

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VYTÁPĚNÍ, VĚTRÁNÍ A CHLAZENÍ ŠKOLNÍCH TŘÍD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Jindřich Blanář

Vedoucí práce:

doc. Ing. Vladimír Jelínek CSc.

2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Blanář</u>	Jméno: <u>Jindřich</u>	Osobní číslo: <u>409637</u>
Zadávací katedra: <u>K125 Katedra technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Vytápění, větrání a chlazení školních tříd</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Heating, ventilation and cooling of school classes</u>	
Pokyny pro vypracování: Parametry interního mikroklimatu a tepelně technické výpočty ve školních třídách. Varianty systémů, zdrojů, distribučních prvků a teplosměnných ploch. Hodnocení náročnosti z hlediska ekologie, energetiky a ekonomie. Porovnání jednotlivých variant v rozsahu charakteristické třídy.	
Zpracování projektové dokumentace vybraného systému vzduchotechniky pro zadaný objekt. Obsahem dokumentace budou výkresy vzduchotechnického systému, výpočet množství vzduchu, hydraulické výpočty, návrh distribučních elementů, technická zpráva a specifikace použitých výrobků.	
Seznam doporučené literatury: Kabele, K. a kol.: Energetické a ekologické systémy budov 1: Zdravotní technika, vytápění, ČVUT 2005 Kabele, L. a kol.: TZB. Vytápění - podklady pro cvičení, ČVUT 2014 Daniel Klaus: Technika budov . Příručka pro projektanty, Jaga 2003 Papež, K.: Energetické a ekologické systémy budov a ekologické systémy budov 2: Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení, ČVUT 2007	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Vladimír Jelínek, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: _____	Termín odevzdání diplomové práce: <u>5.1.2020</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce/	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

1.10.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Autor: Bc. Jindřich Blanář

Název práce: Vytápění, větrání a chlazení školních tříd

Tato diplomová práce se zabývá energetickou bilancí ve školních třídách v budově Střední průmyslové a umělecké školy v Hodoníně. Hlavním úkolem této práce je stanovit opatření, zajišťující dostatečnou kvalitu vnitřního prostředí v učebnách a dalších pobytových prostorách této školy. Součástí práce je návrh a projektová dokumentace vzduchotechnického systému.

Klíčová slova: větrání, chlazení, škola, třída, vnitřní prostředí

Abstract

Autor: Bc. Jindřich Blanář

Name of thesis: Heating, ventilation and cooling of the school classes

The thesis deals with an energetic balance in the classrooms of high school of industry and arts in Hodonín. The main task of the thesis is to establish measures for sufficient quality of the internal environment in classrooms and other residential premises of the school. The thesis includes a design and project documentation of air-conditioning system.

Keywords: ventilation, cooling, school, classroom, indoor environment

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury, podkladů a odborných konzultací, poskytnutých doc. Ing. Vladimírem Jelínkem, CSc.

V Praze dne: 5. 1. 2020

podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Jelínkovi, CSc. za trpělivost a čas, strávený konzultacemi k této práci, za jejich rozsah a odbornost. Dále děkuji všem blízkým a rodině, za psychickou podporu.

Obsah

1	Úvod	10
1.1	Problematika školních budov	10
1.2	Informace o řešeném objektu	11
2	Vnitřní prostředí ve školách	13
2.1	Požadavky na vnitřní prostředí školních staveb	13
2.1.1	Tepelně vlhkostní požadavky	13
2.1.2	Požadavky na kvalitu vzduchu	14
2.2	Interní mikroklima	14
2.2.1	Tepelně-vlhkostní mikroklima.....	15
2.2.2	Kvalita vzduchu	16
2.2.3	Akustické mikroklima.....	18
2.2.4	Světelné mikroklima	18
2.2.5	Elektromagnetická, elektrostatická, ionizační a radiační pole.....	18
2.3	Větrání škol	19
2.3.1	Způsob větrání školních tříd	19
2.4	Chlazení tříd	20
2.5	Vytápění tříd.....	21
3	Rozbor vybrané části školy	23
4	Energetická bilance	25
4.1	Obecné informace a vstupní parametry.....	25
4.1.1	Stavební konstrukce	25
4.2	Výpočet tepelné zátěže.....	26
4.2.1	Tepelné zisky od vnitřních zdrojů	26
4.2.2	Tepelné zisky z vnějšího prostředí.....	27
4.3	Tepelné ztráty.....	32
4.3.1	Základní tepelná ztráta Q_0	32
4.3.2	Tepelná ztráta prostupem Q_p	33

4.3.3	Tepelná ztráta větráním Q_v	33
4.4	Rozbor výsledků.....	34
4.4.1	Tepelné zisky	34
4.4.2	Tepelné toky ve třídách.....	36
4.5	Stanovení množství větracího vzduchu.....	38
5	Návrh systému větrání.....	39
5.1	Varianty distribučních prvků.....	39
5.1.1	Vířivé anemostaty	39
5.1.2	Textilní vyústka	39
5.1.3	Volba distribučního prvku	39
5.2	Varianty systémů.....	40
5.2.1	Nucené rovnotlaké větrání s lokální jednotkou	40
5.2.2	Nucené rovnotlaké větrání s centrální jednotkou	40
5.2.3	Volba systému větrání	40
5.3	Varianty zdrojů.....	41
6	Závěr	42
	Literatura	43
	Seznam obrázků	44
	Seznam tabulek	44

Seznam použitých veličin

U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
Q	tepelný tok, výkon, tepelný zisk, tepelná ztráta	[W]
S	plocha	[m ²]
s	stínící součinitel	[-]
n	ekvivalentní počet osob	[-]
t	teplota	[°C]
q	intenzita osvětlení	[W/m ²]
c ₁	součinitel současnosti	[-]
c ₂	zbytkový součinitel	[-]
c ₃	součinitel zatížení stroje	[-]
δ	sluneční deklinace	[°]
h	výška slunce nad obzorem	[°]
τ	sluneční čas	[h]
a _z	sluneční azimut	[°]
θ	úhel mezi normálou oslněného povrchu a směru paprsků	[°]
α	úhel mezi stěnou a vodorovnou rovinou	[°]
γ	azimutový úhel normály stěny	[°]
I	intenzita sluneční radiace	[W/m ²]
I ₀	sluneční konstanta	[W/m ²]
z	součinitel znečištění atmosféry	[-]
T _D	poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardním zasklením	[-]
e	délka stínů	[m]
a	šířka okna	[m]
b	výška okna	[m]
d	hloubka okna	[m]
c	hloubka okna vzhledem k horní desce	[m]
L	šířka zasklené části okna	[m]
H	výška zasklené části okna	[m]
f	odstup vodorovné části okna od slunolamů	[m]
g	odstup svislé části okna od slunolamů	[m]
A	amplituda kolísání teplot	[K]
V _a	rychlost proudění	[ms ⁻¹]

rh	relativní vlhkost	[%]
M	hmotnost obvodových stěn	[kg]
δ_s	tloušťka stěny	[m]
α_e	součinitel přestupu na vnější straně stěny	[W/m ² K]
ε	součinitel poměrné tepelné vodivosti pro sluneční radiaci	[-]
φ	účinnost výměníku zpětného získávání tepla	[-]
V	množství větracího vzduchu	[m ³ /h]
ρ	měrná hmotnost vzduchu	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kgK]
m _{CO2}	produkce CO ₂ učebny	[l/h]
ρ_{CO2}	koncentrace CO ₂ ve venkovním vzduchu	[g/g]
Δ	rozdíl	
ppm	jedna miliontina celku	
CO	oxid uhelnatý	
CO ₂	oxid uhličitý	
SO _x	oxidy síry	
NO _x	oxidy dusíku	
O ₃	ozon	
VOC	těkavé organické látky	
PM	prachové částice	
Bq	jednotka intenzity záření - Becquerel	

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá úpravou vnitřního prostředí Střední průmyslové a umělecké školy v Hodoníně.

V úvodu je vysvětlena problematika školních budov a jsou zde uvedeny informace o komplexu budov řešené školy. Dále jsou zde obecně popsány parametry, které ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí ve školách.

Další část diplomové práce obsahuje rozbor vybrané části školy, výpočet energetické bilance a návrh systému větrání. Součástí práce je projektová dokumentace, která podrobně řeší navrhovaný systém větrání posuzované části školy.

1.1 Problematika školních budov

Školy a vzdělávací zařízení patří mezi společensky velmi významné stavby. Zaměstnanci škol a žáci v nich pobývají značnou část svého času. Z těchto důvodů by měl být kladen velký důraz na návrh opatření, která zajišťují odpovídající kvalitu vnitřního prostředí těchto budov.

Významný důvod, proč se vnitřní prostředí škol stává aktuálním tématem, jsou budovy škol, u kterých došlo k zateplení fasád a výměně oken. Tyto rekonstrukce proběhly ve velké části českých škol za účelem úspory energie.

Ne vždy byly rekonstrukce provedeny natolik citlivě, aby se zabývaly vnitřním prostředím. Výměnou oken došlo k vzduchotěsnému uzavření budov, ty se bez přidání vhodných doplňků nebo řešení vzduchotechniky stávají nevyhovujícími a nepříjemnými pro své uživatele.

Špatná kvalita vnitřního prostředí v učebnách škol souvisí s nárůstem alergií a imunitních onemocnění žáků i učitelů. Nedostatečným větráním v místnostech se zvyšuje únava a malátnost, snižuje se koncentrace a výkon žáků.

1.2 Informace o řešeném objektu



Obrázek 1 Střední průmyslová a umělecká škola v Hodoníně (zdroj: cs.wikipedia.org)

Předmětem studie je Střední průmyslová a umělecká škola v Hodoníně. Byla založena v roce 1954 jako Střední průmyslová škola cihlářská, prodělala několik stavebních, ale i provozních úprav. Ve školním roce 1996/1997 byla otevřena Vyšší odborná škola. V současnosti se zde vyučují pouze čtyřleté obory, poskytující střední vzdělání, ukončené maturitní zkouškou. Jsou to technické obory Technické lyceum a Stavebnictví a umělecké obory Grafický design a Užitá malba. Škola má kapacitu až 400 žáků a je rozdělena na tři pavilony.

Nejstarší budova **A** má ve svém přízemí vstupní halu. Ta je využívána jako hlavní vstup do budovy. Na ni navazuje šatna s šatními skříňkami, sloužícími k odložení svrchního oděvu a venkovní obuvi. Dále jsou v přízemí dvě specializované učebny a školní bufet. V dalších dvou podlažích se nachází kmenové třídy, zázemí učitelů a studentů. Třídy v tomto pavilonu jsou orientovány na jih.

Západní část školy, budova **B**, byla dostavěna jako druhá v pořadí. Vertikálně je rozdělena na čtyři podlaží. První a čtvrté podlaží mají stejný půdorys i provoz. Jsou zde dvě jižně a jedna západně orientovaná kmenová učebna, kabinet pro učitele a hygienické zázemí. Druhé podlaží slouží primárně pro vedení školy. Kromě ředitelny a kanceláře zástupců ředitele je zde sborovna, sekretariát a ekonomická kancelář. Ze schodiště je v tomto podlaží přístupna také školní knihovna. Třetí podlaží se liší od prvního a čtvrtého podlaží pouze provozem. Jsou zde tři počítačové učebny, kabinet a tiskařské a kopírovací centrum.

Poslední a zároveň nejmladší je budova C. Nachází se ve východní části školy. V přízemí je situována jídelna pro 100 osob a výdejna jídel. Pokrmy jsou připravovány a dováženy z jiného zařízení, zde jsou pouze uchovávány a vydávány zaměstnancům a studentům školy. V suterénu budovy jsou místnosti archivu, sklady a dílny. Učebny v této části jsou umístěny od druhého do čtvrtého nadzemního podlaží a jsou spíše specializovaného charakteru. Je to například laboratoř stavebních materiálů, posluchárna pro 50 osob nebo několik jazykových učeben. Jsou zde také dvě kmenové třídy a několik kabinetů pro učitele.

2 Vnitřní prostředí ve školách

2.1 Požadavky na vnitřní prostředí školních staveb

Požadavky na vnitřní prostředí škol závazně stanovuje vyhláška č.410/2005 Sb. [1] o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.

2.1.1 Tepelně vlhkostní požadavky

Tabulka 1 Průměrné hodnoty výsledných teplot, rychlostí proudění a relativní vlhkosti vzduchu dle vyhlášky č.410/2005 Sb. [1]

Typ prostoru	Výsledná teplota			Rychlost proudění	Relativní vlhkost
	$t_{g_{min}} [^{\circ}C]$	$t_{g_{opt}} [^{\circ}C]$	$t_{g_{max}} [^{\circ}C]$	$v_a [m.s^{-1}]$	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

2.1.2 Požadavky na kvalitu vzduchu

Tabulka 2 Požadavky na větrání školních prostor dle vyhlášky č.410/2005 Sb. [1]

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ .hod ⁻¹]
Učebny	20–30 na 1 žáka
Tělocvičny	20–90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150–200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinu, 25 na 1 pisoár

Tabulka 3 Účinky oxidu uhličitého na lidský organismus [<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel>]

Účinky CO ₂ na lidský organismus	
cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1200–1500 ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1000–2000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000–5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15 000 ppm	dýchací potíže
> 40 000 ppm	možná ztráta vědomí

2.2 Interní mikroklima

Jedním z hlavních ukazatelů, které ovlivňují kvalitu prostoru, je vnitřní mikroklima. K dosažení optimálních podmínek v prostorách učeben je zapotřebí dostatečná výměna čerstvého vzduchu, jeho požadovaná vlhkost, rozložení teploty v místnosti, nízká koncentrace škodlivin, rychlost proudění vzduchu, akustika prostředí a kvalita osvětlení.

Kvalitu vnitřního ovzduší v budovách škol významně ovlivňují škodliviny, které se do učeben dostávají z vnějšího prostředí nebo vznikají přímo uvnitř budov.

Z venkovního prostředí může být vzduch při větrání znehodnocen blízkostí frekventované komunikace nebo zdrojem průmyslového znečištění.

Ve vnitřním prostředí znehodnocují vzduch lidé metabolickými procesy a škodliviny ze stavebních konstrukcí a vnitřního zařízení učeben.

Velmi významné znečištění kvality ovzduší může způsobovat radon, který je provázen ionizujícím zářením. Je to plyn, který je bez zápachu, barvy i chuti. V České republice je koncentrace radonu v půdním vzduchu velmi vysoká, jedná se o 10 000–100 000 Bq/m³. Je to způsobeno geologickým podložím naší země. Jedno z opatření zvýšené koncentraci radonu ve vnitřním prostředí je správné větrání.

2.2.1 Tepelně-vlhkostní mikroklima

Organismus každého živého tvora je neustále v interakci s okolním prostředím. Stav, při kterém okolní prostředí odebírá člověku přibližně takové množství tepla, jaké vyprodukuje, se nazývá tepelná pohoda. Tepelnou pohodu člověku bohužel nezajistíme tak snadno, jak zní její definice. Je ovlivňována několika faktory.

2.2.1.1 PMV a PPD

PMV (Predicted Mean Vote, předpokládaná průměrná volba) je ukazatel, který předpovídá střední tepelný pocit na základě odpovědí větší skupiny osob, které hodnotí svůj pocit pomocí sedmibodové stupnice tepelných pocitů, podle tepelné rovnováhy lidského těla. (Horké, teplé, mírně teplé, neutrální, mírně v pohodě, v pohodě, zima.)

PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied, předpokládané procento nespokojených) je ukazatel, stanovující kvantitativní předpověď skupiny osob, nespokojených s tepelným prostředím. Jsou to osoby, které budou volit na sedmibodové stupnici horko, teplo, chladno nebo zima. Je předpokládáno přibližně 5 % nespokojených osob.

2.2.1.2 Teplota vnitřního prostředí

Výsledná teplota vnitřního prostředí je teplota, která zahrnuje:

- teplotu vzduchu T_A , bez vlivu sálání okolních ploch
- střední radiační teplotu T_R , která zahrnuje teplo, vyzařované okolními plochami
- operativní teplotu T_O , která udává teplotu uzavřeného černého prostoru, v němž by lidské tělo sdílelo radiaci a konvekci stejné množství tepla, jako ve skutečném prostoru, vychází z teploty vzduchu, střední radiační teploty a z rychlosti proudění vzduchu
- teplotu kulového teploměru T_G , která zahrnuje teplotu okolních ploch, teplotu vzduchu a proudění vzduchu, měří se kulovým teploměrem

2.2.1.3 Rychlost proudění vzduchu

Hlavním faktorem, ovlivňujícím proudění vzduchu v místnosti, je přiváděný vzduch. V případě nuceného větrání je rozhodující dosah proudu z vyústky. Je to vzdálenost pomyslné roviny od čela vyústky, kde rychlost klesne na přijatelnou hodnotu (mezní rychlost). Primární proud přiváděného vzduchu by tedy neměl na hranici pobytové zóny přesahovat rychlost 0,25 m/s (pro školy 0,2 m/s). V pobytové zóně však aspoň 0,1 m/s, aby docházelo k dostatečnému provětrání. Primárním proudem jsou indukované proudy sekundární a společně vytváří celkový charakter aerodynamiky interiéru.

2.2.1.4 Vlhkost vzduchu

Je to směs vzduchu a vodních par. Vzdušná vlhkost v místnosti je proměnná veličina. Zdrojem nebo sorbentem jsou stavební konstrukce, lidé, zvířata, vybavení místnosti, technologie, klimatické jevy nebo zemní vlhkost. Správná úroveň vlhkosti ve stavbách je důležitá z několika důvodů. Má zásadní vliv na zdravotní stav člověka, při nedostatečné vlhkosti se mohou objevit respirační nemoci a při příliš velké vlhkosti zvýšený výskyt bakterií, vznik kožních infekcí apod.

Stavební materiály s vyšší vlhkostí mají větší vodivost tepla a mohou ztrácet svou pevnost. Při vzniku kondenzace vodní páry ve vnitřním prostředí vznikají biologické procesy, například plísně nebo houby. Další specifické požadavky mají různé technologické provozny.

2.2.2 Kvalita vzduchu

Stejně jako je tomu u tepelně vlhkostního mikroklimatu, je pro kvalitu vzduchu rozhodující venkovní vzduch, jeho úprava a množství, přiváděné do místnosti.

2.2.2.1 Odérové mikroklima

Odérová složka prostředí, vnímaná jako vůně nebo pachy, které působí na člověka příjemně nebo nepříjemně. Jsou to organické nebo anorganické látky, které se do interního mikroklimatu dostanou zvenčí, z vybavení místnosti, ze stavebních materiálů, ze vzduchotechniky, z rostlin, osob nebo z jejich činnosti.

2.2.2.2 Toxické mikroklima

Hlavním zdrojem toxického mikroklimatu většinou bývá průmyslová činnost, ale také se na něm podílí stavební materiály.

Oxid uhelnatý CO

Zdroje: benzínové motory, nedokonalé spalování, cigaretový kouř, lokální topidla.

Účinky na člověka: váže se na hemoglobin a ovlivňuje tvorbu kyslíku v krvi.

Projevy: bolesti hlavy, ztráta soustředění, v extrémních případech až ztráta vědomí a smrt.

Oxidy síry SO_x

Zdroje: spalování fosilních paliv obsahujících síru, cigaretový kouř.

Účinky na člověka: váže se na pevný aerosol, dráždí a ovlivňuje zdraví dýchacích cest.

Projevy: rozleptání dýchacích cest.

Oxidy dusíku NO_x

Zdroje: diesellové motory, teplárny, hoření plynu, cigaretový kouř.

Účinky na člověka: dráždí sliznice v očích, nosu, krku a dýchacích cestách.

Projevy: snížení imunity, negativně ovlivňují dýchací cesty, podporují rakovinu.

Ozon O₃

Zdroje: kopírky, laserové tiskárny, elektrostatické čističky vzduchu, výfukové plyny.

Účinky na člověka: dráždivost očí a jemných plicních membrán, snižování imunity.

Projevy: kašel, dráždivost v krku, záněty, astmatické záchvaty, poruchy plic.

Těkavé organické látky VOC (toluen, benzen, formaldehyd atd.)

Zdroje: nátěry, rozpouštědla, koberce, lepidla, motorová vozidla, cigaretový kouř, kosmetika, čisticí prostředky.

Účinky: dráždění dýchacích cest, očí a nosu.

Projevy: při dlouhodobější expozici poruchy jater, ledvin, nervové a dýchací soustavy.

2.2.2.3 Aerosolové mikroklima

Jsou to pevné nebo kapalné částice, rozptýlené v ovzduší. Vznikají buď přirozeně z výbuchů sopek, lesních požárů, vlivem klimatu a živých organismů nebo antropogenně spalovacími a chemickými procesy, erozí ze stavebních a průmyslem zasažených oblastí.

Dělí se na pevné a kapalné aerosoly, které dále můžeme rozdělit na organické a anorganické. Různé frakce aerosolů mají různý dopad na člověka, jeho zdraví a vnímání kvality ovzduší.

- Inhalované částice < 10 μm (PM₁₀)
- Jemné částice < 2,5 μm (PM_{2,5})
- Extra jemné částice < 1 μm (PM₁)

Vlivů aerosolů na lidský organismus je několik. Zasahují dýchací cesty, pokožku, sliznice, jsou příčinou alergií nebo šíření virového a bakteriálního onemocnění.

2.2.2.4 Mikrobiální mikroklima

Výskyt mikrobů ve vnitřním prostředí zapříčiňuje podobně jako u aerosolů a toxinů doprava, vzduchotechnika místnosti, člověk nebo stavební konstrukce. Rozdíl je v původu jednotlivých částic. Mikroby se šíří v ptačím trusu, ve vodě, ve sporách hub, na stěnách aerosolu, na roztočích, kašláním člověka, při vzniku kondenzace na vnitřních površích místností, a to v podobě bakterií a plísní.

2.2.3 Akustické mikroklima

Kvalita akustického mikroklimatu závisí na hladině hluku, který nepříznivě ovlivňuje pohodu člověka. Mohou to být zvuky zvenčí, vzniklé od dopravy a dění okolo budovy nebo zvuky vznikající v interiéru, jako jsou zvuky od přístrojů, od činnosti osob nebo od stavebních konstrukcí. Hodnotící kritéria akustického mikroklimatu jsou:

- Intenzita zvuku – hladina akustického tlaku – L [dB]
- Frekvence zvuku – f [Hz]
- Doba dozvuku – T [s]

Doba dozvuku je hlavní složkou akustické kvality místnosti, je to doba, za kterou zvukový impuls klesne o 60 dB vůči šumu. Je to parametr, který zásadně ovlivňuje srozumitelnost zvukového projevu. Příliš dlouhá doba dozvuku zapříčiňuje mísení vznikajícího zvuku se zvukem odraženým a příliš krátká doba dozvuku zvuk zkracuje.

Akustické mikroklima lze ovlivnit rozložením nábytku, materiály jednotlivých povrchů a poměry vnitřních rozměrů místnosti.

2.2.4 Světelné mikroklima

Světelné mikroklima se skládá z několika složek. Jsou to například teplota chromatičnosti, světelný tok, index podání barev, jas nebo osvětlenost. Je vytvářeno geometrickými rozměry prostoru, typem a rozmístěním svítidel, rozložením jasů v prostoru, rozmístěním nábytku, barevnou úpravou místnosti a veškerého zařízení, barevným vzhledem všech předmětů v místnosti. Pro různé prostory se hodnota osvětlenosti liší, tyto hodnoty jsou uvedeny v ČSN EN 1264-1, Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory.

Osvětlení nesmí být příčinou oslňování. Vhodné světelné mikroklima je velmi důležité pro lidské zdraví a celkovou pohodu člověka.

2.2.5 Elektromagnetická, elektrostatická, ionizační a radiační pole

Elektromagnetické pole je fyzikální pole, tvořené elektricky nabitými částicemi a šířící se prostorem do nekonečna. Skládá se ze dvou fyzikálně propojených polí, elektrického, primárně vytvořeného stacionárním elektrickým nábojem, je přítomno všude tam, kde kabely a vodiče nesou elektřinu, i když nejsou zapnuty žádné spotřebiče a magnetického,

kteře vytvr pohybuji se elektrick náboj. Je přitomno tam, kde proud protéká, tedy tam, kde jsou zapnuty spotřebiče. Utvr se kolem vodiče, kterm prochází elektrick proud. Mobilní telefony, obrazovky potae, televize, rádio, tablet, reproduktory, digitln budík, projektor a další spotřebiče vydvj elektromagnetick záření, kter na nás denn působí, nejen v učebnách a kancelářích, veřejných budovách, ale také v domácnostech, tedy během celého dne a vtšinou i ve spánku.

Výsledkem je únava, oslaben, vyčerpanost a stres. Neustále oslabování bioenergie je pak jedním z převodnch jev a přein nemocí.

Ionizační mikroklima je slořka pstřed, tvořen zářením, jeř produkují jak přirodn radioaktivn látky, tak umel zdroje. Typickým zdrojem tohoto záření je radon, jenř je produktem rozpadu uranu.

2.3 Vetrn řkol

Hlavním způsobem, jak zajistit pořadovanou kvalitu vnitřního pstřed řkol, je vetrn. Nejpřesnj podmínky jsou přirozen kladeny na učebny. Ty jsou z hlediska vnitřního pstřed velmi specifickm provozem. Na pomrn malm prostoru se zde shromařduje velké množství osob. Proto je u těchto prostorů intern mikroklima celkem astm problémem.

2.3.1 Způsob vetrn řkolnch třd

Učebny lze vetrat hned nkolyka způsoby. Pouze nkter z nich vřak zajist pořadovanou kvalitu vnitřního pstřed. Př volbě systemu vetrn by se měla zohlednit funkčnost daného řešen, jeho proveditelnost, ekonomick vydaje, ale i vliv na energetick nároky.

2.3.1.1 Přirozen vetrn

Přirozen vetrn je zvisl na nkolyka faktorech. Jedním z nich jsou tlakov inky větru. Ty jsou ovlivněny umstnm a orientc budovy. Pohyb vzduchu ve venkovním prostoru je vřak nahodil a spoléhat se na něj nemůžeme. Umstnm místnosti v budově jsou ovlivněny rozdíly teploty venkovního a vnitřního vzduchu, popřpad rozdíly teplot na neosluřen a osluřen fasádě. Další, co zasadn ovlivnuje přirozen vetrn, je vertikln vzdálenost otvorů pro přivod a odvod vzduchu.

Provetrvn

Nejsponnj variantou pro dosařen doporuen koncentrace CO₂ ve třdch, je vybavit třdy čidlem zneiřtn CO₂ a provetrvat učebny na základě tohoto čidla. Z hlediska úspor energie se doporučuje vetrat intenzivn, v krátkých časových úsecích. V zimním období, kdy chladn vzduch do třdy proud spodní ast okna, je zřejm, že v době provetrvn bude st třdy vystavena tepelnému diskomfortu a tepelnou ztrátu s jstm zpoždnm pokryje vytápění. U této varianty jsme také ochuzeni o mořnost filtrovat venkovní vzduch a jakkoliv ho upravovat.

Infiltrace

Vzduch se při infiltraci do místností dostává především netěsnými spárami oken a dveří. U dnešních škol jsou okna často vyměněna za plastová a infiltrace tedy neprobíhá v tak velkém množství, aby zastoupila větrání ve třídách. K mísení vzduchu v místnosti při infiltraci dochází velice málo, spíše to vede ke vzniku plísní na ostěních nebo k orosení oken. K největší infiltraci dochází v zimních měsících, kdy je rozdíl teplot největší a výrazně navyšuje tepelnou ztrátu místnosti.

2.3.1.2 Nucené větrání

Při použití ventilátoru se jedná o nucené větrání. Podle tlakových poměrů v místnosti lze nucené větrání rozdělit na rovnotlaké, podtlakové a přetlakové, podle umístění větrací jednotky na centrální a lokální. Při umístění jednotek přímo ve větraném prostoru se musí dbát na akustickou zátěž.

Nucené podtlakové větrání

Venkovní vzduch je přiváděn do místnosti pod tlakem. Sání vzduchu se umísťuje na obálku budovy nebo do přilehlých prostor. Nucené podtlakové větrání lze použít jen v případě, že nenasává vzduch znehodnocený vnějším nebo vnitřním prostředím. Jako otvory pro přívod vzduchu mohou sloužit elektricky otevíraná okna nebo otvory ve stavebních konstrukcích. Hlavní nevýhoda tohoto systému je podobná, jako u přirozeného větrání. Do místnosti je vzduch přiváděn v neupraveném a někdy i v nevyhovujícím stavu.

Nucené rovnotlaké větrání

Jedná se o nejpříznivější variantu vzhledem k energetické náročnosti budovy, ale také vnitřního prostředí. Nucené rovnotlaké větrání je doprovázeno vyššími investičními náklady a vyžaduje prostor k umístění vzduchotechnických zařízení. Jednotka by měla být vybavena výměníkem zpětného získávání tepla, filtrací vzduchu, případně ohřívačem a chladičem vzduchu.

2.3.1.3 Hybridní větrání

Hybridní větrání využívá předností nuceného a přirozeného větrání. V době, kdy je tlakový rozdíl vně a uvnitř místnosti, zařizuje větrání pouze přirozená výměna vzduchu, v případě nedostatečného rozdílu pak větrání nucené.

2.4 Chlazení tříd

Většina škol byla rekonstruována z hlediska optimalizace obálky budovy. Došlo k zateplení fasád a výměně oken, což značně snížilo energetické požadavky na vytápění. Tím se zvýšil poměr mezi vnitřními zisky a tepelnými ztrátami učeben.

V nejteplejších měsících v roce, tedy v červenci a srpnu, mají žáci prázdniny. Většinu školního roku je proto venkovní teplota menší než 22 °C. Tepelnou zátěž interiéru nám

tak vyrovná přívod určitého množství venkovního vzduchu. V případě přirozeného větrání je tato funkce navíc spojena s obměnou znečištěného vnitřního vzduchu.

Počítačové učebny

V počítačových učebnách však v letních měsících venkovní vzduch mnohdy nestačí. Výpočetní technika produkuje nezanedbatelné množství tepla. Učebny jsou obvykle vybaveny 20 až 30 počítači. Aby teplota v místnosti v letních měsících nepřekročila požadované maximum, je nutnost návrhu chlazení samozřejmostí.

Chlazení přiváděného vzduchu

U nuceného větrání učeben máme možnost upravovat přiváděný vzduch tak, jak to vyžaduje vnitřní prostředí. Jednotky s výměníkem zpětného získávání tepla by měly být vybaveny bypassem neboli potrubím, obcházejícím tento výměník, právě kvůli odvodu tepelné zátěže. Výkon distribučních prvků je limitován rozdílem přiváděného a odváděného vzduchu (vířivé anemostaty až 14 K)[10].

Noční chlazení

Velká část škol byla postavena v průběhu minulého století, kdy hlavním stavebním materiálem byla plná pálená cihla. Výsledkem toho jsou stavby, které disponují masivními zděnými konstrukcemi. Jejich velkou výhodou je schopnost akumulace. V nočních hodinách, kdy teplota venkovního vzduchu klesne, si stavební konstrukce drží teplo, které naakumulovaly přes den. Přívodem dostatečného množství venkovního vzduchu můžeme stavební konstrukce přes noc předchladit tak, aby v průběhu výuky udržovaly chlad v učebnách.

Kompresorové chlazení

Kompresorové chlazení používáme v případě, že venkovní vzduch pro pokrytí tepelné zátěže učebny nestačí. Jedním z řešení je umístění vnitřní klimatizační jednotky přímo v učebně. Výrobci těchto zařízení nabízí velkou škálu výrobků. Podle umístění se dělí na nástěnné, podstropní, parapetní a okenní. Toto řešení se hodí pro již fungující stavby, jako doplňková klimatizace. Vhodnějším řešením je chlazení přiváděného vzduchu ve vzduchotechnické jednotce.

2.5 Vytápění tříd

Nejčastěji používaným systémem vytápění ve školách je teplovodní otopná soustava s deskovými nebo radiátorovými tělesy. U nově navrhovaných škol se můžeme setkat i s vytápěním velkoplošným.

Vytápění plní nepostradatelnou funkci hlavně před začátkem vyučování v ranních hodinách, kdy je potřeba v učebně zajistit požadovanou teplotu. Nejnižší přístupná teplota ve školních učebnách je 20 °C. Také v době otopné přestávky udržuje otopná soustava teplotu vnitřních prostor na stanovené teplotě. Při přirozeném větrání pokrývá tepelnou ztrátu, která vznikne výměnou vzduchu mezi interiérem a exteriérem.

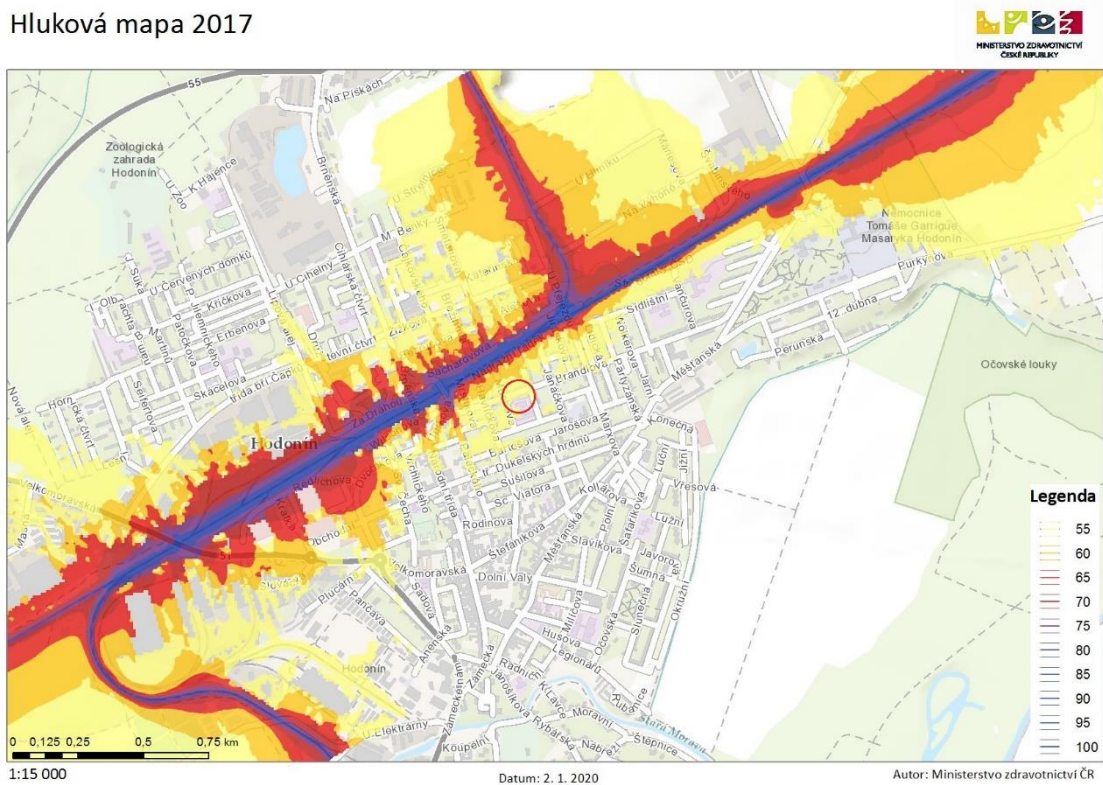
U starších budov škol, kde se používá systém ústředního vytápění, se málokdy setkáme s rekonstrukcí v podobě výměny za velkoplošné podlahové nebo stropní vytápění. Výměna za tento typ teplosměnných ploch je velmi ekonomicky, ale i časově náročná. Rekonstrukce se většinou týká výměny zdroje tepla, podle výkonových potřeb nově zateplených budov, regulace otopné soustavy, popřípadě výměny zastaralých otopných těles.

Ani v případě nuceného větrání nesmí v době provozu větracího zařízení poklesnout teplota pod předepsané minimum 20°C. Využitelnost nuceného větrání pro potřeby vytápění je jen v případě doplnění otopnou soustavou. Samostatně navrhnout teplovzdušné vytápění by bylo technicky náročné. Problém by byl v dosažení optimálního rozložení teplot, a to zejména požadavku na rozdíl teplot v úrovni hlavy a kotníků do 3 K.

3 Rozbor vybrané části školy

Budova B se nachází na západní straně objektu. Obytné místnosti v této budově jsou orientovány na jižní a západní zeměpisnou stranu. To značně znevýhodňuje tyto prostory z hlediska tepelné zátěže solární radiací. Další negativní dopad v případě učeben má oslňování také na osvětlení místností. To je zpravidla nerovnoměrné a může oslňovat nepřímým slunečním světlem.

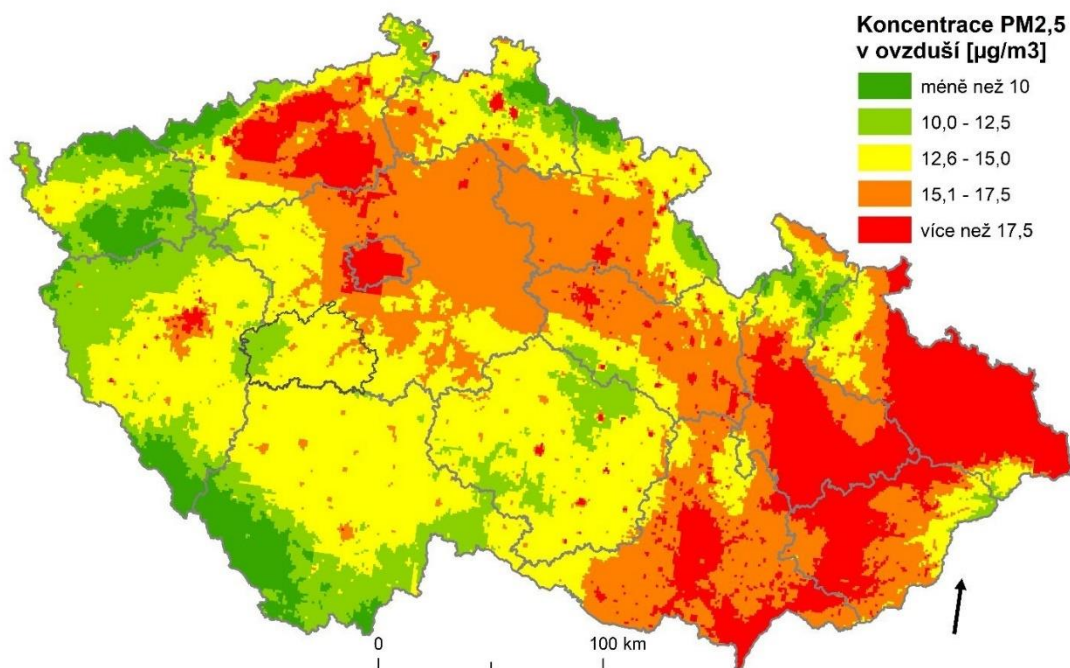
Hluková mapa 2017



Obrázek 2 Hlukové mapy (zdroj: <https://geoportal.mzcr.cz/>)

Budovu Střední průmyslové a umělecké školy najdeme na adrese Brandlova 2222/32 v Hodoníně. Na obrázku je znázorněna červeným kroužkem. Školu denně navštěvují studenti nejen z Hodonína, ale i z okolních obcí. Nachází se na dopravně dobře dostupném místě. Nedaleko od budovy vede významná železniční tepna, směřující z Břeclavi do Olomouce, která generuje jistou akustickou zátěž, viz obr. 2.

Ovzduší v dané lokalitě nedisponuje příliš dobrou kvalitou. Hodonín je okresní město, které je zatíženo velmi frekventovanou dopravou. Dalším významným zdrojem nečistot ve vzduchu může být i tepelná elektrárna, která kromě výroby elektrické energie zásobuje teplem velkou část Hodonína. Na obr. 3 můžeme vidět, že Hodonín se nachází v oblasti s větší než $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ (poléťavého prachu menšího než $2,5 \mu\text{m}$).



Obrázek 3 Koncentrace prachových částic PM_{2,5} v ovzduší (zdroj: ČHMÚ)

Škola prodělala rozsáhlou rekonstrukci. Postupně byla vyměněna všechna původní okna za plastová, fasáda byla zateplena kontaktním zateplovacím systémem a došlo k výměně zdroje tepla za plynový kotel. Dříve byla škola vytápěna dálkovou dodávkou teplé vody. Kotelna školy je umístěna v přístavbě na jižní straně budovy C. Slouží k ohřevu a distribuci topné a teplé užitkové vody pro celý objekt školy.

Výměna oken měla jistě kladný dopad na energetickou náročnost budovy, na druhou stranu však značně omezila přirozené větrání v učebnách infiltrací a mikroventilací.

Požadovanou výměnu vzduchu v zimních měsících značně komplikuje teplota venkovního vzduchu. Vznikají tak dvě situace. Jedna, kdy se ve třídě kumuluje nežádoucí oxid uhličitý a k větrání téměř nedochází, právě kvůli venkovnímu chladnému vzduchu. Druhá, kdy je větráno, a žáci v blízkosti oken jsou vystaveni velkému tepelnému diskomfortu. Díky velkému rozdílu teplot vnitřního a venkovního vzduchu je větrání sice efektivní, ale také dochází k velkým tepelným ztrátám, právě na úkor energetické náročnosti budovy. Doplnit školu o systém vzduchotechniky se proto jeví jako zcela logický krok.

Další problematické období začíná s příchodem letních měsíců. V tomto období je sice velký počet žáků na praxi nebo na exkurzích mimo prostory školy, ale stále část žáků pobývá v neklimatizovaných učebnách. V době, kdy vrcholí pololetí, ve chvílích důležitých ústních zkoušek, písemek nebo maturitních zkoušek se studenti zapotí i v dobře klimatizované místnosti. Kombinaci vnitřních a venkovních zdrojů tepla se proto pokusím analyzovat v následující kapitole.

4 Energetická bilance

4.1 Obecné informace a vstupní parametry

Výpočet pro potřeby energetické bilance byl proveden pro obytné místnosti v budově B Střední průmyslové a umělecké školy v Hodoníně. V následujících bodech je konkretizován pro třídu B105.

Jedná se o běžnou učebnu pro každodenní výuku, kde je 15 školních lavic pro dva žáky a jeden stůl pro učitele. Třída je orientována na západ a je vybavena projektorem a obslužným počítačem. Okna v této budově jsou plastová, s běžným dvojitým zasklením, jsou vybavena vnitřními žaluziemi.

Klimatické údaje	
Místo	Hodonín
Nadmořská výška	167 m n. m.
Normální tlak vzduchu	0,0985 MPa
Zimní výpočtová teplota	-12 °C
Zimní výpočtová entalpie	-11 kJ/kg
Letní výpočtová teplota	32 °C
Letní výpočtová entalpie	58 kJ/kg
Průměrná roční teplota	9,5 °C
Parametry interního mikroklimatu	
Letní výpočtová teplota	26 °C
Zimní výpočtová teplota	20 °C
Relativní vlhkost	30–65 %
Rychlost proudění vzduchu	0,1–0,2 m/s
Provoz budovy	
Doba vyučování	8:00–16:00 h
Vyučovací dny	Po–Pá

4.1.1 Stavební konstrukce

4.1.1.1 Obvodový plášť

Obvodové stěny tvoří keramické tvárnice tloušťky 450 mm, zateplené kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu tloušťky 150 mm. Celkový součinitel prostupu tepla

$U_s = 0,25$ [W/m²K]. Střecha je plochá a na stropní desce ze železobetonu má tepelnou izolaci o tloušťce 200 mm. Součinitel prostupu tepla střechou je $U_{ST} = 0,20$ [W/m²K].

4.1.1.2 Výplňové konstrukce oken

Plastová okna mají dvě skla a jsou rozdělena na 4 části. Ve spodní části jsou dvě vyklápěcí křídla, v horní části dvě otevíravá křídla. Celkový součinitel prostupu tepla u oken je $U_O = 1,1$ [W/m²K]. Solární zisky jsou omezeny světlými roletami na vnitřní straně. Výsledný stínící součinitel je tedy:

$$s = s_1 \cdot s_2 = 0,9 \cdot 0,56 = 0,504 \quad [-] \quad (4.1)$$

kde s_1 [-] je stínící součinitel pro dvojitě zasklení a s_2 [-] je stínící součinitel pro světlé vnitřní žaluzie se sklonem 45°.

4.1.1.3 Vnitřní konstrukce

Veškeré vnitřní stěny v budově byly postaveny z keramických cihel nebo tvárnic, rozdělují se na nosné a dělicí konstrukce. Vodorovné konstrukce jsou pak tvořeny železobetonem o tloušťce 300 mm.

4.2 Výpočet tepelné zátěže

Výpočet tepelné zátěže je vypracován dle normy ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor [8].

4.2.1 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů

Stanovení vstupních parametrů pro výpočet tepelné zátěže od vnitřních zdrojů má výrazný vliv na jeho výsledky. Forma vyučování prodělává vlivem vývoje výpočetní techniky, různých výzkumů, jak v oblasti vzdělávání, tak i vlivu vnitřního prostředí na člověka, významné změny. Výpočetní technika se stává novým zdrojem tepla v již dlouho fungujících stavbách, u kterých se nepočítalo s tak velkým tepelným výkonem navíc.

V každé učebně lze počítat s projektorem a obslužným počítačem.

4.2.1.1 Produkce tepla od osob Q_L

$$Q_L = 6,2 \cdot n_L \cdot (36 - t_i) = 6,2 \cdot 28,675 \cdot (36 - 26) = 1777,85 \text{ W} \quad (4.2)$$

kde n_L [-] je ekvivalentní počet osob a t_i [°C] je teplota interiéru.

$$t_i = 26 \text{ °C}$$

Ekvivalentní počet osob n_L

$$n_L = 0,85 \cdot n \cdot 0,5 + n \cdot 0,5 = 0,85 \cdot 31 \cdot 0,5 + 31 \cdot 0,5 = 28,675 \quad [-] \quad (4.3)$$

kde n [-] je počet osob.

4.2.1.2 Produkce tepla svítidel Q_{sv}

$$Q_{sv} = q_{sv} \cdot S_{osv} = 15 \cdot 63,7 = 955,5 \quad W \quad (4.4)$$

kde q_{sv} [W/m²] je intenzita osvětlení učeben zářivkami a S_{osv} [m²] je osvětlená plocha učebny.

4.2.1.3 Produkce tepla od elektrických spotřebičů Q_e

$$Q_e = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot \sum P = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 355 = 355 \quad W \quad (4.5)$$

kde P [W] je elektrický příkon, c_1 [-] je součinitel současnosti, c_2 [-] je zbytkový součinitel a c_3 [-] je součinitel zatížení stroje.

4.2.2 Tepelné zisky z vnějšího prostředí

Výpočet je proveden pro den 21. května

4.2.2.1 Výpočet polohy slunce

Sluneční deklinace δ

$$\delta = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot M) = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot 5) = 20,35^\circ \quad (4.6)$$

kde M [-] je číslo měsíce.

Výška slunce nad obzorem h

$$h = \arcsin(0,766 \sin \delta - 0,643 \cos \delta \cdot \cos(15 \cdot \tau)) \quad [^\circ] \quad (4.7)$$

$$h = \arcsin(0,766 \sin 20,4^\circ - 0,643 \cos 20,4^\circ \cdot \cos(15 \cdot 15)) = 44^\circ$$

kde δ [-] je °sluneční deklinace, τ [h] je sluneční čas.

Sluneční azimut a_z

$$a_z = \arcsin\left(\frac{\sin(15 \cdot \tau) \cdot \cos \delta}{\cos h}\right) = \arcsin\left(\frac{\sin(15 \cdot 15) \cdot \cos 20,4^\circ}{\cos 44^\circ}\right) = 247^\circ \quad (4.8)$$

kde δ [-] je °sluneční deklinace, τ [h] je sluneční čas a h [°] je výška slunce nad obzorem.

Úhel mezi normálou osluněného povrchu okna a směru paprsků θ

$$\theta = \arccos(\sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a_z - \gamma)) \quad [^\circ] \quad (4.9)$$

$$\theta = \arccos(\sin 44^\circ \cdot \cos 90^\circ + \cos 44^\circ \cdot \sin 90^\circ \cdot \cos(247^\circ - 251^\circ)) = 44^\circ$$

kde α [°] je úhel stěny s vodorovnou rovinou, vzatý na straně odvrácené od slunce, a_z [°] je sluneční azimut a γ [°] je azimutový úhel normály stěny, svírající stěnou a severem po směru hodinových ručiček.

4.2.2.2 Intenzita sluneční radiace

Intenzita přímé sluneční radiace I_D

$$I_D = I_0 \cdot \exp[-0,097 \cdot z \cdot (\sin h)^{-0,8}] \quad [W/m^2] \quad (4.10)$$

$$I_D = 1350 \cdot \exp[-0,097 \cdot 4 \cdot (\sin 44^\circ)^{-0,8}] = 802,22 \text{ W/m}^2$$

kde I_0 [W/m²] je sluneční konstanta a z [-] je součinitel znečištění atmosféry (pro květen 4,0).

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu I_{DS}

$$I_{DS} = I_0 \cdot \exp[-0,097 \cdot z \cdot (\sin h)^{-0,8}] \cdot \cos \theta \quad [W/m^2] \quad (4.11)$$

$$I_{DS} = 1350 \cdot \exp[-0,097 \cdot 4 \cdot (\sin 44^\circ)^{-0,8}] \cdot \cos 44^\circ = 577,05 \frac{W}{m^2}$$

kde I_0 [W/m²] je sluneční konstanta, z [-] je součinitel znečištění atmosféry (pro květen 4,0) a θ [°] je úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků.

Intenzita difuzní sluneční radiace I_d

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h}{3} \quad [W/m^2] \quad (4.12)$$

$$I_d = \left[1350 - 802,22 - (1080 - 1,4 \cdot 802,22) \cdot \sin^2 \frac{90^\circ}{2} \right] \cdot \frac{\sin 44^\circ}{3} = 131,46 \text{ W/m}^2$$

kde I_D [W/m²] je intenzita přímé sluneční radiace, α [°] je úhel mezi stěnou a vodorovnou rovinou vzatý na straně odvrácené od slunce a h [°] je výška slunce nad obzorem.

Intenzita celkové sluneční radiace I_c

$$I_c = I_{DS} + I_d = 577,05 + 131,46 = 708,48 \text{ W/m}^2 \quad (4.13)$$

kde I_{DS} [W/m²] je intenzita přímé sluneční radiace, dopadající na orientovanou plochu a I_d [W/m²] je intenzita difuzní sluneční radiace.

4.2.2.3 Intenzita sluneční radiace procházející standardním zasklením

Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardním jednoduchým zasklením T_D

$$T_D = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^5 = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{44^\circ}{100}\right)^5 = 0,845 \quad (4.14)$$

kde θ [°] je úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků.

Celková propustnost difuzní sluneční radiace standardním zasklením T_d

$$T_d = 0,85 \quad [-]$$

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením I_0

$$I_0 = I_{DS} \cdot T_D + I_d \cdot T_d = 577,05 \cdot 0,845 + 131,46 \cdot 0,85 = 599,77 \text{ W/m}^2 \quad (4.15)$$

kde I_{DS} [W/m²] je intenzita přímé sluneční radiace, dopadající na orientovanou plochu, T_D [-] je celková proměnná propustnost přímé sluneční radiace standardním sklem, I_d [W/m²] je intenzita difuzní sluneční radiace a T_d [-] je celková propustnost difuzní sluneční radiace standardním sklem.

Intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením I_{od}

$$I_{od} = I_d \cdot T_d = 131,46 \cdot 0,85 = 111,74 \text{ W/m}^2 \quad (4.16)$$

kde I_d [W/m²] je intenzita difuzní sluneční radiace a T_d [-] je celková propustnost difuzní sluneční radiace standardním sklem.

4.2.2.4 Osluněný povrch oken

Délka stínů v okenním otvoru od kraje slunolamů e_1, e_2

$$e_1 = d \cdot [\tan(a_z - \gamma)] = 0,15 \cdot [\tan(247^\circ - 251^\circ)] = 0,01 \text{ m} \quad (4.17)$$

$$e_2 = c \left[\frac{\tan h}{\cos(a - \gamma)} \right] = 0,15 \left[\frac{\tan 44^\circ}{\cos(247^\circ - 251^\circ)} \right] = 0,14 \text{ m} \quad (4.18)$$

kde d [m] je hloubka okna a c [m] je hloubka okna vzhledem k horní desce.

Osluněný povrch zasklené části okna S_{OS}

$$S_{OS} = [L - (e_1 - f)] \cdot [H - (e_2 - g)] = [2,2 - (0,01 - 0)] \cdot [2,2 - (0,14 - 0)] \\ = 4,51 \text{ m}^2 \quad (4.19)$$

kde L [m] je šířka zasklené části okna, H [m] je výška zasklené části okna, f [m] je odstup vodorovné části okna od slunolamů, g [m] je odstup svislé části okna od slunolamů, e_1, e_2 [m] jsou délky stínů v okenním otvoru od okraje slunolamů.

Povrch okna včetně rámu S_O

$$S_O = a \cdot b = 2,4 \cdot 2,4 = 5,76 \text{ m}^2 \quad (4.20)$$

kde a [m] je šířka okna, b [m] je výška okna.

4.2.2.5 Výpočet teploty venkovního vzduchu t_e

$$t_e = t_{emax} - A \cdot [1 - \sin(15\tau - 135)] = 26,5 - 7 \cdot [1 - \sin(15 \cdot 15 - 135)] \\ = 26,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.21)$$

kde A [K] je amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu, τ [h] je sluneční čas, t_{emax} [°C] je maximální teplota v příslušném měsíci.

4.2.2.6 Tepelné zisky oken

Tepelné zisky oken sluneční radiací Q_{or}

$$Q_{or} = [S_{OS} \cdot I_0 \cdot c_0 + (S_O - S_{OS}) \cdot I_{0d}] \cdot s \cdot n_0 \quad [W] \quad (4.22)$$

$$Q_{or} = [4,51 \cdot 599,77 \cdot 0,85 + (5,76 - 4,51) \cdot 111,74] \cdot 0,504 \cdot 3 = 3687,607 \text{ W}$$

kde S_{OS} [m²] je osluněný povrch okna, I_0 [W/m²] je celková intenzita sluneční radiace, procházející standardním jednoduchým zasklením, c_0 [-] je korekce na čistotu atmosféry, S_O [m²] je celková plocha okna, I_{0d} [W/m²] je intenzita difuzní radiace, procházející standardním jednoduchým zasklením, s [-] je stínící součinitel a n_0 [-] je počet oken.

Tepelné zisky oken konvekcí Q_{ok}

$$Q_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i) = 1,2 \cdot 5,76 \cdot (26,5 - 26) = 3,46 \text{ W} \quad (4.23)$$

kde U_o [W/m²K] je součinitel prostupu tepla okna, S_o [m²] je plocha okna, t_e [°C] je teplota venkovního vzduchu a t_i [°C] je výpočtová teplota vnitřního vzduchu.

4.2.2.7 Snížení tepelných zisků

Snížení tepelných zisků od oslunění vlivem akumulace vnitřních konstrukcí ΔQ

$$\Delta Q = 0,05 \cdot M \cdot \Delta t = 0,05 \cdot 16903 \cdot 2 = 1690,30 \text{ W} \quad (4.24)$$

kde M [kg] je hmotnost obvodových stěn, podlahy a stropu, které mohou akumulovat, Δt [K] je maximální přípustné překročení požadované teploty.

Hodnota maximálních tepelných zisků radiací snížena o hodnotu vlivem akumulace, se následně porovná s průměrnou hodnotou solárních zisků v době provozu.

$$Q_{orm} = \frac{\sum Q_{ori}}{n} = \frac{15205,01}{8} = 1900,63 \text{ W} \quad (4.25)$$

$$Q_{or \max} - \Delta Q = 3687,61 - 1690,30 = 1997,31 \text{ W} \quad (4.26)$$

$$Q_{or \max} - \Delta Q > Q_{orm} \quad (4.27)$$

kde Q_{orm} [W] je průměrný zisk sluneční radiací v době provozu zařízení, Q_{ori} [W] je celkový zisk sluneční radiací za dobu provozu a $Q_{or \max}$ [W] jsou maximální zisky sluneční radiací v daný den.

4.2.2.8 Tepelné zisky stěnami

Fázové posunutí teplotních kmitů ψ

$$\psi = 32 \cdot \delta_s - 0,5 = 32 \cdot 0,6 - 0,5 = 18,7 \quad (4.28)$$

kde δ_s [m] je tloušťka stěny.

Součinitel zmenšení teplotního kolísání při přestupu tepla stěnou m

$$m = \frac{1 + 7,6 \cdot \delta_s}{2500^{\delta_s}} = \frac{1 + 7,6 \cdot 0,6}{2500^{0,6}} = 0,05 \quad (4.29)$$

Rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu t_r

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon \cdot I_C}{\alpha_e} = 26,5 + \frac{0,6 \cdot 708,48}{15} = 54,84 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.30)$$

kde t_e [°C] je teplota venkovního vzduchu, α_e [W/m²K] je součinitel přestupu na vnější straně stěny, ε [-] je součinitel poměrné tepelné vodivosti pro sluneční radiaci (0,6), a I_C [W/m²] je intenzita celkové sluneční radiace dopadající na stěnu.

Tepelný zisk stěnami Q_{st}

U místností s prosklenými konstrukcemi má zisk tepla obvodovými konstrukcemi téměř zanedbatelný význam. Významně se projeví u budov s lehkým obvodovým pláštěm nebo u budov, kde strop je zároveň střešní konstrukcí. Pro naše účely vliv tepelných zisků neprosklených částí obálky budovy zanedbáme.

$$Q_{st} = U_{st} \cdot S_{st} \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})] \quad [W] \quad (4.31)$$

4.3 Tepelné ztráty

Budova školy prodělala v posledních letech rekonstrukci zaměřenou na energetickou náročnost. Byl vyměněn zdroj tepla a celý systém byl regulován na novou tepelnou ztrátu budovy. Proto je značně neekonomické, zasahovat výrazněji do tohoto systému a tepelná ztráta bude vypočtena zjednodušeně podle ČSN 060210 [9]. I když je norma zrušena a nelze ji využít pro návrh otopných těles, stanovíme jí tepelnou ztrátu pro představu o tepelných bilancích v učebnách.

4.3.1 Základní tepelná ztráta Q_0

$$Q_0 = \sum U_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (4.32)$$

kde U_j [W/m²K] je součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí, S_j [m²] je plocha stavební konstrukce, t_i [°C] je vnitřní výpočtová teplota a t_e [°C] je venkovní výpočtová teplota.

Základní tepelná ztráta obvodovou stěnou Q_s

$$Q_s = U_s \cdot S_s \cdot (t_i - t_e) = 0,25 \cdot 39,73 \cdot (20 - (-12)) = 317,80 \text{ W} \quad (4.33)$$

kde U_s [W/m²K] je součinitel prostupu tepla obvodové stěny, S_s [m²] je plocha obvodové stěny, t_i [°C] je vnitřní výpočtová teplota a t_e [°C] je venkovní výpočtová teplota.

Základní tepelná ztráta prosklenými konstrukcemi Q_o

$$Q_o = U_o \cdot S_o \cdot (t_i - t_e) = 1,2 \cdot 17,28 \cdot (20 - (-12)) = 663,55 \text{ W} \quad (4.34)$$

kde U_o [W/m²K] je součinitel prostupu tepla oken, S_o [m²] je plocha oken, t_i [°C] je vnitřní výpočtová teplota a t_e [°C] je venkovní výpočtová teplota.

Základní tepelná ztráta vnitřními stěnami Q_V

$$Q_V = U_V \cdot S_V \cdot (t_i - t_{ch}) = 0,9 \cdot 29,55 \cdot (20 - 18) = 53,19 \text{ W} \quad (4.35)$$

kde U_V [W/m²K] je součinitel prostupu tepla vnitřní stěny, S_V [m²] je plocha vnitřní stěny, t_i [°C] je vnitřní výpočtová teplota a t_{ch} [°C] je vnitřní výpočtová teplota pro nevytápěné prostory.

Základní tepelná ztráta vnitřními otvory Q_D

$$Q_D = U_D \cdot S_D \cdot (t_i - t_{ch}) = 2,3 \cdot 2,40 \cdot (20 - 18) = 11,04 \text{ W} \quad (4.36)$$

kde U_D [W/m²K] je součinitel prostupu tepla dveří, S_D [m²] je plocha dveří, t_i [°C] je vnitřní výpočtová teplota a t_{ch} [°C] je vnitřní výpočtová teplota pro nevytápěné prostory.

Základní tepelná ztráta podlahou Q_P

$$Q_P = U_P \cdot S_P \cdot (t_i - t_z) = 0,3 \cdot 63,70 \cdot (20 - 5) = 286,65 \text{ W} \quad (4.37)$$

kde U_P [W/m²K] je součinitel prostupu tepla podlahy na terénu, S_P [m²] je plocha podlahy na terénu, t_i [°C] je vnitřní výpočtová teplota a t_z [°C] je výpočtová teplota zeminy.

4.3.2 Tepelná ztráta prostupem Q_p

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn p_1

$$p_1 = 0,15 \cdot U_c = 0,04 \quad [-] \quad (4.38)$$

$$U_c = \frac{Q_0}{\sum S_j \cdot \Delta t_{max}} = \frac{1\,332,23}{152,65 \cdot (20 - (-12))} = 0,27 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.39)$$

kde U_c [W/m²K] je celkový součinitel prostupu tepla, Q_0 [W] je základní tepelná ztráta prostupem, S_j [m²] je celková plocha konstrukcí, Δt_{max} [K] je maximální rozdíl teplot.

$$Q_p = Q_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 1\,332,23 \cdot (1 + 0,04 + 0,3 + 0,05) = 1\,851,80 \text{ W} \quad (4.40)$$

kde p_1 [-] je přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn, p_2 [-] je přirážka na urychlení zátopy pro dobu kratší než 16 hodin $p_2 = 0,3$ a p_3 [-] je přirážka pro světovou stranu, pro SZ $p_3 = 0,05$.

4.3.3 Tepelná ztráta větráním Q_v

V místnosti se uvažuje s nuceným rovnotlakým větráním. Podle platných norem bylo počítáno s 25 m³/h na jednoho žáka a 50 m³/h na učitele. Výměna vzduchu podle hygienického minima tedy pro učebnu B105 činí 800 m³/h.

Teplota přiváděného vzduchu t_p

$$t_p = t_e + \varphi \cdot (t_i - t_e) = -12 + 0,85 \cdot (20 - (-12)) = 15,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.41)$$

kde t_i [$^\circ\text{C}$] je vnitřní výpočtová teplota, t_e [$^\circ\text{C}$] je venkovní výpočtová teplota a φ [-] je účinnost výměníku zpětného získávání tepla, pro rotační výměník až 85 %.

$$Q_v = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_p) = \frac{800}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (20 - 15,2) = 1292,8 \text{ W} \quad (4.42)$$

kde V [m^3/h] je množství větracího vzduchu, ρ [kg/m^3] je měrná hmotnost vzduchu, c [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$] je měrná tepelná kapacita vzduchu, t_i [$^\circ\text{C}$] je vnitřní výpočtová teplota a t_e [$^\circ\text{C}$] je venkovní výpočtová teplota.

4.4 Rozbor výsledků

Učebny jsou z hlediska tepelné bilance zvláštním druhem provozu. Na poměrně malé půdorysné ploše se shromažďuje velké množství osob. Vlivem technických norem a předpisů jsou na kvalitu konstrukcí kladeny čím dál větší nároky. Proto také narůstá poměr mezi vnitřními a venkovními zisky tepla v místnostech.

Vypočtená tepelná zátěž a tepelné ztráty byly provedeny pro všechny obytné místnosti budovy B. U místností pro zaměstnance školy povoluje vyhláška č.410/2005 Sb. [1] větrání přirozené. V této kapitole se zaměřuji na rozdíly učeben.

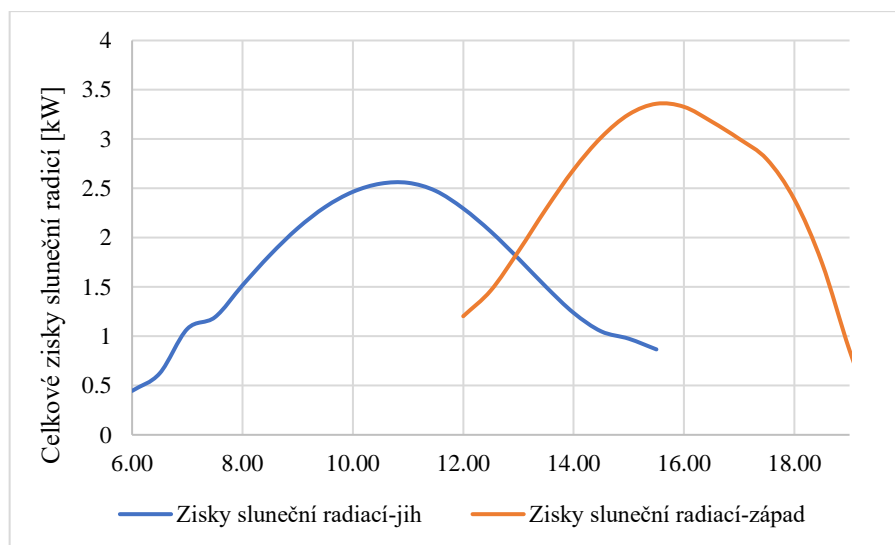
4.4.1 Tepelné zisky

Z tabulky 4. je patrné, že tepelná zátěž z vnějšího prostředí je významně ovlivňována orientací učebny vůči světovým stranám. Zatímco u jižně orientovaných učeben dochází k maximálním ziskům sluneční radiací přibližně v 11 hodin dopoledne, zisky u západně orientovaných učeben dosahují maxima mezi 15 a 16 hodinou odpolední (viz obrázek 4).

Tabulka 4 Tepelná zátěž pro obytné místnosti v budově B

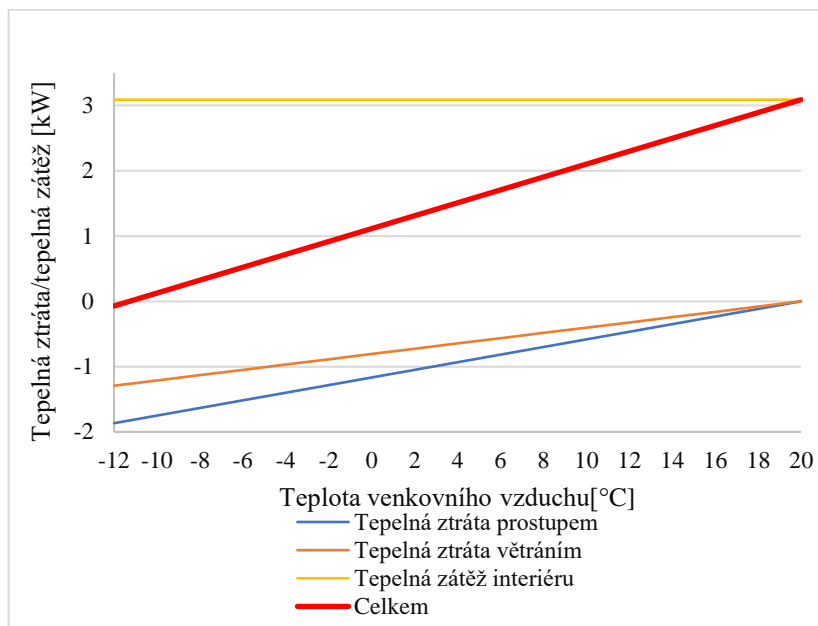
ČÍSLO MÍSTNOSTI	NÁZEV MÍSTNOSTI	$Q_{or\ max}$	Q_L	Q_{sv}	Q_e	ΣQ
		[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
B102	UČEBNA	873.83	1 777.85	886.05	355.00	3 892.73
B103	UČEBNA	880.14	1 777.85	882.15	355.00	3 895.14
B104	KABINET	378.78	114.70	307.20	310.00	1 110.68
B105	UČEBNA	1 455.94	1 777.85	955.50	355.00	4 544.29
B202	KNIHOVNA	873.83	573.50	886.05	155.00	2 488.38
B203	SBOROVNA	518.57	1 147.00	584.10	355.00	2 604.67
B204	EKONOM. KANCELÁŘ	182.15	57.35	288.15	155.00	682.65
B205	SEKRETARIÁT	391.04	57.35	300.45	155.00	903.84
B206	ZÁSTUPCE ŘEDITELE	1 132.84	114.70	494.70	310.00	2 052.24
B207	ŘEDITELNA	135.67	57.35	444.60	155.00	792.62
B302	PC UČEBNA	873.83	974.95	886.05	2835.00	5 569.83
B303	PC UČEBNA	880.14	974.95	882.15	2835.00	5 572.24
B304	KABINET	378.78	114.70	307.20	310.00	1 110.68
B305	PC UČEBNA	1 455.94	1 204.35	955.50	2835.00	6 450.79
B402	UČEBNA	873.83	1 777.85	886.05	355.00	3 892.73
B403	UČEBNA	880.14	1 777.85	882.15	355.00	3 895.14
B404	KABINET	378.78	114.70	307.20	310.00	1 110.68
B405	UČEBNA	1 455.94	1 777.85	955.50	355.00	4 544.29

Dalším specifickým provozem jsou počítačové učebny. Zde má významný podíl na tepelné zátěži místnosti výpočetní technika (44 %). Zatímco u běžných učeben by tepelné zisky interiéru téměř pokryla výměna vzduchu podle hygienického minima při $\Delta t_p = 10\text{ K}$, u počítačových učeben bychom museli přívod vzduchu navýšit z hygienicky předepsané výměny přibližně trojnásobně.



Obrázek 4 Solární zisky sluneční radiací bez vlivu akumulace místností

4.4.2 Tepelné toky ve třídách



Obrázek 5 Tepelné toky v běžné učebně v závislosti na venkovní teplotě

Většinu školního roku je $t_e < 22$ °C. Tepelnou zátěž z vnitřního prostředí lze proto s výhodou pokrýt venkovním vzduchem, který však musíme do učeben přivádět v požadovaných teplotách tak, aby nevzniklo riziko vzniku kondenzátu a nezpůsobil tepelný diskomfort uživatelům učeben.

Na obr. 5 je graf tepelných toků v běžné učebně, závislý na venkovních teplotách. Hranice otopného období se pohybuje okolo 13 °C. I přes vynechání tepelné zátěže sluneční radiací se kromě nejchladnějších dnů pohybuje stále v kladných číslech tepelných toků. Naším úkolem je stanovit takové opatření, aby výsledná energetická bilance byla pokud možno rovna nule.

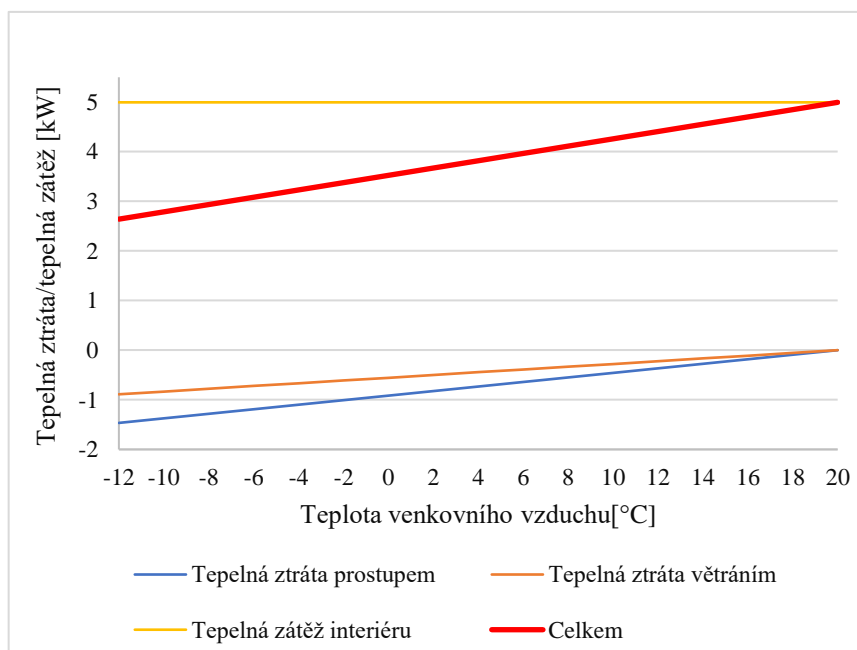
Opatřením, kterým lze reagovat na tento stav vnitřního prostředí, je regulace teploty přiváděného vzduchu a množství přiváděného vzduchu. Výkon přiváděného vzduchu ovlivňují schopnosti distribučních prvků komfortně rozptýlovat vzduch v místnosti.

Tepelná ztráta větráním pro tuto bilanci byla stanovena s využitím rotačního regeneračního výměníku. Ten se jeví pro využití ve školních prostorách jako příznivý z hlediska vlhkostní bilance vzduchu v zimních měsících. V nejchladnějších dnech zimního období je schopen zajistit až 15,2 °C bez dodatečného dohřevu vzduchu.

V době prázdnin, víkendů a mimo vyučovací hodiny pokrývají tepelnou ztrátu učeben (přibližně viz tabulka 5) teplovodní deskové radiátory a udržují teplotu v předepsaném minimu na 16 °C. Jejich využití se v případě nuceného větrání významně sníží, ale stále budou mít nepostradatelnou roli v energetické bilanci budovy.

Tabulka 5 Tepelné ztráty obytných místností budovy B

ČÍSLO MÍSTNOSTI	NÁZEV MÍSTNOSTI	Q _p	Q _v	ΣQ _p
		[W]	[W]	[W]
B102	UČEBNA	1 697.97	1 292.80	2 990.77
B103	UČEBNA	1 610.08	1 292.80	2 902.88
B104	KABINET	489.40	161.60	651.00
B105	UČEBNA	1 867.21	1 292.80	3 160.01
B202	KNIHOVNA	1 334.50	404.00	1 738.50
B203	SBOROVNA	680.96	808.00	1 488.96
B204	EKONOM. KANCELÁŘ	581.28	161.60	742.88
B205	SEKRETARIÁT	365.16	161.60	526.76
B206	ZÁSTUPCE ŘEDITELE	601.91	242.40	844.31
B207	ŘEDITELNA	732.36	161.60	893.96
B302	PC UČEBNA	1 334.50	727.20	2 061.70
B303	PC UČEBNA	1 265.63	727.20	1 992.83
B304	KABINET	364.84	161.60	526.44
B305	PC UČEBNA	1 465.45	888.80	2 354.25
B402	UČEBNA	1 728.14	1 292.80	3 020.94
B403	UČEBNA	1 657.54	1 292.80	2 950.34
B404	KABINET	506.56	161.60	668.16
B405	UČEBNA	1 922.56	1 292.80	3 215.36



Obrázek 6 Tepelné toky v počítačové učebně v závislosti na venkovní teplotě

Na obrázku 6 můžeme vidět tepelné toky v počítačové učebně v závislosti na venkovní teplotě. Pro pokrytí tepelných zisků z interiéru pro tuto učebnu těžko vystačí pouze regulace teploty přiváděného vzduchu. Pokud bychom chtěli pokrýt tyto zisky, museli bychom množství přiváděného vzduchu zněkolikanásobit. Zde může být vhodným řešením přídatný chladicí prvek. Počítačová učebna musí být vybavena nuceným přívodem a odvodem vzduchu, kvůli odvodu vznikajících škodlivin.

4.5 Stanovení množství větracího vzduchu

Množství čerstvého vzduchu na osobu V_e

$$V_e = p \cdot V_{p\ os} = 30 \cdot 25 + 1 \cdot 50 = 800 \text{ m}^3/h \quad (4.43)$$

kde p [-] je počet osob a $V_{p\ os}$ [m^3/h] je množství přiváděného vzduchu na osobu.

Množství vzduchu na pokrytí tepelných ztrát a zisků V_Q

$$V_Q = \frac{Q_{zisk}}{\rho \cdot c_v \cdot (t_i - t_p)} = \frac{4\ 544,29 \cdot 3600}{1,2 \cdot 1010 \cdot (28 - 18)} = 1\ 349,8 \text{ m}^3/h \quad (4.44)$$

kde Q_{zisk} [W] je celková tepelná zátěž učebny, ρ [kg/m^3] je měrná hmotnost vzduchu, c [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] je měrná tepelná kapacita vzduchu, t_i [$^{\circ}\text{C}$] je vnitřní výpočtová teplota a t_p [$^{\circ}\text{C}$] je teplota přiváděného vzduchu.

Množství vzduchu podle spotřeby CO_2 V_{CO_2}

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{(\rho_{\max} - \rho_{\text{CO}_2}) \cdot 10^{-3}} = \frac{31 \cdot 19}{(1200 - 350) \cdot 10^{-3}} = 692,94 \text{ m}^3/h \quad (4.45)$$

kde m_{CO_2} [l/h] je produkce CO_2 učebny, ρ_{\max} [g/g] je maximální koncentrace CO_2 ve vzduchu, ρ_{CO_2} [g/g] je koncentrace CO_2 ve venkovním vzduchu.

5 Návrh systému větrání

V této kapitole budou uvedeny varianty řešení, které jsou schopny zajistit požadovanou kvalitu vnitřního prostředí v daných učebnách. Návrh systému větrání bude mít výrazný vliv na energetickou náročnost budovy. Proto bude nutné zajistit i vhodnou regulaci otopné soustavy, zohledňující systém vzduchotechniky. Vzhledem k nedávné rekonstrukci by varianta teplosměnných ploch v této budově školy zahrnovala pouze výměnu otopných těles za modernější desková a jejich regulaci, zohledňující systém vzduchotechniky.

5.1 Varianty distribučních prvků

5.1.1 Vířivé anemostaty

Vířivé anemostaty se používají pro přívod i odvod teplotně upraveného vzduchu. Přiváděný vzduch z nich je velmi efektivně mísen se vzduchem větrané místnosti a umožňuje optimální usměrnění přiváděného proudu vzduchu. To je také zvýhodňuje při chlazení místnosti, kde Δt může mít hodnotu až 14 K. Anemostaty se hodí pro instalaci v integrovaných stropích a podhledech.

5.1.2 Textilní vyústka

Textilní vyústky disponují velkou škálou provedení. Mohou se lišit tvarem průřezu, možností ukotvení nebo volbou vhodného způsobu perforace vyústky. Jsou schopny zajistit rovnoměrný přívod vzduchu do požadovaného druhu místnosti. Hmotnost textilních vyústek je zhruba jedna desetina jejich kovové alternativy.

5.1.3 Volba distribučního prvku

Vířivé anemostaty splňují veškeré kladené nároky na koncové prvky v případě chlazení školních učeben. Hlavním důvodem, proč se tento typ vyústky nehodí pro řešený objekt, je malá světlá výška v učebnách. Výška místnosti má zásadní vliv na kvalitu vnitřního prostředí. Anemostaty lze instalovat i bez podhledu, ale estetická stránka takto provedené instalace není příliš vhodná.

Po konzultacích s jednatelem společnosti PŘÍHODA bylo vhodným řešením pro tento druh provozu navrženo kruhové textilní potrubí s mikro-perforací v horní části vyústky. To nám umožní přivádět do učeben i chladnější vzduch. Umístění koncových prvků přívodu a odvodu vzduchu bylo navrženo tak, aby v případě izotermního proudění přiváděného vzduchu došlo k optimálnímu provětrání učebny.

5.2 Varianty systémů

Vzhledem k lokalitě, ve které se škola nachází, viz kapitola 3, je třeba navrhnout systém s úpravou přiváděného vzduchu. Těmito vlastnostmi disponují pouze systémy s nuceným větráním.

5.2.1 Nucené rovnotlaké větrání s lokální jednotkou

Jedna z vhodných variant pro školní učebny je lokální jednotka. Výrobci vzduchotechnických jednotek nabízí několik variant a řešení. Jednotky jsou obvykle vybaveny rekuperací, filtrací a ohřevem vzduchu. Pro tento objekt bude zapotřebí jednotka s vestavěným chladičem vzduchu. Výhodu má lokální systém s možností rozdělit jednotlivé úseky podle rozdílné tepelné zátěže učeben v průběhu dne.

Jako nejvhodnější provedení pro tuto variantu se jeví podstropní jednotka, umístěná na chodbě. Neovlivní tak akustickou zátěž ve vnitřním prostředí a nebude zabírat v učebně prostor navíc.

Sání čerstvého venkovního vzduchu a výfuk odpadního lze vyřešit rozvody ve stejném podlaží nebo ve společné šachtě na střechu. Možnost ohřevu vzduchu u těchto jednotek je napojení na stávající otopnou soustavu a doplnění regulačním ventilem. Nebo ohřev vzduchu řešit elektrickým ohřevem. Nevýhodou těchto jednotek je absence zvlhčovače. To může mít za následek přívod velmi suchého vzduchu v zimním období.

5.2.2 Nucené rovnotlaké větrání s centrální jednotkou

Dalším vhodným řešením pro školní budovu je centralizovat úpravu vzduchu do jedné vzduchotechnické jednotky. Díky tomu odpadá část nákladů na údržbu, která se provádí jen u jedné jednotky. Rozvrh v učebnách v této části školy je pravidelný a až na výjimky probíhá výuka současně. Při využití centrální vzduchotechnické jednotky je to velkou výhodou a energeticky je to úspornějším řešením. Nevýhodou však zůstává regulace teploty pro různé potřeby učeben v průběhu dne.

Prostory školy neumožňují umístění vzduchotechnické jednotky těchto rozměrů ve vnitřních prostorách, a tak je vhodné umístění pouze na střeše. Opatřením, reagujícím na různé energetické nároky tříd v průběhu dne, bude regulátor variabilního průtoku vzduchu, který bude umístěn pro každou třídu samostatně. Ten bude na základě teplotního čidla a čidla koncentrace CO₂ regulovat množství přiváděného vzduchu podle potřeb jednotlivých učeben.

5.2.3 Volba systému větrání

Každá z variant bude vyžadovat vysoké pořizovací náklady. Energeticky výhodnějším systémem bude vzhledem k provozu budovy centrální řešení a vzhledem k potřebě chlazení přiváděného vzduchu odpadne velká část rozvodů chladiwa. Velikost a kapacita učeben odpovídá celkem velkým lokálním jednotkám, pro které nemůžeme s jistotou zaručit

prostor v podhledu chodeb. Větrání přilehlých prostor, které by měl návrh komfortního větrání zajišťovat, lépe zajistí centrální systém.

Centrální větrání lze tedy uznat jako vhodnou variantu pro řešený objekt a bude dále zpracován do projektu v navazující části této diplomové práce.

5.3 Varianty zdrojů

Jednou z variant pro potřeby tepla na ohřev vzduchu je využití současného zdroje tepla školy a pro potřeby chladu využití samostatného vzduchem chlazeného chilleru. Jednotku by však bylo nutné zapojit na samostatnou větev z rozdělovače v prostorách kotelny, což by obnášelo poměrně vysoké náklady na rozvody teplé vody a čerpací techniky. Zdroj tepla se nachází v jiné budově školy, proto je tato varianta méně vhodná.

Nejvhodnějším zdrojem tepla a zároveň chladu pro tuto budovu je kaskádově zapojené tepelné čerpadlo na principu vzduch-vzduch, které by dokázalo pružně reagovat na energetické potřeby budovy v průběhu roku.

6 Závěr

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo stanovit základní možná opatření pro zajištění požadované kvality vnitřního prostředí. Pro potřeby tepelné bilance byly stanoveny tepelné zisky a tepelné ztráty vybrané části školy. Z provedených výpočtů a grafů vyplývá, že učebny se zavřenými okny a nuceným rovnotlakým větráním vyžadují chlazení regulací teploty přiváděného vzduchu. Rozdíl mezi teplotou přiváděného a odváděného vzduchu, kterým bude tepelná ztráta pokryta, však omezuje schopnost koncové vyústky rozptýlit přiváděný vzduch v dané místnosti.

Dalším opatřením je navýšení přiváděného vzduchu a využití regulace variabilního průtoku vzduchu, řízenou čidly koncentrace CO₂ a teploty v každé z učeben.

Jako koncový prvek byla zvolena textilní vyústka kruhového průřezu. Pro školní účely se používá distribuce vzduchu mikro-perforací. Abychom dosáhli vyšších chladících výkonů, byla navržena mikro-perforace v horní polovině vyústky. Díky tomu je zabráněno proudění chladného vzduchu přímo pod instalovanou vyústku.

Zvláštním případem jsou počítačové učebny. U těch bylo stanoveno navýšení množství přiváděného vzduchu pro potřeby chlazení jako neekonomické a byla v nich navržena vnitřní klimatizační jednotka.

Vzhledem k současnému provozu byl pro budovu B Střední průmyslové a umělecké školy v Hodoníně navržen systém větrání centrální VZT jednotkou v nástřešním provedení.

Literatura

- [1] Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/nabidka/cs/2005-410/zneni-20051116#p26_p26-1
- [2] ZMRHAL, Vladimír. *Větrání škol v souvislostech*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. ISBN 978-80-02-02718-8.
- [3] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06378-1.
- [4] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Vybrané statě z větrání a klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06458-0.
- [5] PAPEŽ, Karel. *Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03622-8.
- [6] Metodický pokyn pro návrh větrání škol, vč. výpočetní pomůcky „Stanovení průtoku venkovního vzduchu a bilance CO₂ v učebně“.
- [7] Vyhláška č. 108/2011/ Sb., vyhláška ministerstva zdravotnictví, kterou stanoví hygienické požadavky na prostory a provoz škol, předškolních zařízení a některých školských zařízení, § 10 (2) [online]. [cit. 2019-01-05] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-108?text=410%2F2005>
- [8] ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů, Úřad pro normalizaci a měření, Praha 1985
- [9] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění, Český normalizační institut, 1993. Tato norma pozbyla dnem 1. 9. 2008 platnost.
- [10] VVM - Mandik. Vzduchotechnika, protipožární technika Mandik [online]. Copyright © MANDÍK, [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <http://www.mandik.cz/produktovara/distribucni-elementy/anemostaty/vvm>
- [11] Textilní vyústky a potrubí. [online]. Copyright © 2012 [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <http://www.prihoda.com/cs/vyustky-a-potrubii/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Střední průmyslová a umělecká škola v Hodoníně	11
Obrázek 2 Hlukové mapy	23
Obrázek 3 Koncentrace prachových částic PM _{2,5} v ovzduší (zdroj:	24
Obrázek 4 Solární zisky sluneční radiací bez vlivu akumulace místností.....	35
Obrázek 5 Tepelné toky v běžné učebně v závislosti na venkovní teplotě	36
Obrázek 6 Tepelné toky v počítačové učebně v závislosti na venkovní teplotě	37

Seznam tabulek

Tabulka 1 Průměrné hodnoty výsledných teplot, rychlostí proudění a relativní vlhkosti vzduchu dle vyhlášky č.410/2005 Sb. [1].....	13
Tabulka 2 Požadavky na větrání školních prostor dle vyhlášky č.410/2005 Sb. [1].....	14
Tabulka 3 Účinky oxidu uhličitého na lidský organismus [https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel]	14
Tabulka 4 Tepelná zátěž pro obytné místnosti v budově B.....	34
Tabulka 5 Tepelné ztráty obytných místností budovy B.....	37