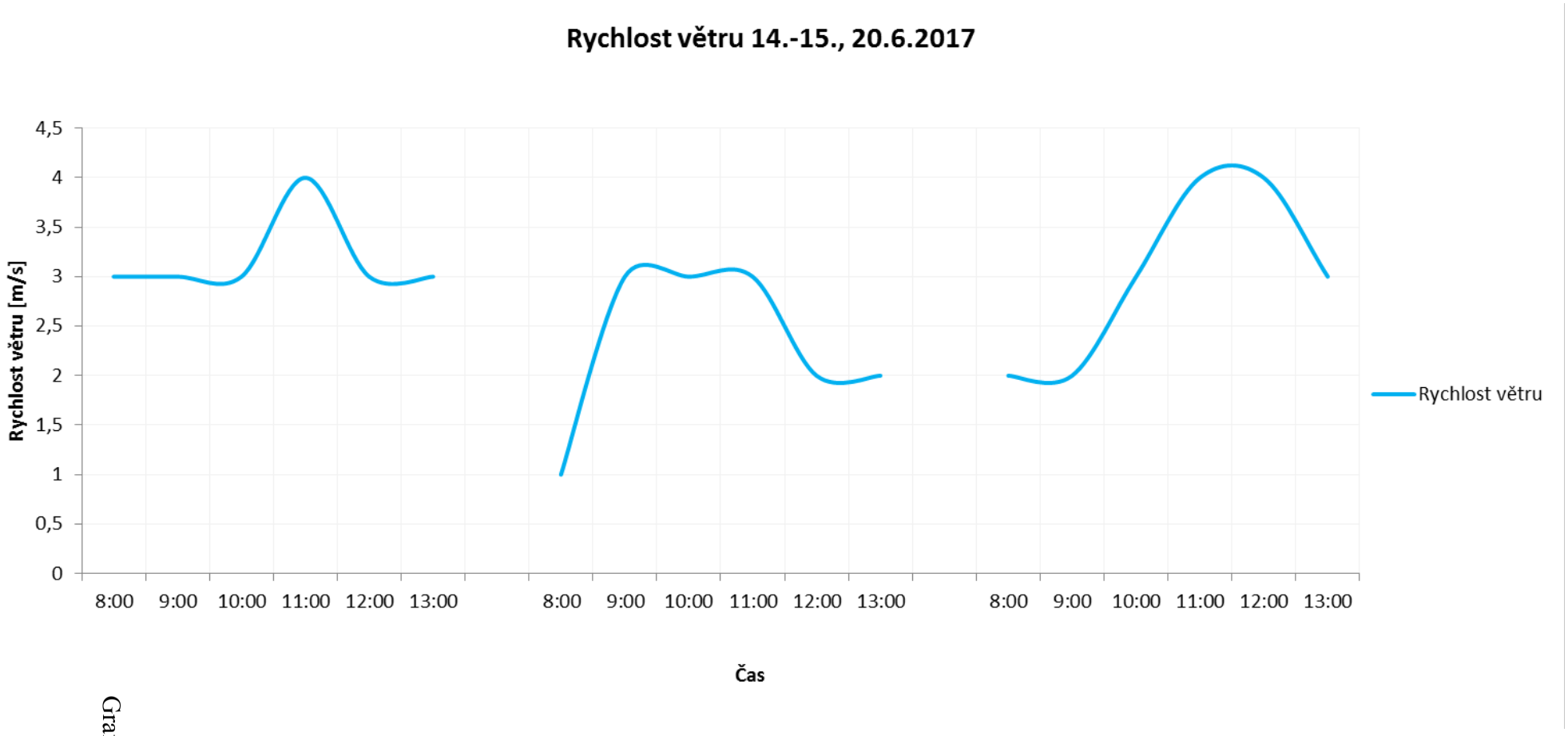
Graf č. 4


Čidlo TZB 18 (14.-15.6., 20.6.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Čas
Teplota
Maximální venkovní teplota[1]
Minimální vnitřní teplota[1]
Maximální vnitřní teplota[1]
Vlhkost
Minimální vlhkost [1]
Maximální vlhkost [1]

Graf č. 5


Čidlo TZB 17 (14.-15.6., 20.6.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Čas
Venkovní teplota
Maximální venkovní teplota[1
Vlhkost

Graf č. 6


Rychlost větru 14.-15., 20.6.2017
Rychlost větru [m/s]
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
8:00
9:00
10:00
11:00
12:00
13:00
Čas
Rychlost větru

Graf č. 7

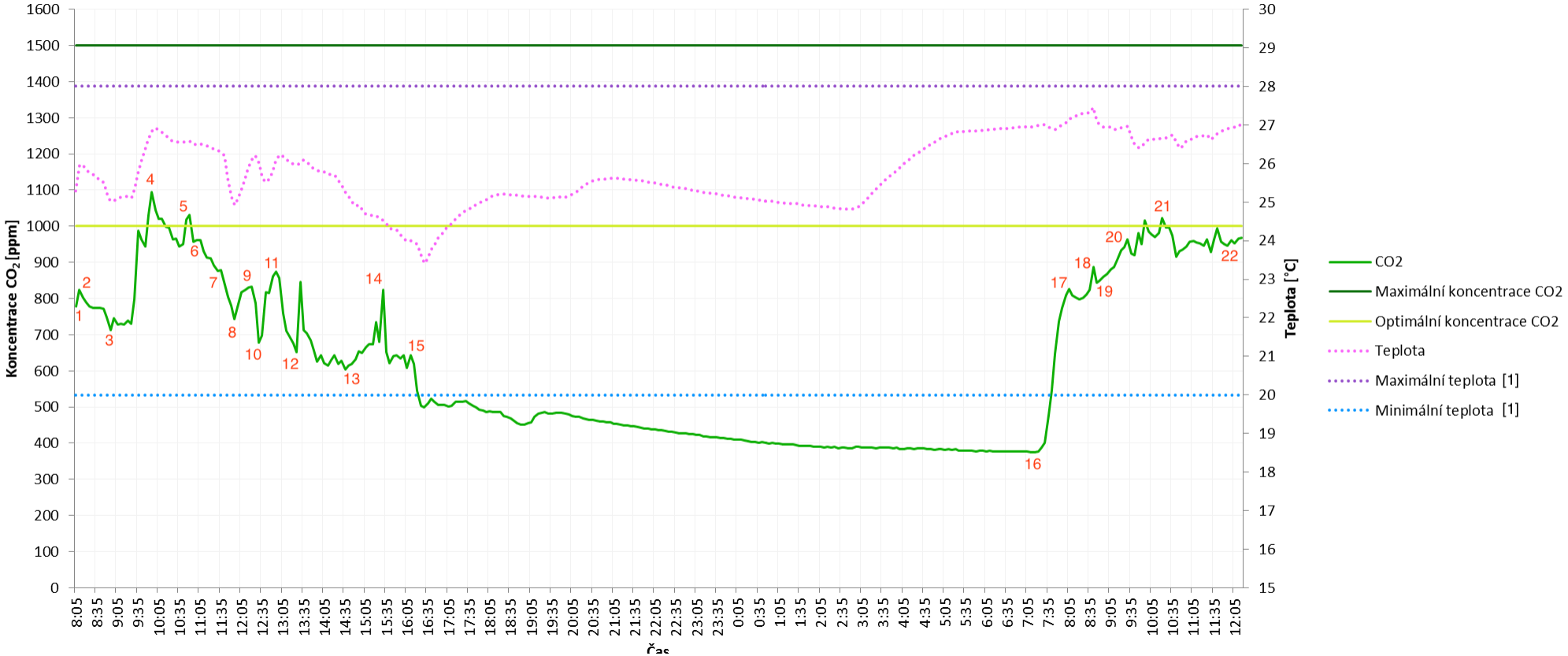
4.1.1 Popis grafů č. 1 a č. 2 čidel CM-0016 a CM-0018 k měření ve dnech 14.-15.6., 20.6.2017

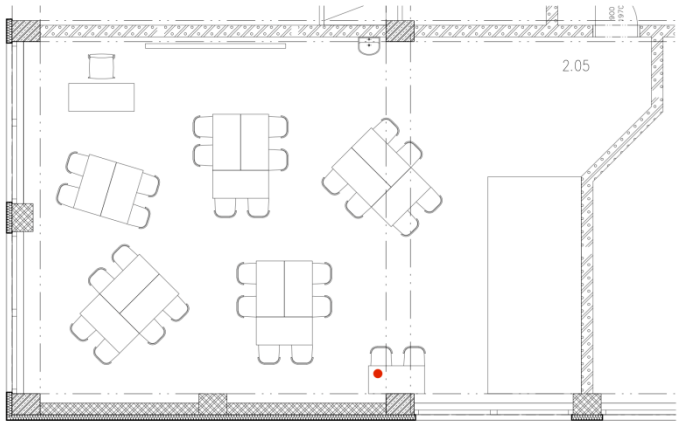
1) 7:50 - začátek měření, ve třídě se nachází 25 žáků (15 dívek, 10 chlapců) s jednou vyučující. Okna i dveře jsou zavřená.
2) 8:10 - koncentrace CO2 a teplota stoupá vlivem přítomnosti osob
3) 8:45 - je přestávka, učitelka odchází a dveře jsou otevřené, vzniká průvan a koncentrace CO2 i teplota klesá.
4) 9:40 - je opět přestávka, děti běhají volně po třídě, přichází další učitelka a dveře jsou zavřené, koncentrace CO2 i teplota stoupá.
5) 9:55 - přestože vyučující otevřela jedno okno, koncentrace CO2 i teplota stále narůstá.
6) 10:50 - během přestávky učitelka otevřela dveře a nechává je otevřené i do následující hodiny. Okno je stále otevřené a koncentrace CO2 pomalu klesá a mírně také teplota.
7) 11:15 - jeden z žáků jde na toaletu a cestou zpět dveře zavírá. Koncentrace CO2 a teplota lehce stoupá.
8) 11:45 - děti odcházejí na oběd, koncentrace CO2 i teplota klesá vlivem nepřítomností osob a otevřených dveří.
9) 12:10 - do třídy se vrací družina s devatenácti dětmi a jednou vychovatelkou. Okno a dveře jsou stále otevřené a koncentrace CO2 i teplota zůstávají téměř konstantní.
10) 12:50 - všichni odcházejí.
11) 18:35 - do třídy přichází uklízečka, koncentrace CO2 nepatrně stoupá, teplota se naopak zvyšuje výrazněji.
12) 7:30 - začíná další vyučovací den a do třídy přicházejí žáci, koncentrace CO2 prudce stoupá, dveře otevřené, okna zavřená.
13) 8:45 - učitelka otevírá dvě okna a dveře, koncentrace CO2 klesá.
14) 9:00 - dveře jsou zavřené, děti se pohybují po třídě a koncentrace CO2 opět stoupá.
15) 9:40 - je přestávka, dveře jsou otevřené a většina žáků sedí v lavicích a dokončují práce z předcházející vyučovací hodiny.
16) 10:00 - začíná další vyučování, dveře jsou zavřené a děti sedí v hloučku na koberci. Znovu dochází k nárůstu koncentrace CO2.
17) 10:30 - dveře jsou otevřené dokořán, koncentrace CO2 se díky tomu snižuje.
18) 11:00 - do třídy dorazili další žáci spolu s dvěma učitelkami, ve třídě se tedy nachází třicet žáků (16 dívek, 14 chlapců). Dveře jsou zavřené a koncentrace CO2 stoupá

19) 11:35 - učitelka na moji žádost zapíná ventilátor umístěný v šachtě, který vytváří značný hluk. Na teplotu která celý den průběžné stoupá to nemá vliv ale na koncentrace CO2 klesá přesto ,že jsou dveře zavřené (okna jsou stále otevřená).
20) 12:00 - všichni odchází, konec měření.
21) 7:50 - začátek měření, ve třídě se nachází celkem 26 žáků (14 dívek, 15 chlapců) a jedna vyučující. Koncentrace i teplota prudce stoupá.
22) 8:30 - Učitelka otevírá tři okna. Na průběh teploty a koncentraci CO2 to nemá žádný vliv (dveře jsou zavřeny).
23) 8:50 - děti odcházejí na hodinu tělesné výchovy a učitelka spouští ventilátor v šachtě. Dveře i okna jsou otevřená. Koncentrace CO2 prudce klesá, teplota však klesá pomaleji.
24) 9:45 - žáci se vrací do třídy, dveře jsou zavřené koncentrace CO2 stoupá zároveň s teplotou.
25) 10:20 - 11:20 - v tomto časovém rozmezí je patrný častý odchod a příchod žáků (toalety) ,který je na grafu vidět kolísáním CO2 50ppm.
26) 11:40 - přestávka, dveře jsou otevřené, koncentrace CO2 klesá
27) 12:05 - učitelka dveře zavírá, stoupá koncentrace CO2
28) 12:35 - konec vyučování, všichni odchází, konec měření.

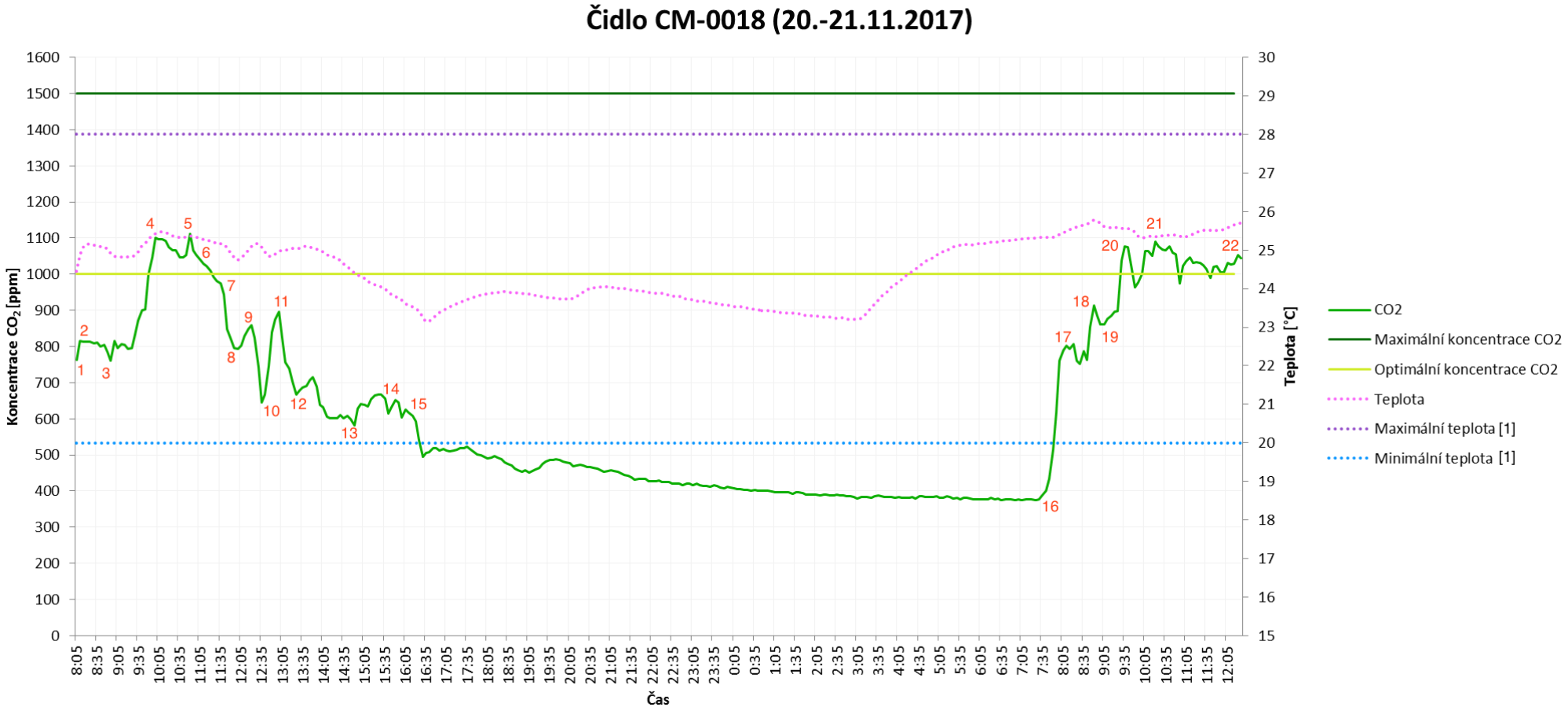
Z grafů č. 1 a č. 2 je patrné, že koncentrace CO2 ve dne 15.6.2017 je o něco vyšší než ve dnech 14. a 20.6.2017. Tuto skutečnost lze přikládat rychlosti větru, která byla dne 15.6.2017 dopoledne nižší viz graf č. 7. Navíc dne 20.6.2017 je venkovní teplota téměř o 10°C vyšší než 14.6.2017 viz graf č. 6. Měření ukázalo, že koncentrace CO2 nepřekročila maximální koncentraci danou vyhláškou a dokonce ve dnech, kdy je rychlost větru vyšší je možné se dostat pod koncentraci 1000 ppm. Z měření jsem usoudila, že tento systém větrání je vyhovující pokud je zapnut ventilátor, nebo jsou dveře otevřené, jelikož při samotném otevření oken koncentrace CO2 dále stoupá. Dále je chvályhodné, že vyučující je schopna rozeznat, kdy je potřeba vyvětrat aniž by sledovala čidlo teploty a CO2.

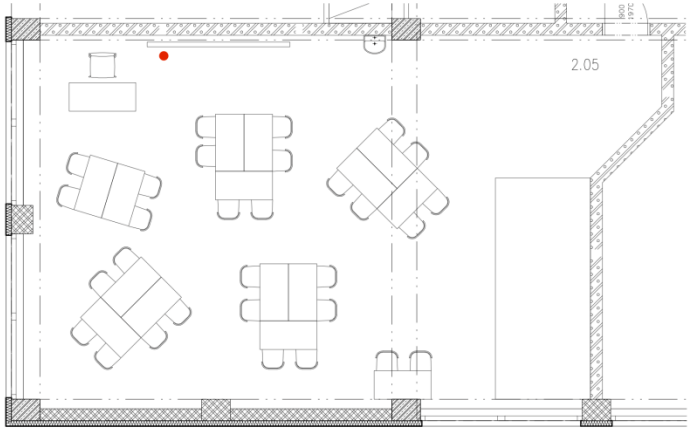
Čidlo CM-0016 (20.-21.11.2017)



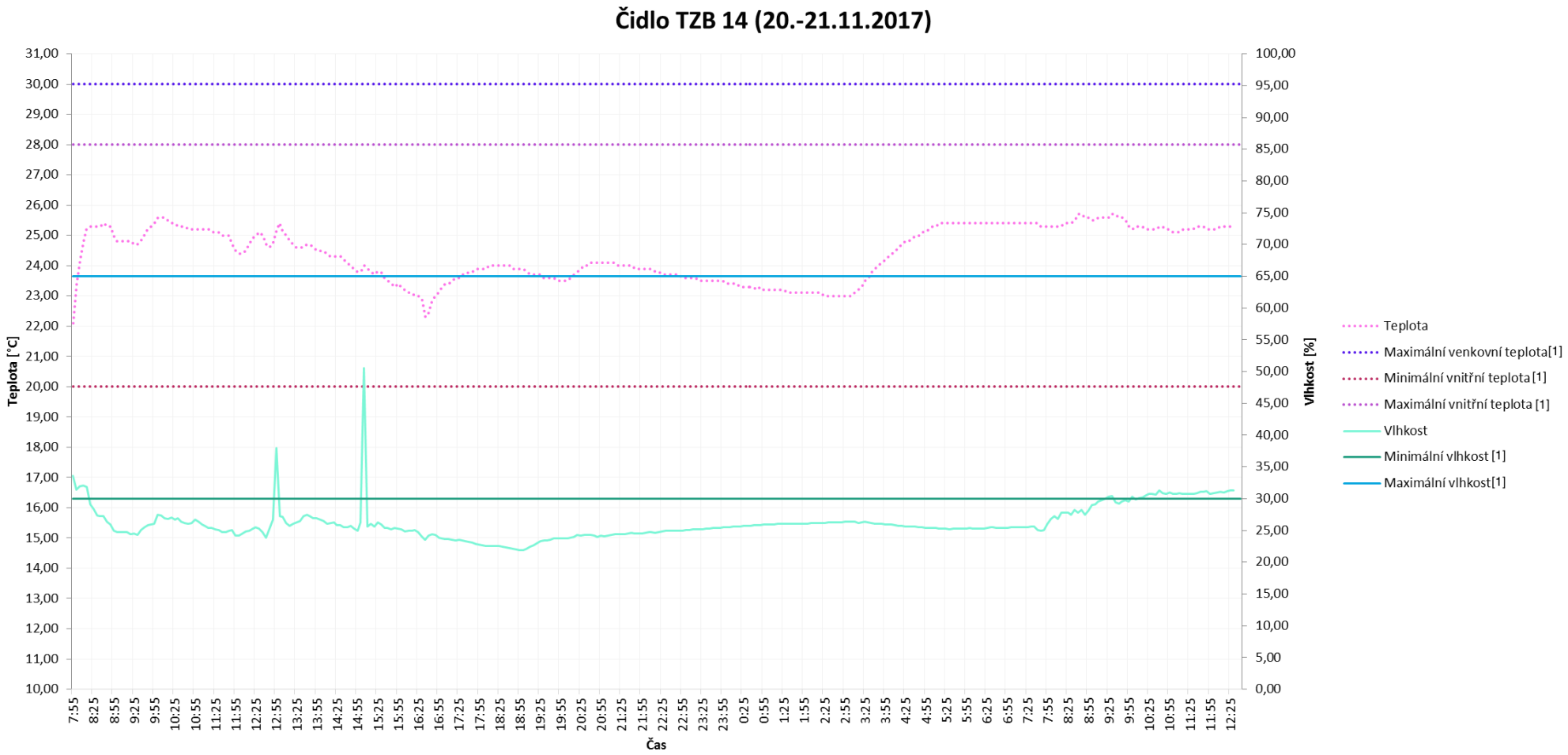


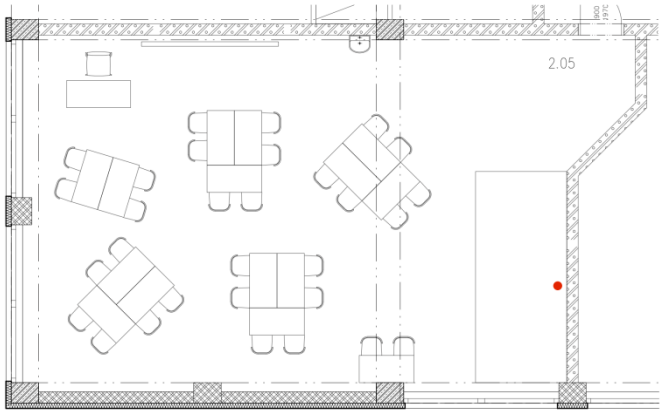
Graf č. 8
(popis grafu na stránce č.39-40)



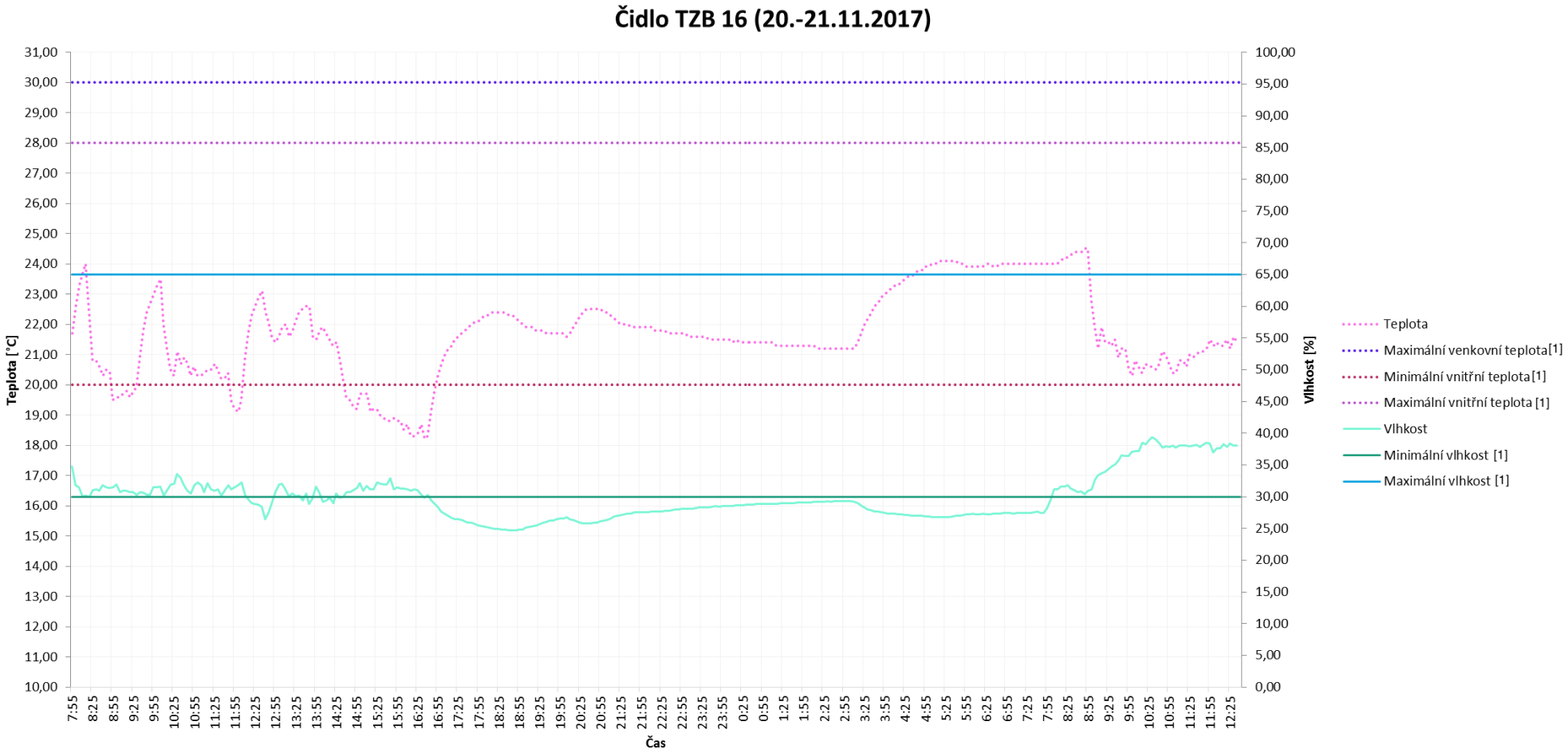


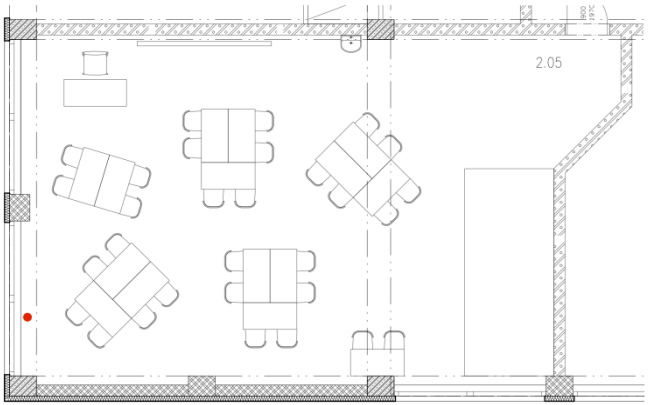
Graf č. 9
(popis grafu na
stránce č.39-40)


Čidlo TZB 14 (20.-21.11.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Čas
Teplota
Maximální venkovní teplota[1]
Minimální vnitřní teplota [1]
Maximální vnitřní teplota [1]
Vlhkost
Minimální vlhkost [1]
Maximální vlhkost[1]

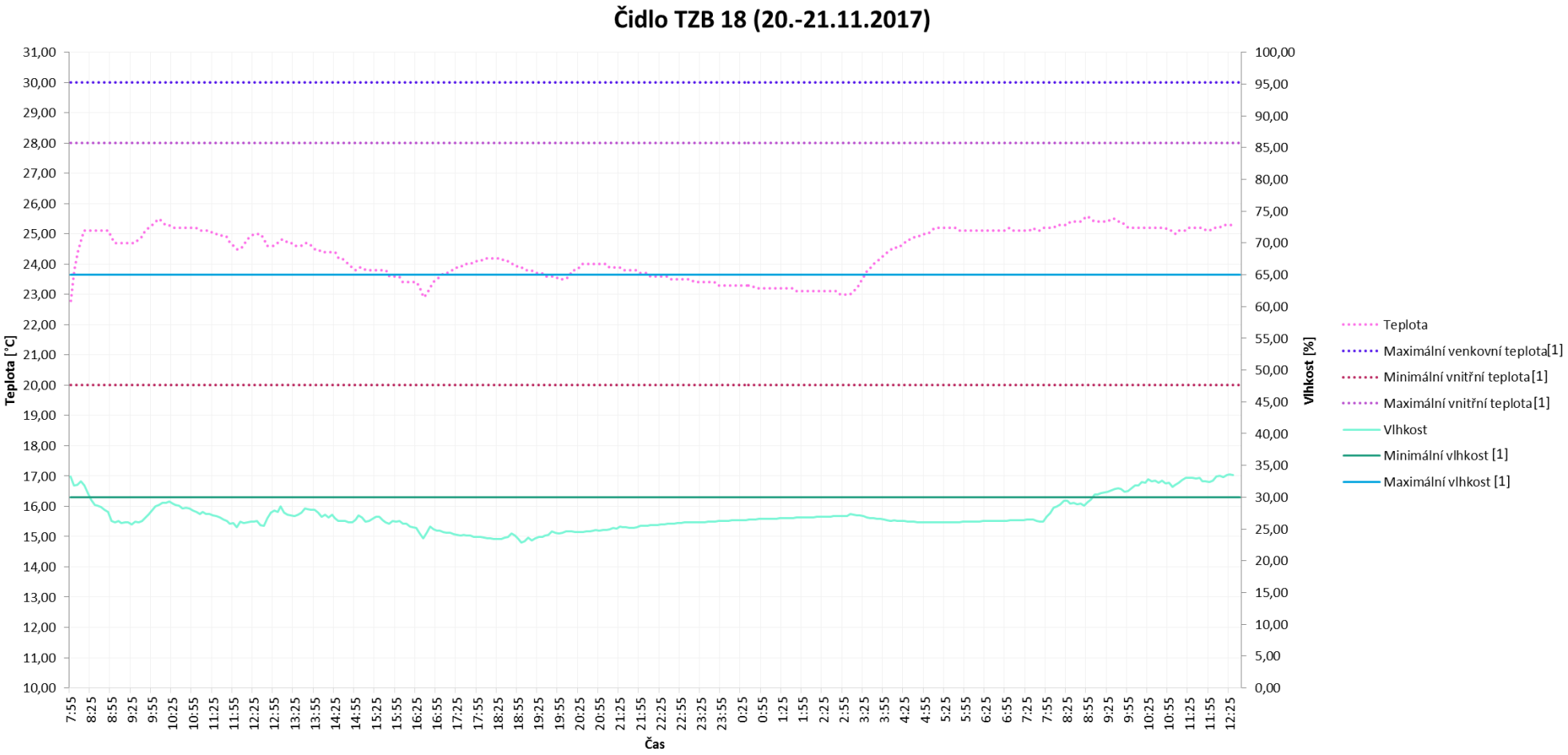

2.05

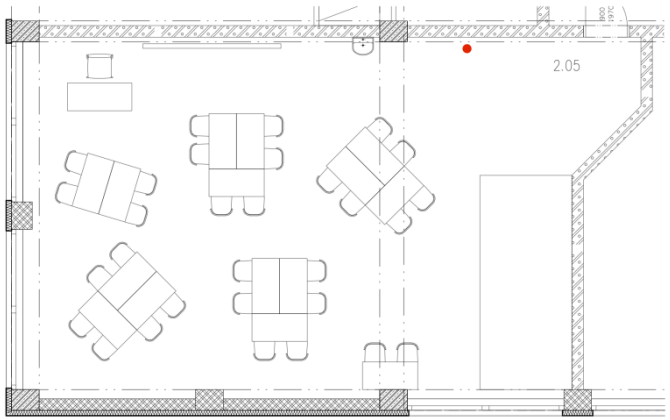
Graf č. 10


Čidlo TZB 16 (20.-21.11.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Čas
Teplota
Maximální venkovní teplota[1]
Minimální vnitřní teplota[1]
Maximální vnitřní teplota [1]
Vlhkost
Minimální vlhkost [1]
Maximální vlhkost [1]

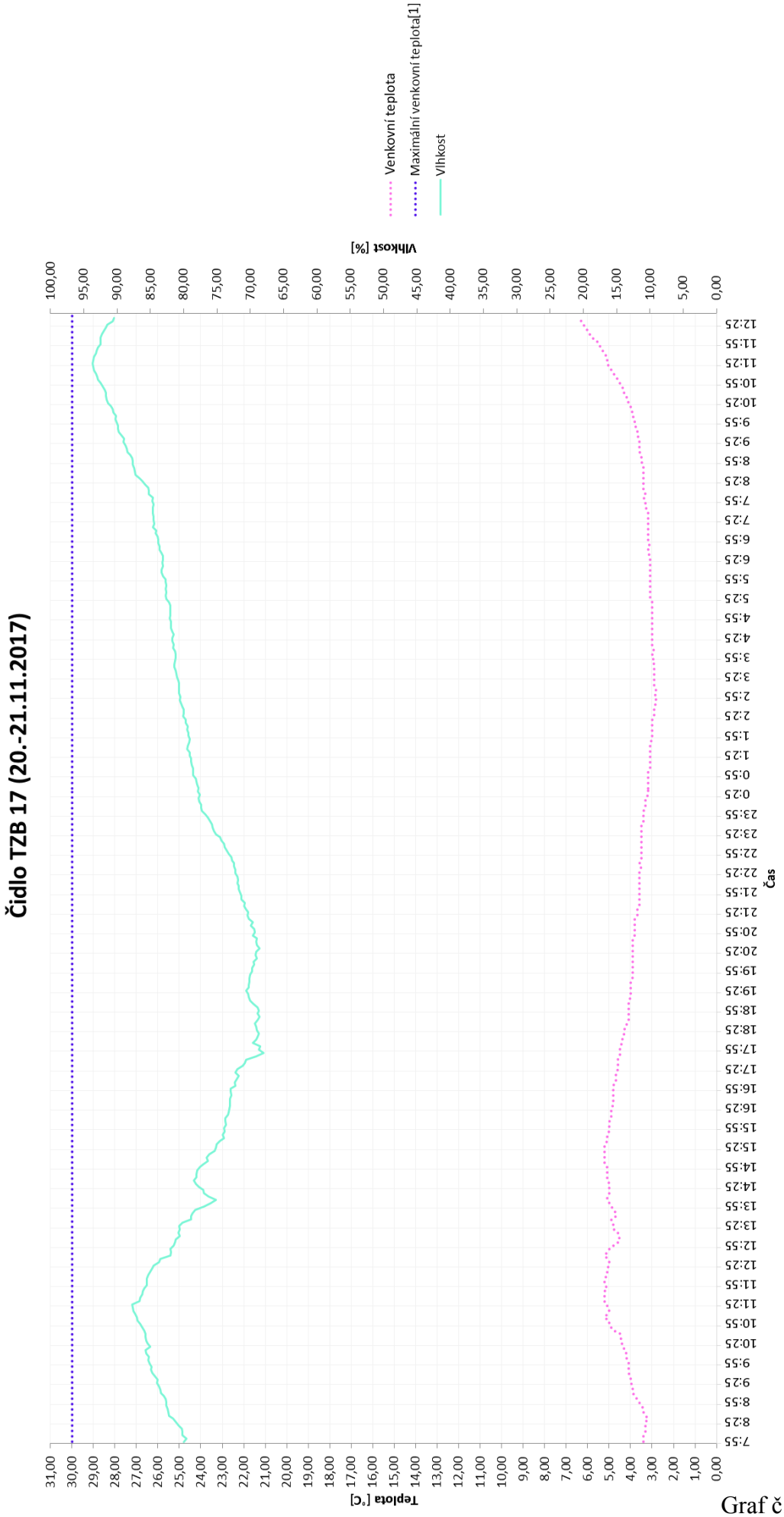

2.05

Graf č. 11

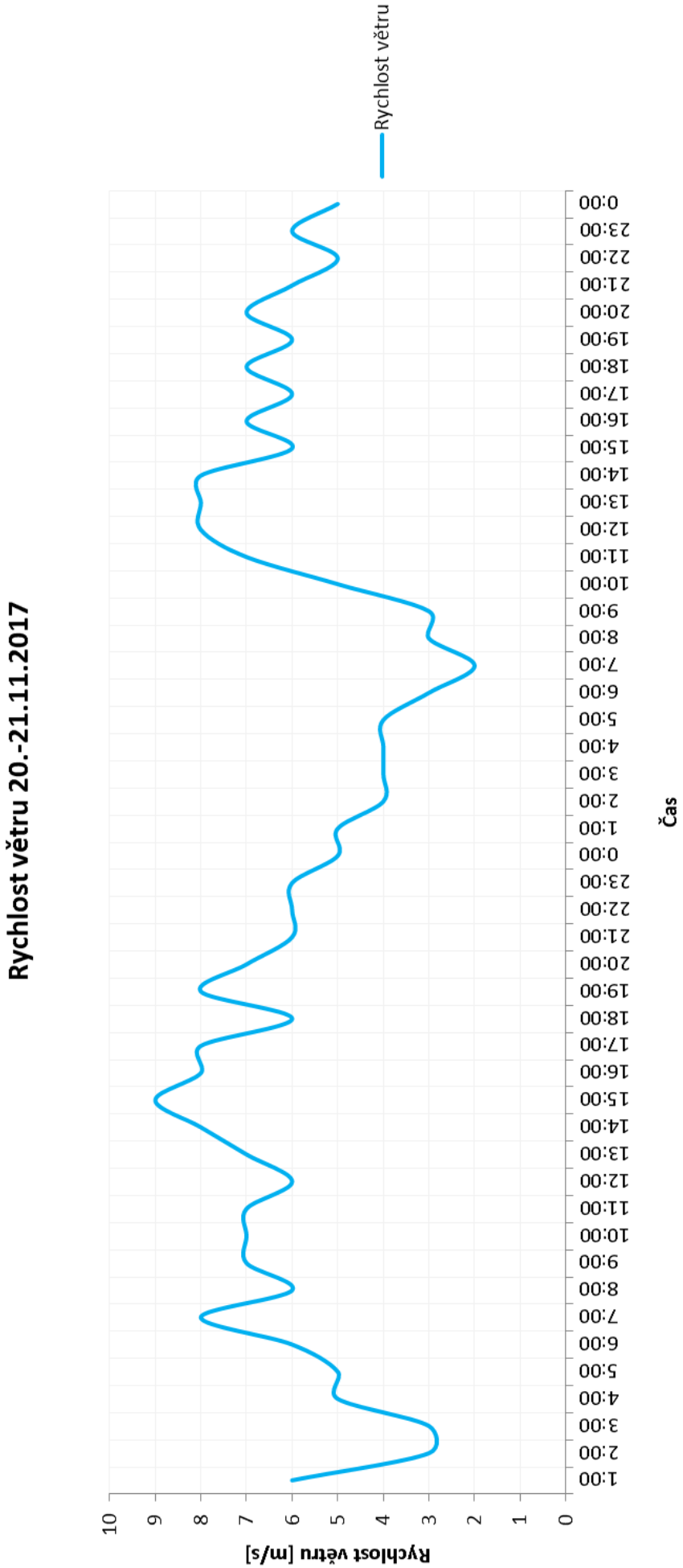

Čidlo TZB 18 (20.-21.11.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Čas
Teplota
Maximální venkovní teplota[1]
Minimální vnitřní teplota[1]
Maximální vnitřní teplota[1]
Vlhkost
Minimální vlhkost [1]
Maximální vlhkost [1]


2.05

Graf č. 12


Čidlo TZB 17 (20.-21.11.2017)
Teplota [°C]
Vlhkost [%]
Venkovní teplota
Maximální venkovní teplota[1]
Vlhkost
Čas

Graf č. 13


Rychlost větru 20.-21.11.2017
Rychlost větru [m/s]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
1:00
2:00
3:00
4:00
5:00
6:00
7:00
8:00
9:00
10:00
11:00
12:00
13:00
14:00
15:00
16:00
17:00
18:00
19:00
20:00
21:00
22:00
23:00
0:00
Čas
Rychlost větru

Graf č. 14

4.1.2 Popis grafů č. 8 a č. 9 čidel CM-0016, CM-0018 k měření ve dnech 20.-21.11.2017

1) 7:50 - začalo měření.
2) 8:10 - přítomností žáků a pedagoga došlo k nárůstu teploty i koncentrace CO2. V 8:10 vyučující otevřela jedno okno - důvodem bylo, že všem bylo vedro.
3) 9:30 - vyučující zavřela okno, poté opět narůstá teplota i koncentrace CO2
4) 10:05 - vyučující otevřela okno - teplota i koncentrace CO2 klesá. Osobně jsem cítila nepříjemný proud vzduchu.
5) 10:45 - děti se shromáždily u tabule, došlo k nárůstu koncentrace CO2, ale teplota stále mírně klesá.
6) 10:55 - děti odchází mimo třídu na tělocvik, koncentrace CO2 klesá, teplota také klesá.
7) 11:40 - děti se vrací do třídy, okno i dveře zůstávají otevřené, proto teplota i koncentrace prudce klesá
8) 11:50 - zavřené okno, zavřené dveře, odhod dětí na oběd lehký nárůst koncentrace a teploty
9) 12:20 - asi 25 dětí se vrací do třídy z oběda, ve třídě je družina, učitelka nárazově větrá jedním otevřeným oknem
10) 12:35 - družinářka okno zavírá, v grafu lze vyčíst, že koncentrace CO2 i teplota opět narůstá
11) 13:00 - opět se otevírá okno
12) 13:25 - děti se nahromadily u tabule, okno je stále otevřené, nějaké dítě dýchá na čidlo
13) 14:35 - děti běhají po třídě, koncentrace CO2 stoupá
14) 15:20 - děti se uklidnily a podasily do lavic, některé děti odcházejí domů, koncentrace CO2 klesá
15) 16:05 - všechny děti odchází domů, okno je zavřené, koncentrace se téměř nemění, teplota stoupá
16) 7:35 - děti přicházejí do třídy, koncentrace prudce stoupá
17) 8:00 - děti se rozdělily na dvě poloviny, ve třídě zůstalo 14 dětí a 1 vyučující, druhá polovina odchází do jiné třídy, okna jsou zavřená, dveře jsou otevřené
18) 8:50 - ve třídě je 24 dětí, 1 vyučující, okno je otevřené, dveře jsou otevřené, je cítit studený proud vzduchu od oken
19) 9:05 - vyučující zavřela dveře, koncentrace roste
20) 9:40 - přestávka, vyučující odešla, okno i dveře jsou otevřené

21) 10:00 - vyučující se vrací do třídy, dveře jsou zavřené a okno stále otevřené

22) 12:35 - konec měření.

Z grafů č. 8 a č. 9 je patrné, že koncentrace CO2 ve dne 21.11.2017 je o něco vyšší než předcházející den, přestože je celý den otevřené okno. Tuto skutečnost lze přikládat rychlosti větru, která byla dne 20.11.2017 dopoledne téměř dvakrát vyšší než 21.11.2017 dopoledne viz graf č. 14. Graf nám opět ukazuje výborné hodnoty koncentrace CO2, zato průběh teploty u otevřených oken, viz graf č. 11, nám odhaluje pokles teploty pod minimální přípustné hodnoty. Dále si můžeme všimnout nízké vlhkosti vzduchu, pokud by byl stanoven požadavek vzduch vlhčit, bylo by možné vlhčení zajistit právě například v centrální vzduchotechnické jednotce, o které uvažuji jako alternativní řešení systému větrání tříd.

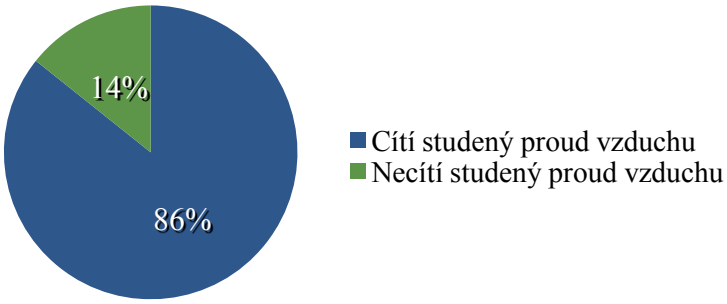
4.2 Dotazník

4.2.1 Výstupy z dotazníku

Jednou z metod zkoumání, které jsem využila při zpracování mé diplomové práce je dotazník funkčnosti hybridního větracího systému. Na dotazník mi odpovědělo 7 z 16 pedagogických zaměstnanců. V následujícím výstupu z dotazníkového šetření jsou tedy zohledněny názory pouze necelé poloviny vyučujících.

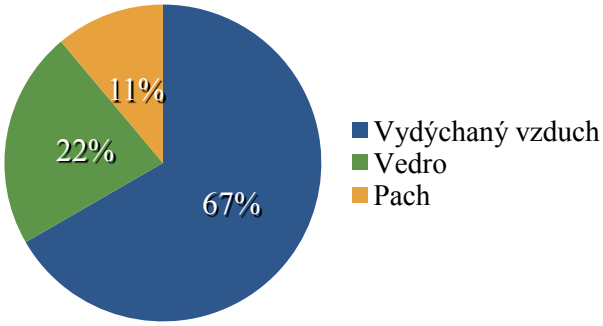
Z dotazníku vyplynulo, že z dotazovaných pedagogů většina (6 ze 7) v zimním období necítí studený proud vzduchu od zavřených oken.

Vnímání studeného proudu vzduchu

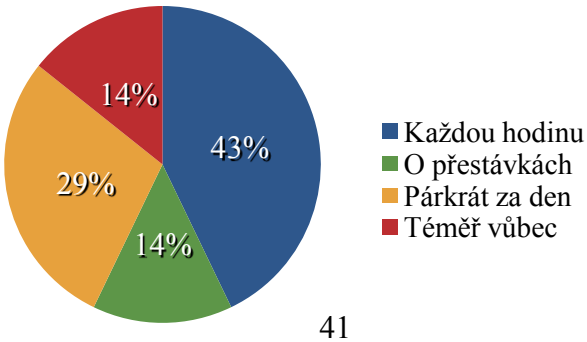


Naprostá většina respondentů (7) v zimním období větrá okny a to často nejčastěji z důvodu vydýchaného vzduchu (6), dále vedra a pocení. 3 ze 7 respondentů větrají každou hodinu. Stejně je tomu tak na jaře/podzim - 7 respondentů v tomto období větrá okny.

Důvod větrání

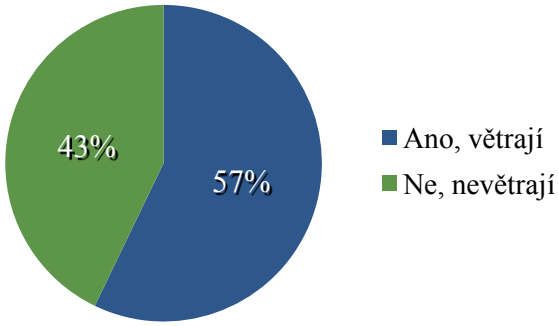


Četnost větrání



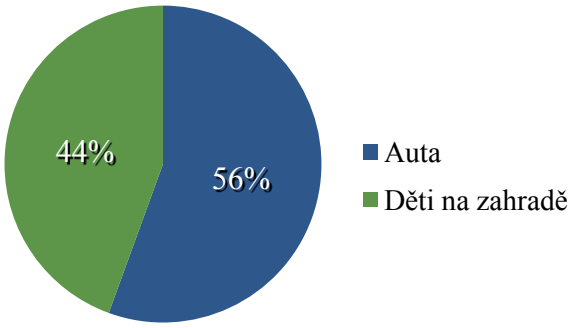
Během přestávky větrají 4 ze 7 respondentů, ostatní nevětrají z důvodu bezpečnosti.

Větrání během přestávky



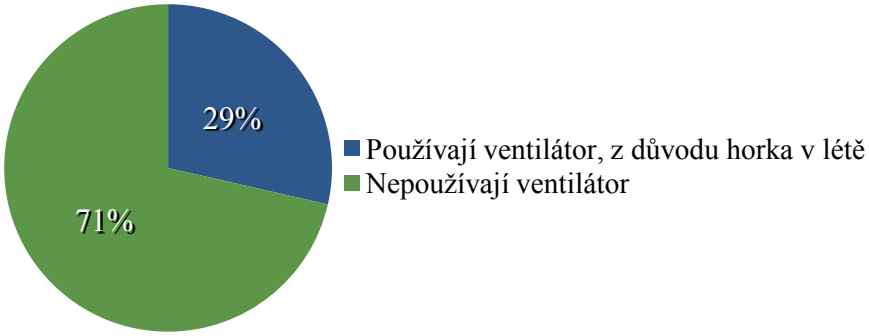
Hluk zvenčí během větrání okny vnímá 6 ze 7 respondentů, nejčastěji je slyšet auta (5) nebo děti na zahradě (4).

Zdroj hluku

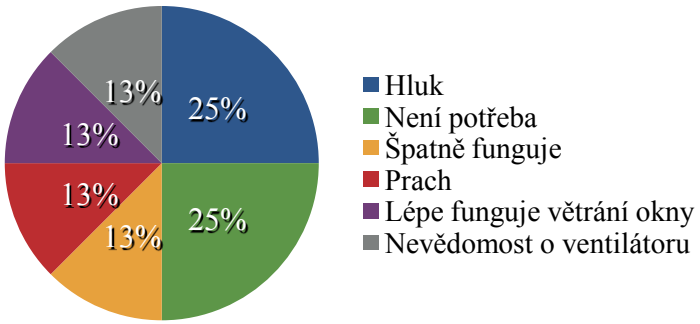


Pouze 2 z 7 respondentů využívá ventilátor - důvodem je horko v létě. Zbylých 5 respondentů nevyužívá ventilátor - důvody jsou hluk od ventilátoru (2), ventilátor není potřeba (2), ventilátor špatně funguje (1), ventilátor je zaprášený (1), lépe funguje větrání okny (1), respondent o ventilátoru neví (1).

Využití ventilátoru



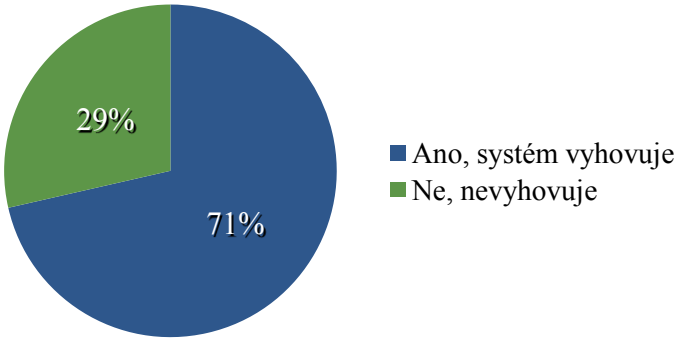
Důvody nepoužívání ventilátoru



Naprostou většinu respondentů (7) neruší skutečnost, že během výuky otevírají okna kvůli výměně vzduchu.

5 ze 7 respondentům vyhovuje stávající systém větrání, ostatním nevyhovuje, že nelze otevřít celé okno a větrat nárazově.

Spokojenost se stávajícím systémem větrání



4.2.2 Poznatky učitelky a dětí ve třídě, ve které proběhlo měření

V zimě je ve třídách vedro, i když jsou radiátory vypnuté. Čidla na teplotu v místnosti jsou umístěna za otopnými tělesy. Šachta nedostatečně odvádí teplý odpadní vzduch ven, někdy mají naopak vyučují pocit, že neupravený venkovní vzduch vstupuje šachtou do místnosti a proto mívají mřížku do šachty téměř uzavřenou či zavřenou. V zimě téměř vůbec nevětrají otevřenými okny, jelikož na žáky táhne studený vzduch. Žákům u oken je někdy naopak velké teplo, jelikož je nejspíše špatně zaregulovaná otopná soustava. Větracími štěrbinami v oknech táhne jedné vyučující na hlavu, jelikož je vysoká a větrací štěrbiny má v úrovni hlavy. Mřížky

do větracích šachet prý nikdo nečistí, ventilátor proto nechtějí učitelky zapínat, protože do místnosti víří prach a žáci kýchají. Okna se dají otevřít pouze na ventilaci a není to dostatečné. Horní část oken je z bezpečnostních důvodů zakázané otevírat - okna jsou pouze na dvou pantech a prý hrozí, že neunesou svoji váhu.

4.2.3 Mé poznatky a shrnutí

Dle projektu chybí jedno okno na západní stěně. V každé třídě je umístěno čidlo, které zobrazuje aktuální teplotu a vlhkost. Při měření prováděném na podzim jsem pociťovala studený proud od oken v oblasti kotníků a zad. Je možné, že větrání otevřenými okny se může u dětí projevovat častějším smrkáním, jelikož jsem si všimla, že druhý den měření (kdy celý první den bylo otevřené okno) děti více využívali papírové kapesníky, které jsou ve třídě k dispozici všem. Dle poznatků dotazovaného pedagoga a vyplněných dotazníků je patrný rozpor v míře větrání v zimním období. Během každého měření bylo otevřeno okno a systém větrání tedy nebyl používán tak, jak byl přesně navržen, větrání pomocí štěrbin umístěných v oknech a se spuštěným ventilátorem. Koncentrace oxidu uhličitého začíná klesat, pokud se k otevřenému oknu buď zapne ventilátor, nebo se otevřou dveře. V zimním období jsou sice hodnoty koncentrace oxidu uhličitého výborné, ale jak je již zmíněno výše, teplota klesá pod minimální hodnoty. Další otázkou je, kolik tepelné energie uniká otevřenými okny? Z dotazníkového šetření i rozhovoru s vyučující, u které probíhalo měření je vidět nedůvěra či nepoučení o správném fungování navrženého hybridního systému.

4.3 Výběr vhodného systému

Jako alternativní řešení systému větrání jsem se rozhodla navrhnout pro celou budovu vyjma kuchyně kompletně nucené větrání. Při rozhodování mezi centrálním a lokálním systémem jsem si sepsala tyto klady a zápory vázané k této konkrétní budově.

Pozitivy centrálního systému je méně jednotek, nižší hluk od ventilátoru z důvodu umístění jednotky mimo třídu, méně prostupu na fasádu, levnější servis (obsluha 1 jednotky a ne 16 jednotek). Domnívám se, že pozitivem by také mohla být cena - dle mého názoru je totiž pravděpodobné, že cena 1 centrální jednotky je nižší než cena 16 jednotek lokálních.

Negativy centrálního systému jsou větší tlakové ztráty, delší a větší průřez potrubí a velké rozměry jednotky a manipulačního prostoru. Dalším negativem může být složitější zaregulování systému a optimalizace tlakových ztrát - tím pádem je zde nutnost většího počtu regulačních klapek a tím se mohou zvyšovat jak náklady na systém, tak hluk celého systému.
Pozitivy lokální jednotky jsou menší délka a průřezy potrubí, malé tlakové ztráty, absence regulačních klapek a možnost nastavit jednotku přímo na požadované parametry konkrétní třídy.

Negativem je velký počet jednotek, mnoho prostupů na fasádu (z každé jednotky dva prostupy), větší hluk ve třídě, z důvodu umístění jednotky přímo ve třídě, pravděpodobně dražší servis (vysoký počet jednotek).

Dle provozní doby a hygienických podmínek jsem se rozhodla, že navrhnu čtyři centrální jednotky - jednu pro třídy, kabinety a kanceláře (pro přehlednost dále jen “třídy”), druhou pro šatny, třetí pro jídelnu a poslední pro WC. Všechny čtyři jednotky jsou navrženy s vysokou účinností zpětného získávání tepla. Přičemž v řešení větrání ve třídách navrhuji zónové větrání, které, jak je již zmíněno v základním rozdělení systémů, spojuje výhody obou výše uvedených systémů.

Pro větrání tříd jsem zvolila ucelený systém centrálního, rovnotlakého větrání založený na centrální vzduchotechnické jednotce a lokálních smart boxech umožňujících nezávisle regulovat jednotlivé třídy. Výhodou tohoto systému je optimalizace výkonu centrální jednotky podle požadavků jednotlivých smart boxů, která výrazně snižuje spotřebu energie

a hlučnost. Tak bude například možné v nepřítomnosti žáků přivádět do třídy minimální množství vzduchu, čímž se ušetří spotřeba energie. Regulaci bude řídit čidlo kvality vzduchu. Jako přívodní distribuční prvek jsem zvolila textilní vzduchové potrubí s mikroperforací šité na míru, které bude situováno nad tabuli. Textilní potrubí se mi zdá jako ideální varianta jelikož tlumí hluk, nevíří prach, naopak je pratelný v pračce a jeho povrch funguje téměř jako filtr. Je dokonce možné si vybrat vlastní barvu či motiv textilu, což dle mého názoru může být ve třídě 1. stupně příjemný doplněk. Odvod vzduchu bude řešen klasicky mřížkami v potrubí, které se bude nacházet v zadní části třídy. Při návrhu množství přiváděného vzduchu jsem vycházela z produkce CO2 dítěte ve věku deseti let, jelikož v této budově je nejvýše 4.třída.
Větrání šaten a WC jsem navrhla tedy standardní centrální a dle *Vyhlášky č. 410/2005 Sb*. podtlakové. Jídelna je také větrána centrálně a jelikož je uvažována jako pobytová místnost, je navržen rovnotlaký systém.

Všechny čtyři návrhy systémů větrání jsou podrobně popsány v Technické zprávě a vzduchotechnické jednotky v Technické specifikaci.

Závěr

V této práci jsem se věnovala obecným možnostem systémů větrání škol a řešila jsem konkrétní budovu nové základní školy ze strany stávající a ze strany návrhu alternativního řešení systému nuceného větrání. Zjistila jsem, že navrhnout systém větrání do stávající budovy a dodržet všechny požadavky dané vyhláškami je nesnadný cíl. Dle mého názoru i prostudované literatury, by měly být ve vyhláškách uvedeny rozdíly mezi požadavky na množství čerstvého vzduchu mezi žáky prvního a druhého stupně. Pokud bych navrhovala množství čerstvého vzduchu bez ohledu na věk dítěte a jeho produkci CO2, musela bych navrhnout zbytečně větší, dražší a energeticky náročnější vzduchotechnické jednotky. Myslím si, že v dnešní době, kdy je kladen velký důraz na energetické úspory, by se tento rozdíl měl brát v potaz, jelikož se tato skutečnost projeví na celkovém Průkazu energetické náročnosti budov (PENB). Dále by bylo zajímavé porovnání stávajícího a alternativního řešení systému z hlediska energetické spotřeby, vstupních investic a finanční náročnosti na provoz. Naučila jsem se, že ačkoliv to není na první pohled zřejmé, všechny kroky v návrhu na sebe velmi úzce navazují a někdy je těžké vše správně skloubit dohromady.

Experimentální část, kdy lze pozorovat, jak se průběh koncentrace oxidu uhličitého, teploty a relativní vlhkosti v určité závislosti mění a co vše je těmto změnám příčinou, byla poučná a velmi zajímavá. Oproti mým původním očekáváním, z měření vyplynuly hodnoty koncentrace oxidu uhličitého vyhovující. Za nedostatek považuji, že snad díky nedůvěře či nevědomosti pedagogů se v této nové budově v podstatě nevyužívá trochu netradiční systém větrání, který zde byl navržen. Dle mého názoru by mělo proběhnout náležité seznámení a proškolení pedagogů o daném stávajícím systému větrání. Další možností, jak obecně zajistit správného užívání navrženého systému, by mohlo být nucené větrání bez zásahu uživatelů. Domnívám se, že se mi podařilo splnit všechny stanovené cíle.

Zdroje

[1] Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých ve znění Vyhlášky č. 343/2009 Sb.

[2] Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby ve znění Vyhlášky č. 20/2012 Sb.

[3] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací ve znění č. 217/2016 Sb.

[4] CIFRINEC, Ivan. Větrání bytových domů - Základy teorie větrání. TZB-info [online]. 2017, 26.5.2010 [cit. 2017-12-28]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani

[5] ČERVENÁK, J. Snad nám naše děti prominou?. Větrání škol – sborník přednášek. Společnost pro techniku prostředí. 2013 In: ZMRHAL, V. a kol. Větrání škol v souvislostech. Společnost pro techniku prostředí. 2017. 140 s. ISBN 978-80-02-02718-8

[6] NOVOTNÝ, Pavel. Vliv oxidu uhličitého (CO2) na kvalitu vnitřního prostředí. TZB-info [online]. 30.5.2017 [cit. 2017-12-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/13662-vetrani-skolhttp://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/15831-vliv-oxidu-uhliciteho-co2-na-kvalitu-vnitrniho-prostredi

[7] REDAKCE. Větrání škol. TZB-info [online]. 6.1.2017 [cit. 2017-12-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/13662-vetrani-skol

[8] ZMRHAL, Vladimír. Historie, současnost a budoucnost požadavků na větrání škol. TZB-info [online]. 21.11.2016 [cit. 2017-12-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/14981-historie-soucasnost-a-budoucnost-pozadavku-na-vetrani-skol

[9] ZMRHAL, V. a kol. Větrání škol v souvislostech. Společnost pro techniku prostředí. 2017. 140 s. ISBN 978-80-02-02718-8

[10] Přednáška ADAMOVSKÝ, Daniel. Úvod, kvalita vzduchu, principy větrání a klimatizace. 2017. ČVUT Katedra Technických zařízení budov K11125