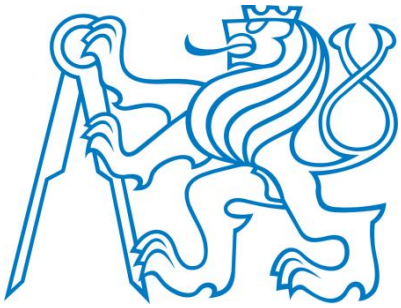
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VĚTRÁNÍ ŠKOLNÍ BUDOVY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Lenka Linhartová

Vedoucí diplomové práce : **doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.**

Konzultant(i) : **doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.**

2016/2017

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Linhartová Jméno: Lenka Osobní číslo: 396128

Zadávající katedra: K125 Technická zařízení budov

Studijní program: Inteligentní budovy

Studijní obor: Inteligentní budovy

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Větrání školní budovy

Název diplomové práce anglicky: Ventilation system in the school building

Pokyny pro vypracování:
Projekt větrání zadané budovy.
Textová část - technická zpráva, výpočet množství vzduchu, návrh trasy rozvodů, návrh dimenzí, základní bilanční výpočty.
Výkresová část - půdorysy, nezbytné detaily, řešení technických místností, funkční schéma.

Studie na téma Regulace větracího systému

Seznam doporučené literatury:
Gebauer, Gunter: Vzduchotechnika. Era 2007. ISBN 8073660918
Papež, Karel: Energetické a ekologické systémy budov 2 : Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení. ČVUT, Praha 2007.
Daniels, Klaus: Technika budov - Příručka pro architekty a projektanty. Jaga 2003. ISBN 80-88905-60-5.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing, Michal Kabrhel, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20.2.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 21.5.2017
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".

20.2.2017
Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

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

Ve Staré Boleslavi, 21. 5. 2017 ……

Poděkování

Děkuji panu docentovi Ing. Michalu Kabrhelovi Ph.D. za všestrannou pomoc, ochotu a trpělivost při zpracování diplomové práce. Dále děkuji své rodině za to, že mi umožnila studovat na této škole a všem svým bližním za podporu.

Obsah

ANOTACE **6**

ÚVOD **7**

ČÁST A **8**

1 REGULACE VĚTRACÍHO SYSTÉMU **8**

1.1 Regulace ventilátorů 8

1.2 Regulace tepelného výkonu výměníků a protimrazová ochrana 9

1.3 Regulace výměníků ZZT 10

1.4 Regulace vzduchového výkonu zařízení na konstantní nebo proměnnou hodnotu 11

1.5 Ovládání klapek se servomotorem 11

1.6 Řídící jednotky pro vzduchotechnická zařízení 12

ČÁST B **13**

1 PŘEHLED VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ **13**

1.1 Přirozené větrání 13

1.1.1 Základní typy přirozeného větrání 14

1.2 Celkové nucené větrání 15

1.2.1 Nucené větrání kombinované s přirozeným 16

1.2.2 Větrání s nuceným přívodem i odvodem 16

1.3 Volba vhodného větracího systému 17

2 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ ŠKOLNÍCH BUDOV **18**

3 STANOVENÍ MNOŽSTVÍ VENKOVNÍHO VĚTRACÍHO VZDUCHU **20**

4 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE **21**

4.1 Přednáškový sál (posluchárna) A 34 21

4.1.1 Tepelně technické vlastnosti vybraných stavebních konstrukcí 22

4.1.2 Vzorový výpočet tepelných zisků 22

5 NÁVRH POTRUBNÍ SÍTĚ **31**

ZÁVĚR **34**

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **35**

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ **37**

ANOTACE

Diplomová práce řeší problematiku větrání školní budovy k zajištění požadovaného vnitřního mikroklimatu učeben, laboratoří, kanceláří (kabinetů) a zasedacích místností. Budova se nachází na území města Prahy. V první části práce je studie na téma regulace větracího systému, druhá část se zabývá návrhem samotného systému, je zde uveden přehled větracích systémů a je vybrán vhodný systém. V následující části je popsán stav našich legislativních závazných norem. V poslední části je proveden samotný návrh a dimenzování zařízení pro větrání podle dispozice objektu, vlastností stavebních konstrukcí, vybavení a obsazení řešených prostor. Součástí práce je i vypracovaná technická zpráva s přílohami a výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Větrání, školní budova, vnitřní mikroklima, distribuční prvky, množství vzduchu, tlaková ztráta

ANNOTATION

This diploma thesis solves the problem of ventilation of the school building to ensure the required internal microclimate of classrooms, laboratories, offices (cabinets) and meeting rooms. The building is located in the city of Prague. The first part of the thesis is a study on the regulation of the ventilation system, the second part deals with the design of the system itself, an overview of the ventilation systems and an appropriate system is selected. The following section describes the status of our legally binding standards. In the last part the design of the ventilation system according to the layout of the building, the properties of the building structures, the equipment and the occupied space are made. Part of the thesis is a technical report with attachments and drawing documentation.

KEYWORDS

Ventilation, school building, indoor microclimate, distribution elements, air volume, pressure loss

ÚVOD

Vzduchotechnika (VZT) je technický obor, který sleduje zejména tvorbu vnitřního prostředí čili interního mikroklimatu budov. Základním prostředkem tvorby prostředí je výměna vzduchu v daném prostoru vzduchem upraveným do stavu, jenž zajistí jeho požadovanou úroveň.

Vzduchotechniku tvoří komplex funkčních zařízení a elementů vytvářejících jako celek vzduchotechnický systém. Jeho účelem je zajištění složek vnitřního prostředí, počínaje primární odérovou složkou, frekventovanou tepelně-vlhkostní složkou až po komplexní stav mikroklimatu.

Specifikou vzduchotechniky je skutečnost projevující se bezprostředním účinkem jejího provozu na stav vnitřního prostředí a ovlivňující jeho aktuální úroveň, danou zejména čistotou, teplotou i vlhkostí vzduchu. Vzduchotechnika je i rozhodující složkou ve sféře hospodaření energií v budovách a představuje tak významný ekonomický faktor tvorby prostředí budov[1].

ČÁST A

1 REGULACE VĚTRACÍHO SYSTÉMU

Tvorba interního mikroklimatu vzduchotechniky se vyznačuje požadavkem konstantní úrovně vnitřního prostředí, jež má být stabilní i při výrazně proměnných stavech vnějšího okolí budovy nebo technologických procesů. Protože se systémy VZT navrhují pro výpočtové extrémní hodnoty, musí se jejich provoz pro jiné poměry vlivů regulovat tak, aby výkon systémů odpovídal okamžitým tokům agencií. K uvedeným účelům slouží regulace a ovládání[1].

Regulaci lze ve VZT definovat jako proces, při kterém se snímá (monitoruje tzv. regulovaná veličina funkčního souboru, porovnává s požadovanou veličinou tzv. řídící veličinou a v závislosti na výsledku srovnání se pomocí akčního členu (armatury se servopohonem) koriguje a řídí chování souboru. Regulace je v podstatě udržování regulované veličiny v daných mezích pomocí hodnot zjištěných měřením.

Ovládání je zásah do funkčního souboru, kterým se vyvolá změna chování systému (např. vypnutí, sepnutí apod.) na základě zadaných požadavků. Ovládání je řízení bez zpětné vazby.

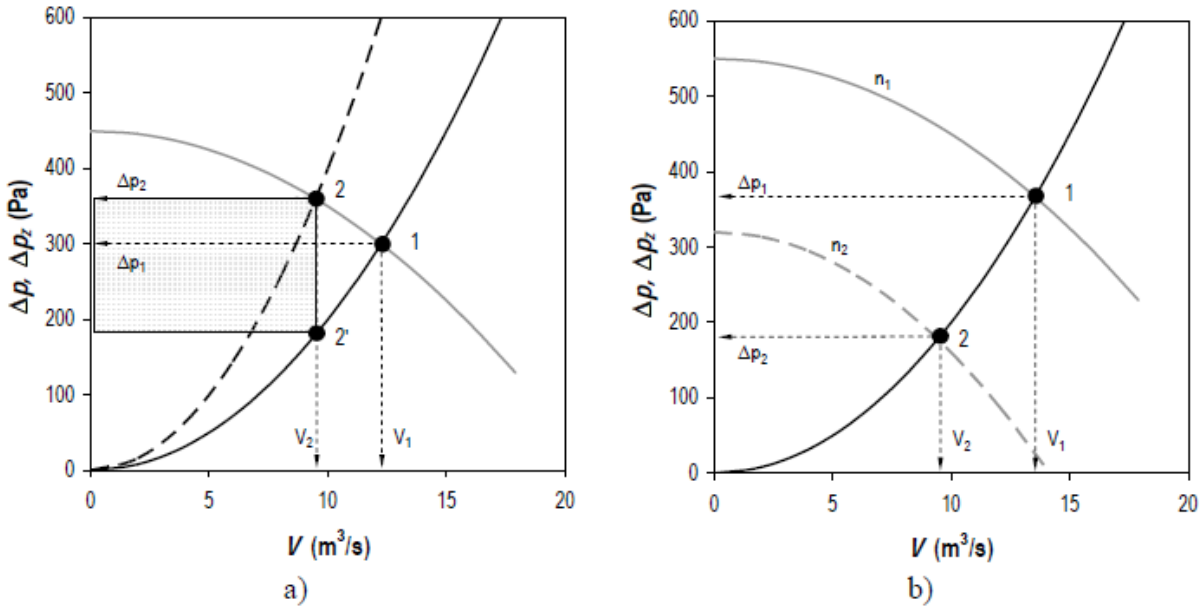
Systémy regulace se podle způsobu přenosu regulačních signálů dělí na regulaci elektronickou, elektrickou a pneumatickou. Možná je i jejich kombinace (snímání elektricky a ovládání pneumaticky). Regulační soustavu tvoří soubor snímacích, registračních, výkonných, napájecích a dalších prvků, z nichž je primární regulátor, dnes obvykle vybavený mikroprocesorem s možností inteligentní komunikace. Základní regulované hodnoty ve VZT jsou klimatické veličiny a veličiny teplonosných látek (teploty, vlhkosti, průtoky, koncentrace, tlaky, atd.). Podle sestavy VZT a nároků na kvalitu vzduchu prostředí lze zvolit řadu různých kombinací regulace. U občanských staveb je typická regulace výsledné teploty místnosti event. regulace vlhkosti vzduchu. U průmyslových staveb se navíc mohou vyskytnout požadavky na monitorování koncentrací škodlivin.

1.1 REGULACE VENTILÁTORŮ

Vzduchový výkon ventilátoru je možno řídit několika způsoby:

- **Škrcením** je nejčastější, i když z energetického hlediska nejméně vhodný způsob. Škrcení je realizováno klapkou před nebo za ventilátorem, čímž vzniká místní tlaková ztráta a následně se mění charakteristika sítě. Vede ke zvýšení hlučnosti.
- **Změnou otáček**, která se realizuje plynule nebo stupňovitě regulovatelnými elektromotory nebo elektromotory s několika otáčkami. Změna výkonu se děje změnou některé elektrické veličiny, napětí nebo frekvence proudu. Napěťové regulátory bývají zpravidla stupňovité, frekvenční měniče umožňují plynulou změnu výkonu ve velkém rozsahu.
- **Natáčením lopatek**, které je aplikovatelné zejména u axiálních ventilátorů. Konstrukce zajišťující natáčení lopatek je poměrně komplikovaná.

Regulovatelné ventilátory je možno používat pro vzduchové sestavy s proměnným průtokem vzduchu, kde je průtok vzduchu závislou veličinou (např. se odvíjí od zanesení filtrů, teploty nebo koncentrace látek v prostoru apod.).



Obr. 1.1 Regulace ventilátoru a) škrcením s naznačeným zmařeného výkonu, b)změnou otáček ventilátoru[3]

Navrhuji ventilátory řízené plynule frekvenčním měničem, tak aby udržovaly pořád stejný tlak ve vzduchotechnickém potrubí.

1.2 REGULACE TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKŮ A PROTIMRAZOVÁ OCHRANA

VODNÍ OHŘÍVAČ

Výkon ohřívače a chladiče se řídí zpravidla podle teploty v obsluhované místnosti nebo v odvodním potrubí, pokud však zařízení obsluhuje velký počet místností s různým očekávaným teplotním režimem nebo slouží jen pro větrání, lze řídit výkon výměníků i na teplotu snímanou v přívodním potrubí. U měření teplot v místnostech, které slouží jako referenční, je třeba dbát na správné umístění čidel, aby nedošlo k jejich oslunění nebo ovlivnění lokálními zdroji. Z těchto důvodů je jednoduší měření teploty v potrubí, kde však nemusí teplota odváděného vzduchu vždy odpovídat teplotě v pobytové zóně. Na výkon lamelových výměníků má významný vliv, zda jsou zapojeny jako protiproudé, nebo souproudé. Pro dosažení maximálního výkonu se používají vždy v zapojení protiproudém.

Tepelný výkon vodního ohřívače, resp. chladiče se řídí plynule kvalitativně směšováním nebo kvantitativně průtokem teplonosné látky. Základní prvky pro regulaci jsou:

- Teplotní čidla na straně vzduchu a vody
- Čerpadlo a regulační uzel, příp. jen dvoucestný nebo trojcestný ventil

PROTIMRAZOVÁ OCHRANA

Protimrazová ochrana je soubor opatření k zabránění zamrznutí vody ve výměníku. Realizuje se trvalým měřením teploty vzduchu za výměníkem a teploty vody na výstupu z výměníku. Při poklesu teploty pod stanovené hodnoty se aktivují následující patření:

- Spustí se čerpadlo
- Otevře se trojcestný ventil na vstupu do ohřívače na 100 %
- Pokud teplota dále klesá, odstaví se ventilátory, uzavřou se vstupní klapky a zařízení je mimo provoz

Součástí protiúrazové ochrany je předehřev ohřívače před spuštěním ventilátorů. Vzhledem k malému vodnímu obsahu může ohřívač za nízkých teplot zamrznout a prasknout během několika minut, proto je vhodné pro vstupní klapky použít servomotor s havarijní funkcí, který zajistí při poruše napájení okamžité uzavření vstupních klapek.
Při nízkých výparných teplotách nebo při chlazení vody s přídavkem nemrznoucí látky s nízkou teplotou dochází k namrzání výparníku, které zhoršuje jeho regulovatelnost a použitelnost. V těchto případech se sleduje teplota vzduchu za výměníkem a při podkročení nastavené hodnoty je tento výměník odstaven. Pro vyšší nároky na přesnost regulace teploty vzduchu je vhodné použít dva výměníky, kde jeden je v režimu chlazení a druhý odtávání.

Instalované vzduchotechnické jednotky mají na přívodu do jednotky klapku s havarijní funkcí, která se uzavře, pokud teplota za vodním výměníkem nebo ZZT podkročí nastavenou hodnotu.

1.3 REGULACE VÝMĚNÍKŮ ZZT

U výměníků pro ZZT zpravidla není regulován tepelný výkon, pouze u rotačního výměníku lze změnou otáček dosáhnout mírného zvýšení účinnosti. Protože však ve výměnících dochází k ochlazení odpadního vzduchu a kondenzaci, je zde nutná protiúrazová ochrana.

PROTIMRAZOVÁ OCHRANA DESKOVÉHO VÝMĚNÍKU

Deskové a lamelové výměníky se pro účely automatické protiúrazové ochrany a vyřazení rekuperace v letním období vybavují obtokem. Obtok rekuperátoru v jednoduchých případech lze nahradit letní vestavbou. Obtok se vybavuje dvěma spřaženými klapkami se servopohonem (jedna se otvírá, druhá se zavírá). Protimrazová ochrana se aktivuje na základě poklesu teploty odpadního vzduchu pod nastavenou mez nebo při překročení nastavené tlakové ztráty výměníku vlivem námrazy. Pokud tento stav nastane, venkovní (chladný) vzduch prochází zcela nebo z části obtokem přímo k ohřívači a výměník se ohřevem odpadního vzduchu odmrazí. Pokud k odmražení nedojde a teplota odpadního vzduchu za výměníkem dále klesá, dojde k vypnutí nejprve přívodního, následně i odvodního ventilátoru a uzavření klapek.

V použitých vzduchotechnických jednotkách je zabudována protimrazová ochrana ZZT. Dále je instalován regulovaný letní obtok, který se uplatní hlavně v přechodném období. Ve

školním provozu jsou velké vnitřní zisky, regulovaný obtok zajistí na výstupu ze ZZT optimální teplotu.

1.4 REGULACE VZDUCHOVÉHO VÝKONU ZAŘÍZENÍ NA KONSTANTNÍ NEBO PROMĚNNOU HODNOTU

Regulace vzduchového výkonu má mnoho použití. Nejjednodušším případem je ventilátor s dvouotáčkovým motorem, který umožňuje přepínání vzduchového výkonu zařízení ve dvou stupních, např. pro denní a útlumový noční provoz.

Regulace na konstantní hodnotu je výhodná v případě požadavku udržování stálého průtoku vzduchu při měnících se tlakových poměrech v potrubní síti, např. zanášením filtrů, zejména u zařízení s třístupňovou filtrací. Tam je rozdíl počáteční a koncové tlakové ztráty všech filtrů značný a může dosáhnout např. třetiny celkového tlaku ventilátoru, čímž se výrazně mění průtok vzduchu a vzniká rozdíl mezi množstvím přiváděného a odváděného vzduchu, což může ke změně tlakových poměrů v obsluhovaných místnostech.

Regulace na proměnnou hodnotu má své použití u soustav s proměnným průtokem, kde je řídící veličinou např. teplota vzduchu. V případě, že je nutno řídit průtok vzduchu do více místností nebo zón, přichází v úvahu použití regulátorů průtoku pro každou zónu. Zařízení s proměnným průtokem vzduchu lze použít také pro případ, že zařízení nemá dostatečný tepelný výkon. Při poklesu teploty na hodnotu, kdy již výměník nestačí dodávat potřebné množství tepla, se automaticky sníží otáčky ventilátoru. Pro tento účel postačí plně regulace skoková, např. se třemi až pěti stupni otáček.

1.5 OVLÁDÁNÍ KLAPEK SE SERVOMOTOREM

Při požadavku automatického ovládání nastavení regulační nebo uzavírací klapky se vybavují servomotorem. Typ servomotoru závisí na požadavku nastavitelnosti klapky. Podle velikosti klapky a potřebného krouticího momentu se zvolí vhodná velikost servomotoru. Podle možností nastavení listů klapky se rozlišují tyto druhy:

- Dvoupolohový servomotor pro uzavírání/otevírání klapky
- Dvoupolohový servomotor pro uzavírání vstupní klapky s havarijní funkcí (vratnou pružinou), který zajistí uzavření klapky při výpadku proudu
- Servomotor pro plynule nastavitelnou klapku. Nastavení úhlu klapky se řídí signálem, např. 0 - 10 V.

1.6 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY PRO VZDUCHOTECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ

Ústředním prvkem regulačního systému je regulátor. Jeho úloha je porovnávání skutečné a požadované hodnoty regulované veličiny a po vyhodnocení regulační odchylky udává výstupní akční veličinu, která působí na akční členy regulované soustavy. Musí tedy obsahovat nastavovací a porovnávací člen. Jedním z nejpoužívanějších regulátorů ve vzduchotechnice je regulátor teploty.

REGULÁTOR TEPLOTY

Regulátor teploty u běžných zařízení s ohřevem a rekuperací tepla podle aktuálních požadavků na teplotu přiváděného vzduchu volí z dostupných možností režim:

- Větrání bez tepelné úpravy
- Rekuperaci nebo obtok, příp. směšování
- Ohřev s rekuperací nebo bez - řízením regulačního uzlu nebo spínáním elektrického nebo plynového ohřevu
- Chlazení s rekuperací nebo bez - řízením regulačního uzlu nebo spínáním kondenzační jednotky

Řídící jednotky, rozvaděče MaR, představují elektrická zařízení zabezpečující napájení, ovládání a regulaci úprav vzduchu, ventilátoru, klapek apod. Slouží také k monitorování stavu zařízení (filtrů, ventilátorů, požárních klapek), signalizaci poruch a celkovou vizualizaci provozních stavů. Běžné je vybavení moduly reálného času, které umožňují nastavení různých provozních režimů v týdenním i ročním cyklu. U jednoduchých zařízení bývá ovládání vzdálené, vlastní regulační a silové prvky jsou soustředěny ve strojovně vzduchotechniky v rozvaděčích MaR a ovládání chodu zařízení včetně změn parametrů se děje z míst obsluhy, která může být vzdálená, možné je rovněž dálkové monitorování i řízení chodu prostřednictvím internetové sítě. Jednotka umožňuje přepínání režimu automaticky - ručně - stop.

V moderních rozsáhlých budovách, kde kromě větracích a klimatizačních zařízení obsluhují i regulační systémy také otopné soustavy, osvětlení, monitorují funkci výtahů nebo jiné technologie, se zavádí centrální nadřazený systém správy všech technologií. Ten integruje jak monitoring aktuálních provozních stavů vše h zařízení techniky prostředí, tak další funkce, jako jsou zabezpečovací a kamerový systém, monitorování přítomnosti otevřených oken, dveří apod.

Část A byla sepsána za pomocí literatury [1], [2] a [3]

ČÁST B

1 PŘEHLED VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ

Větrání - výměna vzduchu v uzavřeném prostoru za venkovní - může být spojité v čase, *větrání* je *trvalé*, nebo přerušované, v opakujících se časových intervalech, *větrání* je *občasné*. Zhospodárnění provozu se dosahuje v systémech se spojitě *proměnným průtokem vzduchu*, řízením výší koncentrace škodlivin (nadměrného tepla).

Výměny vzduchu lze dosáhnout samočinně u *větrání přirozeného* (provětrání, infiltrace, aerace, šachtové větrání) účinkem rozdílu měrných tíh vzduchu venkovního a vnitřního a působením větru.

Při *větrání nuceném* se vzduch přivádí a odvádí ventilátory. Systémy nuceného větrání umožňují větrací vzduch upravovat a řídit tlakové poměry v budově. Hodnota *součinitele větrací rovnováhy* při celkovém větrání dělí systémy na *rovnotlaké* $\varepsilon = 1$, *přetlakové* $\varepsilon > 1$ a *podtlakové* $\varepsilon < 1$. Vhodný systém se volí podle požadavků na přenos škodlivin se sousedními prostory přirozeným prouděním. Spolu s hodnotou ε rozhoduje o velikosti tlakových rozdílů těsnost spár oken a dveří. Přetlakové větrání se používá pro větraný prostor obklopený místnostmi s nižšími požadavky na čistotu vzduchu. Podtlakovým větráním se zabraňuje unikání nebezpečných nebo obtěžujících škodlivin z větraného prostoru do jeho okolí [2].

Větrání zajišťuje:

- přívod čerstvého venkovního vzduchu do větraných prostorů
- odvod vzduchu znehodnoceného (znečištěného)látkovými škodlivinami, případně i odvod nežádoucího tepla z větraných prostorů.

Větráním se upravuje čistota vnitřního ovzduší a dílčím způsobem i tepelný stav prostředí - přívodem venkovního vzduchu lze odvádět (omezeně) i tepelnou zátěž. Přívod venkovního vzduchu vyrovnává vzduchovou bilanci u odsávaných systémů.

Proudění vzduchu ve větraném prostoru je způsobeno *nuceným* (mechanickým) *účinkem* - ventilátory, nebo *přirozeným tlakovým rozdílem* - vlivem rozdílných hustot vzduchu vně a uvnitř větraného prostoru i účinkem větru. Rozlišují se systémy

- nuceného větrání
- přirozeného větrání [3].

1.1 PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ

U přirozeného větrání je průtok vzduchu vyvolán přirozeným rozdílem tlaků vně a uvnitř budovy. Tlaková rozdíl vzniká rozdílem hustoty vzduchu vně a uvnitř větraného prostoru, nebo tlakovým účinkem setrvačných sil větru na budovu. V důsledku vzniku tlakového rozdílu dochází k proudění vzduchu otvory v budově. Část tlakové energie se přemění na kinetickou energii vzduchu protékajících budovou a část slouží k pokrytí tlakových ztrát.

Přirozené větrání může být trvalé (aerace a šachtové větrání) díky stálému zdroji tepla umístěnému ve větraném prostoru, nebo časově omezené - nahodilé (infiltrace a provětrávání), které závisí na vnitřních a vnějších klimatických podmínkách a tlakovém účinku větru, který rovněž není trvalý, neboť rychlost větru je proměnná.

Nedostatkem přirozeného větrání je nemožnost filtrace a možnosti tepelné úpravy větracího vzduchu jsou omezené. Účinný tlak je u přirozeného větrání relativně malý a nepostačuje k překonání tlakových ztrát těchto prvků. Rovněž se příliš nehodí pro hlučné provozy v blízkosti obytné zástavby, neboť otevřené větrací otvory většinou nedisponují potřebnou neprůzvučností. Přirozené větrání nevyžaduje energii pro dopravu vzduchu, proto v odůvodněných případech, zejména pak v průmyslu, je jeho uplatnění účelné [3].

1.1.1 ZÁKLADNÍ TYPY PŘIROZENÉHO VĚTRÁNÍ

INFILTRACE

Infiltrace je přirozené větrání netěsnými spárami oken, dveří, je časově omezená, neboť závisí na vnitřních a vnějších klimatických podmínkách. Přívod venkovního vzduchu infiltrací do místnosti je nejintenzivnější v zimě, kdy zvyšuje tepelné ztráty. Z hlediska tepelné ochrany budov jsou proto kladeny zvýšené požadavky na neprůvzdušnost obálky budovy. Zdokonalené těsnění oken podstatně omezuje přirozené větrání infiltrací, často až pod hygienické požadavky na přívod čerstvého přívodního vzduchu. Omezené větrání v zimním období snižuje odvod vlhkosti (z kuchyní aj.), což může vést ke kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu (nedostatečně neplně izolovaných) obvodových konstrukcí, k jejich navlhání a tvorbě plísní i k narušení konstrukce. Při současném technickém stavu nelze infiltraci pro trvalé větrání budov prakticky používat a je nutné hledat alternativní způsoby přívodu venkovního vzduchu [3].

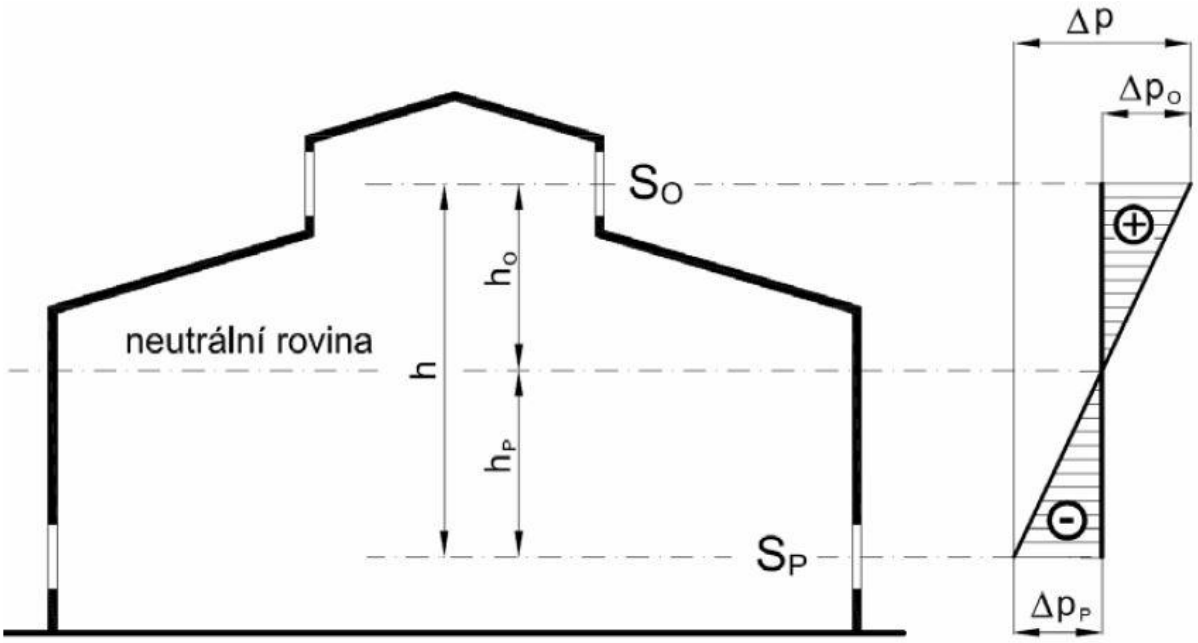
PROVĚTRÁVÁNÍ

Otevíráním oken dochází k provětrávání. Užívá se přerušovaně v obytných a veřejných budovách a připouští se normami i pro výrobní haly (zejména jako havarijní). Spodní částí otevřeného okna proudí do místnosti v zimě chladnější venkovní vzduch, horní částí okna se vzduch z místnosti odvádí (v létě obráceně). Energeticky úsporné je provětrávat krátce, často a velkými průřezy [2,3].

AERACE

Přirozené větrání může být využíváno trvale pouze tehdy, je-li potřebný tlakový rozdíl v požadovaném období zajištěn nepřetržitě. Teplé a horké průmyslové provozy (v hutích, sklárnách, energetice) poskytují celoročně vyhovující podmínky pro aeraci. Teplota vnitřního vzduchu je trvale vyšší než teplota venkovního vzduchu. Na obr. 1.1 je znázorněno schéma

haly větrané aerací. Ve spodní části haly jsou umístěny otvory pro přívod vzduchu o ploše S_p (m^2), v horní části pak otvory pro odvod vzduchu S_o (m^2). V hale je umístěna technologie s trvalým zdrojem tepla Q (W). Otvory musí být vybaveny regulačním ústrojím s možností měnit průtočný průřez v závislosti na venkovních i vnitřních klimatických podmínkách. Používají se buď okenní křídla nebo regulační klapky ovládané ručně, nebo servopohonem. Výška mezi osami větracích otvorů h (m) určuje velikost účinného tlaku Δp (Pa) [3].



Obr. 1.1 Schéma budovy větrané aerací [3]

ŠACHTOVÉ VĚTRÁNÍ

U šachtového větrání se využívá, obdobně jako u aerace zdroje tepla Q (W), který je obvykle v místě nasávání vzduchu do šachty. Využití nachází především v průmyslu. Účinný tlak (tah) šachty slouží k překonání tlakových ztrát šachty a místních odporů. Šachtové větrání funguje, je-li v místnosti, odkud je vzduch šachtou nasáván, přibližně stejný tlak jako ve venkovním prostředí. To platí za předpokladu, že je propojena dostatečně velkými otvory s venkovním prostředím, nebo okolními místnostmi.

1.2 CELKOVÉ NUCENÉ VĚTRÁNÍ

Celkové nucené větrání zajišťuje pokud možno rovnoměrné provětrání pásma pobytu osob, resp. pracovní oblasti, nebo jinak definováno technologického prostoru čerstvým venkovním vzduchem. Celkové větrání se používá především tam, kde nevýrazné zdroje škodlivin (tepla) jsou v prostoru rovnoměrně rozmístěny. I v obytných domech se stále více prosazuje nucené větrání (nucený přívod v zimě ohřívaného vzduchu s využitím zpětného získání tepla). Větrání (přívod čerstvého venkovního vzduchu) je nedílnou součástí každého komfortního systému [3].

1.2.1 NUCENÉ VĚTRÁNÍ KOMBINOVANÉ S PŘIROZENÝM

Jednoduchými větracími zařízeními se vzduch pouze odvádí nebo jen přivádí. Celkové odsávání je vhodné pro malé místnosti se silným znečišťováním vzduchu plynnými škodlivinami nebo teplem, zejména kuchyně, záchody, sklady odpadků, bezokenní pomocné místnosti, garáže. Je v nich podtlak vůči okolním místnostem, který brání pronikání znečištěného vzduchu do okolí. Pro správnou funkci musí být zajištěn dostatečný volný průřez vhodně umístěných otvorů k přívodu vzduchu. Zařízení sestává jen z ventilátoru, odsávacího vzduchovodu s vyústkami a odpadního vzduchovodu s výfukovou hlavicí nebo krytem výfukového otvoru.

Celkové větrání jen s nuceným přívodem vzduchu může sloužit ke kompenzaci místně odsávaného vzduchu. Přebytek přiváděného vzduchu nad odváděným vytváří přetlak vůči okolí a uniká spárami v oknech a dveřích. V zimě je nutné přiváděný vzduch ohřívat, celoročně pak filtrovat. Tento systém je vhodný převážně pro prostory, ve kterých jsou, nevznikají žádná silná znečištění, jako jsou např. kanceláře, drobné výrobny, prodejny, výstavní haly. Velkým nedostatkem je, že nelze využít teplo z odpadního vzduchu. Zvláštním případem je teplovzdušné větrání s vytápěním, s ohřevem přiváděného vzduchu na 30 až 50 K nad vnitřní teplotu. Teplem, úměrným uvedenému rozdílu teplot, se pokryjí tepelné ztráty prostupem tepla stěnami. Zařízení umožňují pracovat zčásti nebo zcela se vzduchem oběhovým. Jsou oblíbena, neboť jedním zařízením řeší větrání i vytápění prostoru.

Jednoduchá větrací zařízení s nuceným odvodem nebo přívodem jsou doplněna přirozeným přívodem nebo odvodem vzduchu a vytvářejí větrání kombinované. Chladné provozy vyžadují v létě větší intenzitu větrání než v zimě, neboť je třeba odvádět tepelnou zátěž z oslunění. Je účelné zajistit v létě zvýšené větrání přirozeným způsobem a v zimě větrat nuceně vzhledem k nutnosti ohřívat přiváděný vzduch [2].

1.2.2 VĚTRÁNÍ S NUCENÝM PŘÍVODEM I ODVODEM

Ve všech velkých místnostech se zdroji škodlivin je nezbytné navrhnout celkové větrání s nuceným přívodem i odvodem vzduchu, zejména ve shromažďovacích prostorách všech druhů (divadla, biografy, společenské sály), dále ve velkokuchyních, hromadných garážích, továrnách. Systémy jen s nuceným odvodem vzduchu zde nejsou použitelné, neboť při velkých výměnách vzduchu nekontrolovatelně vstupující spárami oken a dveří vyvolává průvan a umožňuje vnikání prachu. Zařízení umožňuje zpětné získávání tepla, které se přes vyšší investice stále více uplatňuje.

Pro specifické účely se filtrace a ohřev větracího vzduchu doplňuje dalšími úpravami. Chlazením v létě u komfortních zařízení a určitých průmyslových zařízení, např. potravinářského průmyslu, laboratoří. Zvlhčováním při zpracování hygroskopických materiálů jako je textil, tabák, papír avšak i v muzeích výtvarného umění, knihovnách.

Odvlhčováním, které je většinou spojeno s chlazením (chemický průmysl). Takto upravená zařízení umožňují částečnou klimatizaci.

Větrací zařízení s nuceným přívodem i odvodem vzduchu umožňuje řídit tlakové poměry (velikost rozdílů tlaku) v komplexu místností, s různými požadavky na čistotu vzduchu [2].

1.3 VOLBA VHODNÉHO VĚTRACÍHO SYSTÉMU

Při volbě vhodného větracího systému je zapotřebí zohlednit architektonicko-stavební řešení zadané budovy a také to, že se jedná o rekonstrukci, tudíž minimalizovat prostupy hlavně mezi patry. Řešená budova má 12 nadzemních budov a 2 podzemní patra.

Jako vhodný systém byl zvolen nucený větrací systém. Přirozené větrání okny nepřichází v úvahu, protože jak už bylo řečeno výše, je závislé na vnějších klimatických podmínkách. Ve školních stavbách se okny nedá větrat o přestávkách kvůli bezpečnosti žáků nebo by musel být přítomný vyučující, ale toto není jeho práce. Větrání okny o vyučování může způsobit hlavně v zimním období tepelný diskomfort v podobě studeného vzduchu u podlahy. Další nevýhody jsou například nemožnost filtrace venkovního vzduchu nebo šíření hluku z vnějšího prostředí. Infiltrace je též závislá na vnějších klimatických podmínkách. V dnešní době s ní ale také nelze počítat. V mnoha případech došlo kvůli energetickým úsporám k výměně okenních otvorů a zateplení budov (i v případě řešené budovy) a větrání infiltrací se radikálně zmenšilo, v případě zadané budovy na 0,08 až 0,15 h^{-1} podle [4], což nevyhoví hygienickým požadavkům [5]. Aerace je nevhodná, hlavně z hlediska stavebního řešení budovy, kdy bylo třeba, aby teplý vzduch stoupal vzhůru, kde by byl odváděn ven z budovy. Šachtové větrání je prostorově hodně náročné a musely by se provést prostupy stropy.

Nucené větrání přivede dané množství čerstvého venkovního vzduchu a snadno se reguluje. Výhodou zvoleného systému je zlepšení vnitřního mikroklimatu hlavně co se týče koncentrace CO_2 a VOC. Jednotky budou umístěny pod stropem na pánských záchodech po jedné na každém podlaží. V jednotce se čerství vzduch ohřeje díky rekuperaci tepla z odpadního vzduchu, případně se dohřeje na požadovanou teplotu a bude distribuován do místností.

Světlá výška bez podhledu je 3,3 m, lze však předpokládat, že bude snížena hlavně na chodbách a vzniklý prostor bude sloužit pro vedení vzduchovodů. Uvažovaná světlá výška na chodbách bude 2,6 m, na instalaci podhledu, vzduchovodů a ostatních instalací (např. osvětlení) zbývá výška 700 mm.

2 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ ŠKOLNÍCH BUDOV

Tato kapitola bude věnována platné české legislativě v oblasti větrání. Hned na začátku je nutné říct, že zmiňovaná legislativa se věnuje větrání mateřských, základních a středních škol, pro vysoké školy žádné předpisy neexistují, proto budu vycházet z této legislativy.

V současné době požadavky na kvalitu vnitřního prostředí vycházejí z [5], která stanovuje základní parametry vnitřního mikroklimatu a intenzitu větrání dle tabulky 1. [6]

Tab. 2.1 Intenzita větrání čerstvým vzduchem v učebnách, tělocvičnách, a hygienických zařízení a provozovnách pro výchovu a vzdělání [5]

Zařízení	Výměna vzduchu v $m^3.hod^{-1}$
Učebny	20–30 na 1 žáka
Tělocvičny	20 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

Parametry mikroklimatických podmínek podle [5]:

a) Zimní období

Učebny, pracovny, družiny a další místnosti určené k dlouhodobému pobytu:

- průměrná výsledná teplota v místnosti Ø t_g = 22 ± 1 °C,
- minimální výsledná teplota v místnosti $t_{g,min}$ = 19 °C,
- rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníku nesmi být větší než 3 °C,
- při poklesu teploty vzduchu v učebnách určených k dlouhodobému pobytu děti a žáků ve třech po sobě následujících dnech pod 18 °C, ne však méně než na 16 °C, nebo při poklesu teploty vzduchu v těchto učebnách v jednom dni pod 16 °C musí byt provoz zařízení pro výchovu a vzdělávání zastaven.

Tělocvičny:

- průměrná výsledná teplota v místnosti Ø t_g = 20 ± 1 °C,
- minimální výsledná teplota v místnosti $t_{g,min}$ = 19 °C,
- rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníku nesmí být větší než 3 °C.

b) Letní období

Učebny, pracovny, družiny a další místností určené k dlouhodobému pobytu:

- průměrná výsledná teplota v místnosti Ø t_g = 28 °C,
- maximální výsledná teplota v místnosti $t_{g,max}$ = 31 °C,

- při extremních venkovních teplotách, kdy maximální venkovní teplota vzduchu je vyšší než 30 °C a $t_{g,max}$ = 31 °C, musí byt přerušeno vyučovaní, nebo zajištěno pro žáky jiné náhradní opatřeni, např. jejich pobytem mimo budovu a zajištěním pitného režimu.

Tam, kde je rozdíl mezi výslednou teplotou kulového teploměru t_g a teplotou vzduchu t_a menší než 1 °C, lze jako výslednou hodnotu teploty používat hodnotu t_a (°C) naměřenou suchým teploměrem.

Relativní vlhkost vzduchu je celoročně 30–70 %.

Rychlost prouděni vzduchu je celoročně 0,1–0,2 m/s.

Doporučené množství čerstvého vzduchu podle ČSN EN 13779 [7] v závislosti na třídu kvality vnitřního ovzduší (IDA) je uvedeno v tabulce 2.

Tab. 2 Doporučené hodnoty potřeby čerstvého vzduchu na osobu dle [7]

Kategorie	Doporučená hodnota [m³/h]	Standardní hodnota [m³/h]
IDA 1	> 54	72
IDA 2	36–54	45
IDA 3	22–36	29
IDA 4	< 6	18

V normě **ÖNORM H 6039:2008** [8] se pro IDA 3 neboli koncentraci CO_2 800 ppm nad venkovním vzduchem uvádí potřebné množství čerstvého vzduchu pro věk:

6–10 let	15 m^3/h	> 19 let	27 m^3/h
10–14 let	19 m^3/h	učitel	32 m^3/h
14–19 let	24 m^3/h [6]		

Další požadavky na vzduchotechniku jsou kladeny v oblasti hluku, kde [7] uvádí maximální hlučnost ve školách a školkách 35 - 45 dB, pro individuální kanceláře 30 - 40 dB.

Důležitou roli hraje také filtrace vzduchu. Filtry pro vnější čerstvý vzduch a pro odtahovaný vzduch jsou běžně umístěny před výměníkem tepla, což chrání samotný výměník. Podle stupně filtrace jsou filtry roztříděny do tříd G1–G4 pro hrubou filtraci a F5–F9 pro filtraci jemnou. Obvykle se používá kombinace hrubého a jemného filtru. V případě potřeby lze použit i pylový filtr pro uživatele postižené alergiemi.

Jelikož se filtry podílejí na tlakových ztrátách systému, a tudíž i větší spotřebě elektřiny na pohon ventilátorů, je nutné udržovat filtry čisté a pravidelně je měnit/čistit 2x až 4x ročně, nebo dle indikace zaneseni filtračních ploch. Zašpiněné filtry snižuji funkčnost systému (průtok vzduchu) a navyšují spotřebu energie. Většina jednotek signalizuje potřebu vyměnit filtry [6].

3 STANOVENÍ MNOŽSTVÍ VENKOVNÍHO VĚTRACÍHO VZDUCHU

Objemový průtok venkovního větracího vzduchu v prostoru může být určen:

- z bilance škodlivin ve větraném prostoru,
- z dávek vzduchu na osobu,
- z intenzity výměny vzduchu.

Základem stanovení množství čerstvého vzduchu je podmínka maximální koncentrace CO_2 v prostoru, kde pobývají lidé 0,1% obj. (1 000 ppm) tzv. Pettenkoferovo kritérium. Uvedená koncentrace zohledňuje kromě CO_2 i produkci dalších metabolitů jako tepla, vlhkosti, odérů od osob. Pro osoby v bdělém stavu s mírou aktivitou fyzické je tok vdechovaného vzduchu 0,45m^3/h os. Koncentrace CO_2 ve vydechovaném vzduchu je $C_{CO2,vyd}$ = 4 %. V přiváděném venkovním vzduchu je koncentrace C_p = 0,035 % (350 ppm). S použitím rovnice (3.1) pro dané podmínky vyplývá:

$$\dot{V}_e = \frac{\dot{V}_š}{C - C_p} \quad [m^3/h] \quad (2.1)$$

Kde:			
	$\dot{V}_e$	je množství venkovního větracího vzduchu	[m^3/h]
	$\dot{V}_š$	je objemový průtok CO_2 ve vydechovaném vzduchu	[m^3/(h · os.)]
	C	je maximální koncentrace CO_2 v prostoru	[-]
	C_p	je koncentrace CO_2 v přiváděném venkovním vzduchu	[-]

$$\dot{V}_e = \frac{0{,}45 \cdot 0{,}04}{0{,}001 - 0{,}00035} = 28 \text{ m}^3/\text{h}$$

Poznámka: Pettenkofer uvažoval koncentraci CO_2 ve venkovním vzduchu 300 ppm, potom množství vzduchu na osobu vychází 25 m^3/h. v současnosti se celosvětový průměr koncentrace CO_2 pohybuje kolem hodnoty 395 ppm [3].

Po dosazení do vzorce (2.1) za C_p = 0,0004 dostáváme:

$$\dot{V}_e = \frac{0{,}45 \cdot 0{,}04}{0{,}001 - 0{,}0004} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ve větraném prostoru se dále nachází chodby, kde je množství venkovního čerstvého vzduchu určeno na základě intenzity výměny vzduchu. Pro chodby byla hodnoty intenzity výměny vzduchu zvolena n = 0,5 h^{-1}. Množství venkovního vzduchu je pak určeno z rovnice (2.2):

$$\dot{V}_e = n_i \cdot O \quad [m^3/h] \quad (2.1)$$

Kde:			
	$\dot{V}_e$	je množství venkovního větracího vzduchu	[m^3/h]
	n_i	je intenzita výměny vzduchu	[h^{-1}]
	O	je objem místnosti	[m^3]

V příloze P1 spolu s výpisem místností je množství venkovního vzduchu na tu kterou místnost.

Výpočet počtu osob v daném prostoru proběhl podle následujících požadavků na velikost podlahové plochy:

- doporučená plocha kancelářského pracoviště podle [10]:
  - bez prostoru pro jednání, s odkládací plochou 10 m^2/os.
  - s prostorem pro jednání, s odkládací plochou 16 m^2/os.

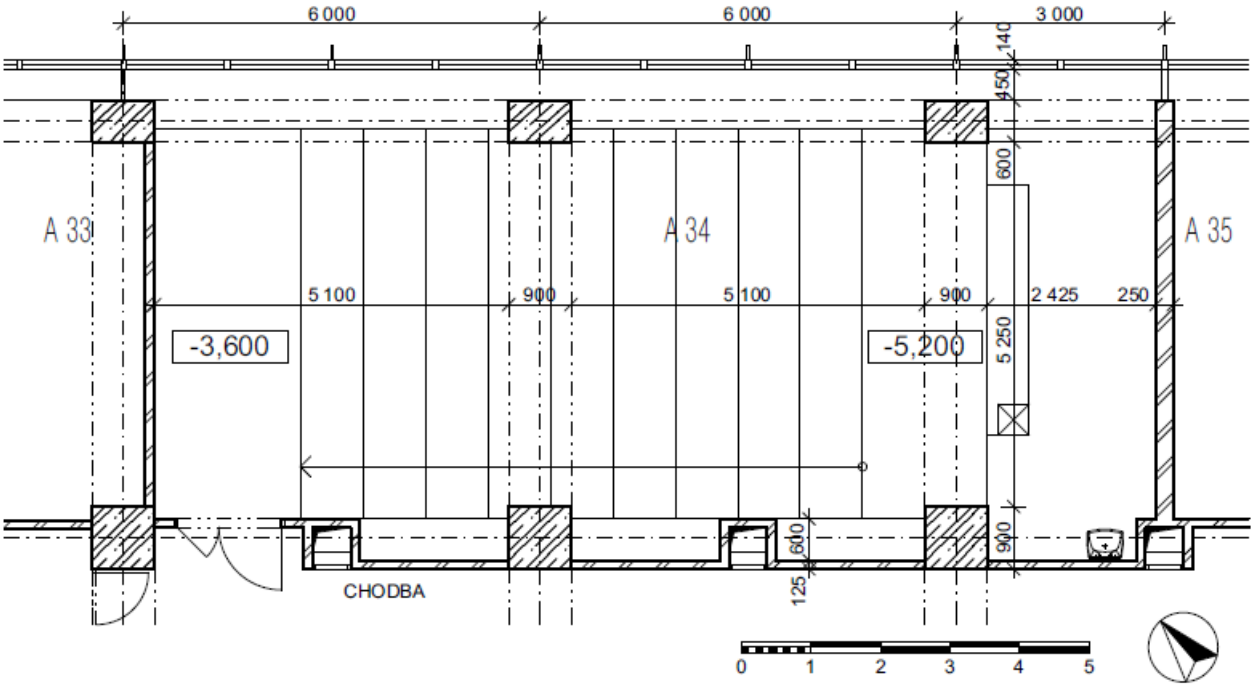
  Pozn. nejprve se uvažuje místo s jednáním a odkládací plochou, je-li kancelář větší, další místo se počítá již bez jednání.

- zasedací místnosti a knihovny 2,5 m^2/os.
- kapacita tříd/učeben/rýsoven/laboratoří převzata z rozvrhů ČVUT [11]
  - pokud není určeno v [11] počítám s následujícím:
    - učebna kreslení 3,0 m^2/os.
      běžná 1,65 m^2/os.
      počítačová 2,0 m^2/os.
    - přednáškový sál 0,8 - 0,9 m^2/os. nebo 5,3 m^3/os.
    - praktické vyučování 4,0 m^2/os.

4 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE

4.1 PŘEDNÁŠKOVÝ SÁL (POSLUCHÁRNA) A 34

Jedná se o severovýchodně orientovanou posluchárnu, která se nachází v prvním podzemním podlaží (částečně v pod úrovní terénu). Místnost je stupňovitě uspořádaná, přičemž vchod je nahoře. V místnosti je instalován podhled a je zde místo pro 83 studentů a přednášejícího. Nosnou konstrukci tvoří železobetonové sloupy, příčky plné cihly. Podrobněji obrázek 4.1.



Obr. 4.1 Půdorys posluchárny A 34 s hodnotami použitými pro výpočet tepelné zátěže

4.1.1 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Tepelně technické vlastnosti vybraných stavebních konstrukcí potřebných k dalšímu výpočtu budou vyřešeny pod tímto odstavcem.

Vnější plášť je tvořen lehkým obvodovým pláštěm, který má podle [4] součinitel prostupu tepla na severozápadní straně U = 0,87 W/(m^2·K).

4.1.2 VZOROVÝ VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ

Výpočet tepelné zátěže řešeného prostoru byl proveden v souladu s platnou českou technickou normou:

- ČSN 73 0548: 1986. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. [12]

Vzorový výpočet je proveden pro 21. května v 7 hodin (doba, po kterou byly zjištěny nejvyšší tepelné zisky v řešené posluchárně. Orientace místnosti je na severozápad, azimutový úhel normály stěny je 45°.

VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ OD VNITŘNÍCH ZDROJŮ

Produkce tepla lidí Q_l

Do této produkce se zahrnuje pouze teplo citelné. Produkce tepla jednoho člověka, sedícího, mírně aktivního (kancelářská činnost), při vnitřní výpočtové teplotě $t_{i,p}$ = 26°C:

$$Q_{c(t_{i,p})} = Q_{c(26°C)} = 62 \text{ W (70 W na přednášejícího)} \quad (4.1)$$

kde: $Q_{c(26°C)}$ je produkce citelného tepla jednoho člověka, sedícího, mírně aktivního (kancelářská činnost), při teplotě t_i = 26°C (hodnota z tabulky 6 v [12]) [W]

Ekvivalentní počet lidí je pro počet mužů i_m = 41+1, počet žen $i_ž$ = 42 a počet dětí i_d = 0:

$$i_l = 0{,}85 \cdot i_ž + 0{,}75 \cdot i_d + i_m = 0{,}85 \cdot 42 + 0{,}75 \cdot 0 + 1 \cdot 41 = \mathbf{77}. \quad (4.2)$$

Produkce citelného tepla lidí v posluchárně A 34:

$$Q_l = Q_{c(t_{i,p})} \cdot i_l = 62 \cdot 77 + 70 \cdot 1 = \mathbf{4\,844} \text{ W}. \quad (4.3)$$

Produkce tepla svítidel Q_{osv}

S tepelnými zisky produkovanými svítidly se počítá u hlubších místností ve vzdálenostech větších než 5 m od oken. Doporučené intenzity osvětlení a odpovídající produkce tepla pro různá pracoviště jsou uvedeny v tabulce 7 v [12]. Pro kanceláře je předepsaná intenzita

osvětlení 250 lx a tomu odpovídá při použití zářivek produkce tepla 15 W/m^2. Pro řešenou posluchárnu A 34 je produkce tepla svítidel v porovnání s osobami téměř zanedbatelná.

Produkce tepla svítidel v posluchárně A 34:

$$Q_{osv} = S_{osv} \cdot P \cdot c_1 \cdot c_2 = = 21{,}3 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 0{,}7 = \mathbf{223{,}7}\ \text{W}, \qquad (4.4)$$

kde:	S_{osv}	je plocha místnosti vyžadující umělé osvětlení	[m^2]
	P	je celkový příkon svítidel	[W]
	c_1	je součinitel současnosti používání svítidel	[-]
	c_2	je zbytkový součinitel (pro odsávání vzduchu pod stropem: c_2 = 0,7)	[-].

Produkce tepla elektronických zařízení Q_e

V posluchárně sedí 83 studentů a každý třetí má jeden počítač, dále jeden počítač pro přednášejícího a dataprojektor (údaje z tab. 3-5 [13] :

- průměrná hodnota výkonu počítače	60 W
- průměrná hodnota výkonu dataprojektoru	200 W

Produkce tepla elektronických zařízení v kanceláři:

$$Q_e = n_p \cdot c_1 \cdot (\sum P) + n_t \cdot c_1 \cdot (\sum P) = (28+1) \cdot 1 \cdot 60 + 1 \cdot 200 = \mathbf{1\ 940}\ \text{W}, \qquad (4.5)$$

kde:	n_p	je počet počítačů v místnosti	[-]
	c_1	je součinitel současnosti chodu počítačů	[-]
	P	je průměrný výkon jednotlivých elektronických zařízení	[W]
	n_t	je počet dataprojektorů v místnosti	[-].

VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ Z VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ

Tepelné zisky okny sluneční radiací Q_{or}

Tepelné zisky okny sluneční radiací jsou počítány pro slunný den 21. května v 8 hodin letního času.

Sluneční čas τ

Pro výpočet se tato hodnota nahrazuje pro celé území České republiky časem středoevropským: τ = **7** h.

Sluneční deklinace δ

Sluneční deklinace pro měsíc květen (M = 5) se vypočítá podle rovnice:

$$\delta = -23{,}5 \cdot \cos(30 \cdot M) = -23{,}5 \cdot \cos(30 \cdot 5) = \mathbf{20{,}35°}. \quad (5.5)$$

Výška slunce nad obzorem h

Pro 50° severní šířky (vyhovuje celé České republice):

$$h = \arcsin(0{,}766) \cdot \sin\delta - 0{,}643 \cdot \cos\delta \cdot \cos(15 \cdot \tau)) =$$
$$= \arcsin(0{,}766) \cdot \sin(20{,}35) - 0{,}643 \cdot \cos(20{,}35) \cdot \cos(15 \cdot 7)) = \mathbf{25°}. \quad (5.6)$$

Sluneční azimut ***a***

Určuje se od směru sever ve směru otáčení hodinových ručiček:

$$\boldsymbol{a} = \arcsin\left(\frac{\sin(15 \cdot \tau) \cdot \cos\delta}{\cos h}\right) = \arcsin\left(\frac{\sin(15 \cdot 7) \cdot \cos(20{,}35)}{\cos 25}\right) = \mathbf{88°}. \quad (5.7)$$

Azimutový úhel normály stěny (určuje se od směru sever ve směru otáčení hodinových ručiček): $\gamma = \mathbf{45°}$.

Úhel stěny s vodorovnou rovinou: $\alpha = \mathbf{90°}$.

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků θ*:*

$$\theta = \arccos(\sin h \cdot \cos\alpha + \cos h \cdot \sin\alpha \cdot \cos(a - \gamma)) =$$
$$= \arccos(\sin 25 \cdot \cos 90 + \cos 25 \cdot \sin 90 \cdot \cos(88 - 45)) = \mathbf{48{,}5°}. \quad (5.8)$$

Součinitel znečištění atmosféry: z = **4**

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

$$I_{DS} = 1\,350 \cdot \exp[-0{,}097 \cdot z \cdot (\sin h)^{-0{,}8}] \cdot \cos\theta =$$
$$= 1\,350 \cdot \exp[-0{,}097 \cdot 4 \cdot (\sin 25)^{-0{,}8}] \cdot \cos 48{,}5 = \mathbf{413}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \quad (5.9)$$

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na plochu libovolně orientovanou ke směru slunečních paprsků I_D

$$I_D = 1\,350 \cdot \exp[-0{,}097 \cdot z \cdot (\sin h)^{-0{,}8}] = 1\,350 \cdot \exp[-0{,}097 \cdot 4 \cdot (\sin 25)^{-0{,}8}] =$$
$$= \mathbf{623{,}3}\ \frac{\mathbf{W}}{\mathbf{m^2}} \quad (5.10)$$

Intenzita difúzní sluneční radiace I_d*:*

$$I_d = \left[1\,350 - I_D - (1\,080 - 1{,}4 \cdot I_D) \cdot \sin^2\frac{\alpha}{2}\right] \cdot \frac{\sin h}{3} =$$
$$= \left[1\,350 - 623{,}3 - (1\,080 - 1{,}4 \cdot 623{,}3) \cdot \sin^2\frac{90}{2}\right] \cdot \frac{\sin 25}{3} = \mathbf{87{,}8}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \quad (5.11)$$

Intenzita celkové sluneční radiace I_c:

$$I_c = I_{DS} + I_d = 413 + 87{,}8 = 500{,}7 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \quad (5.12)$$

Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardním jednoduchým sklem T_D:

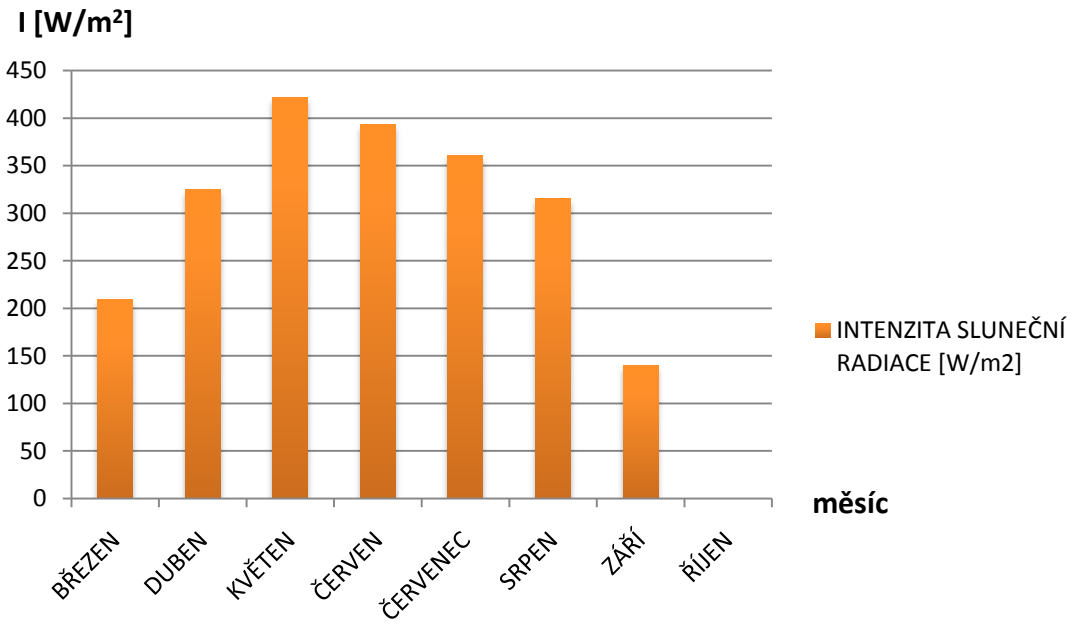
$$T_D = 0{,}87 - 1{,}47 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^5 = 0{,}87 - 1{,}47 \cdot \left(\frac{48{,}5}{100}\right)^5 = \mathbf{0{,}84}. \quad (5.13)$$

Celková propustnost difúzní sluneční radiace standardním sklem T_d:

$$T_d = \mathbf{0{,}85}. \quad (5.14)$$

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým sklem I_0:

$$I_0 = I_{DS} \cdot T_D + I_d \cdot T_d = 413 \cdot 0{,}84 + 87{,}8 \cdot 0{,}85 = \mathbf{422} \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \quad (5.15)$$



Obr. 5.2 Graf intenzity sluneční radiace na severovýchodní straně, vždy pro 21. den měsíce a 7. hodinu tab. .1 z [12]

Intenzita difúzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením I_{od}:

$$I_{od} = I_d \cdot T_d = 87{,}8 \cdot 0{,}85 = \mathbf{74{,}6} \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \quad (5.16)$$

Hloubka zapuštění okna ve stěně: d = 0 m.

Délka stínu ve vodorovném směru okenního otvoru e_1:

$$e_1 = d \cdot tg\,|a - \gamma| = \mathbf{0}\ \mathrm{m}. \quad (5.17)$$

Hloubka zapuštění okna v nadpraží a parapetu: c = 0 m.

Délka stínu ve svislém směru okenního otvoru e_2:

$$e_2 = c \cdot \frac{tg\ h}{cos|a\ -\gamma|} = \mathbf{0}\ \text{m} \tag{5.18}$$

Šířka okna L_A = **15** m.

Výška okna L_B = **3,3** m (světlá výška posluchárny), rám zabírá 10 % z plochy LOP.

Osluněný povrch zasklené části okna S_{OS}:

$$S_{OS} = [l_A - e_1] \cdot [l_B - e_2] \cdot 0{,}9. \tag{5.19}$$

Vzhledem k tomu, že délky stínů ve svislém i vodorovné směru e_1 a e_2 jsou rovny nule, platí:

$$S_{OS} = (l_A - 0) \cdot (l_B - 0) \cdot 0{,}9 = 15 \cdot 3{,}3 \cdot 0{,}9 = \mathbf{44{,}6}\ \text{m}^2$$

Povrh okna včetně rámu S_o:

$$S_O = l_A \cdot l_B = 15 \cdot 3{,}3 = \mathbf{49{,}5}\ \text{m}^2. \tag{5.20}$$

Korekce na čistotu atmosféry pro velká města: c_0 = 0,85.

Stínící součinitel pro trojité zasklení: s = 0,8*0,8*0,8.

Počet oken: n = **1**.

Tepelné zisky oken sluneční radiací Q_{or}:

$$Q_{or} = [S_{OS} \cdot I_0 \cdot c_O + (S_O - S_{OS}) \cdot I_{od}] \cdot s \cdot n = \tag{5.21}$$

$$= [44{,}6 \cdot 422 \cdot 0{,}85 + (49{,}5 - 44{,}6) \cdot 74{,}6] \cdot 0{,}8^3 \cdot 1 = \mathbf{8\ 378}\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\mathbf{.}$$

Snížení tepelných zisků od osluněných oken vlivem akumulace

Část tepelných zisků od sluneční radiace prostupující okny, dopadá na vnitřní povrchy stěn v místnosti a do těchto stěn se akumuluje. Množství tepla naakumulovaného do stěn snižuje tepelné zisky od oslunění a vypočítá se jako:

$$\Delta Q = 0{,}05M \cdot \Delta t \tag{5.22}$$

kde: ΔQ snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken [W]
M hmotnosti obvodových stěn (bez vnější stěny), podlahy a

	stropu, které přicházejí v úvahu pro akumulaci	[kg]
Δt	maximální připuštěné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru	[K]

Jako hmotnost stěn pro akumulaci tepla se uvažuje hmotnost poloviční tloušťky vnitřních stěn, podlahy a stropu. V případě stěny o tloušťce větší než 160 mm se pro akumulaci uvažuje nejvýše tloušťka stěny 80 mm. Je-li na podlaze umístěn koberec, uvažuje se jen ¼ hmotnosti podlahy.

Vnitřní příčky z plných pálených cihel

Plocha příčky (u dveří): $S_{př} = 2{,}6 \cdot 5{,}25 = 13{,}7\ m^2$.

Tloušťka příčky: $d_{př} = 0{,}15$ m, pro akumulaci se uvažuje: $d_{a,př} = 0{,}075$ m.

Plocha příčky (u tabule): $S_{př} = 4{,}5 \cdot 5{,}25 = 23{,}6\ m^2$.

Tloušťka příčky: $d_{př} = 0{,}25$ m, pro akumulaci se uvažuje: $d_{a,př} = 0{,}08$ m.

Plocha příček (naproti LOP): $S_{př} = 2{,}6 \cdot 2{,}95 - 2 \cdot 1{,}6 + 0{,}8 \cdot 4{,}2 + 3 \cdot 5 = 22{,}8\ m^2$.

Pozn. Je počítáno pouze s viditelnými příčkami, nepočítám s příčkami za skříněmi.

Tloušťka příčky: $d_{př} = 0{,}13$ m, pro akumulaci se uvažuje: $d_{a,př} = 0{,}06$ m.

Objemová hmotnost cihel plných pálených: $\rho = 1\,800\ kg/m^3$.

Hmotnost vnitřních příček: $M_{př} = (13{,}7 \cdot 0{,}075 + 23{,}6 \cdot 0{,}08 + 22{,}8 \cdot 0{,}06) \cdot 1\,800 =$ **7 710** kg.

Železobetonové sloupy

Plocha sloupů: $S_s = (1{,}05 + 1{,}5 \cdot 2 + 1{,}8) \cdot 2{,}6 = 15{,}21\ m^2$.

Tloušťka pro akumulaci se uvažuje: $d_{a,s} = 0{,}08$ m.

Objemová hmotnost betonu: $\rho = 2\,500\ kg/m^3$.

Hmotnost podlahy: $M_p = 15{,}21 \cdot 0{,}08 \cdot 2\,500 =$ **3 042** kg.

Strop a podlaha

Strop se nezapočítává, protože je tvořen podhledem, který nemá žádné akumulační účinky. Podlaha je stupňovitě uspořádá, z čehož plyne, že konstrukce bude lehká a z hlediska akumulace zanedbatelná.

Celková hmotnost stavebních konstrukcí vhodných pro akumulaci tepla:

$M = M_{př} + M_s$ = 7 710 + 3 042 = **10 752** kg.

Maximální připuštěné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru:

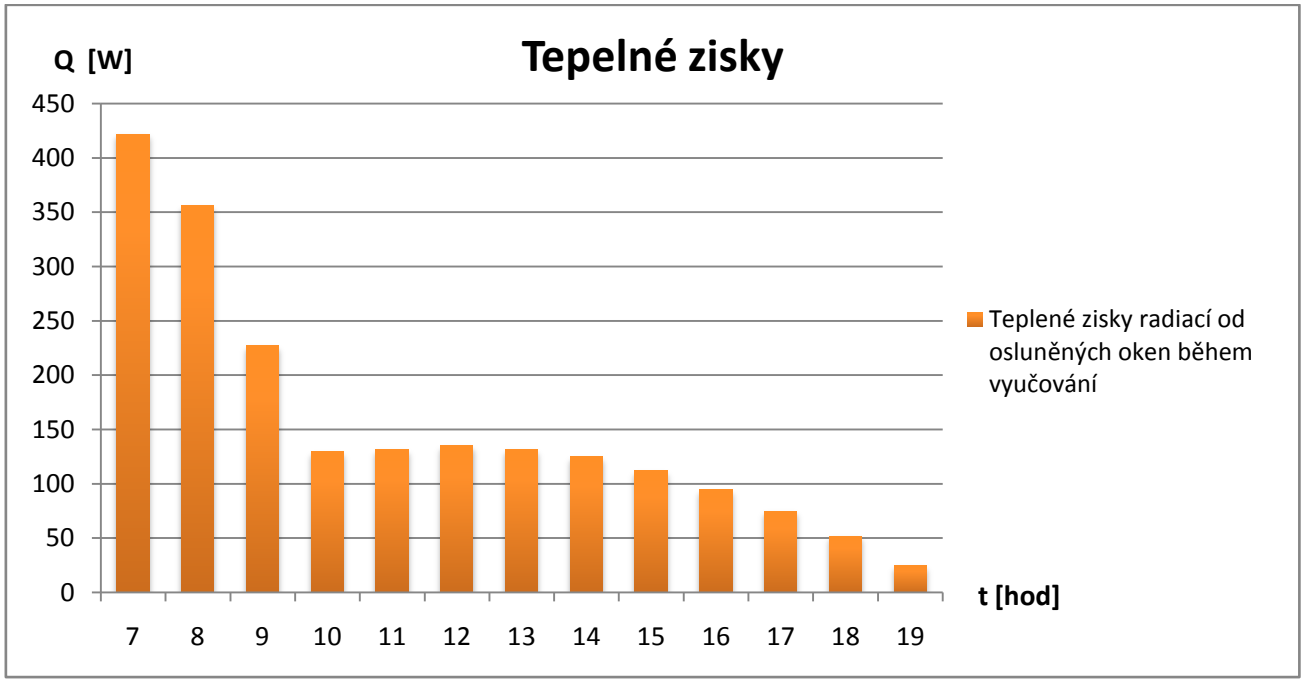
Δt = **1** K.

Snížení tepelných zisků od osluněných oken ΔQ:

$$\Delta Q = 0{,}05M \cdot \Delta t = 0{,}05 \cdot 2\,976{,}11 \cdot 1 = \mathbf{538}\ \text{W} \qquad (5.23)$$

Tab. 2.1 Hodnoty tepelných zisků radiací od osluněného LOP během pracovního dne

Pracovní doba (středoevropský čas) [h]												
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tepelné zisky radiací od osluněných oken během pracovního dne Q_{or} [W]												
8 395	7 176	4 708	2 673	2 620	2 673	2 620	2 479	2 222	1 885	1 487	1 031	495



Obr. 2.4 Graf tepelných zisků radiací od osluněných oken během pracovní doby

Hodnota maximálních tepelných zisků radiací snížená o část, která se akumuluje do vnitřních stěn, se následně porovná s průměrnými tepelnými zisky radiací v době provozu administrativní budovy.

$Q_{or,max}$ - ΔQ = 8 395 - 538 = **7 857** W

$Q_{or,m}$ = **3 113** W.

Na základě porovnání výsledků se určí hodnota uvažovaná pro další výpočty:

$Q_{or,max} - \Delta Q < Q_{or,m}$ => dále se počítá s $Q_{or,m}$
$Q_{or,max} - \Delta Q > Q_{or,m}$ => dále se počítá s $Q_{or,max} - \Delta Q$

7 857 > **3 113** => dále se počítá s $Q_{or,max} - \Delta Q$ = **7 857** W

Prostup tepla oknem konvekcí Q_{ok}:

$$Q_{ok} = U_0 \cdot S_0 \, (t_e - t_i) = 0{,}87 \cdot 49{,}5 \, (26{,}5 - 26) = \mathbf{21{,}5} \text{ W} \qquad (2.25)$$

kde:			
	U_0	je součinitel prostupu tepla okna	[W/(m^2 · K)]
	S_0	je plocha okna včetně rámů	[m^2]
	t_e	venkovní teplota - maximální	[°C]
	t_i	vnitřní teplota	[°C]

CELKOVÉ TEPELNÉ ZISKY PŘEDNÁŠKOVÉHO SÁLU A 34

Tepelné zisky od vnitřních zdrojů Q_i:

- produkce tepla lidí Q_l = 4 844 W
- produkce tepla svítidel Q_{osv} = 274 W
- produkce tepla elektrických zařízení Q_l = 1 940 W

Celkové tepelné zisky od vnitřních zdrojů:

$Q_i = Q_l + Q_{osv} + Q_l = 4\,844 + 274 + 1\,940 =$ **7 058** W

Tepelné zisky z vnějšího prostředí Q_e:

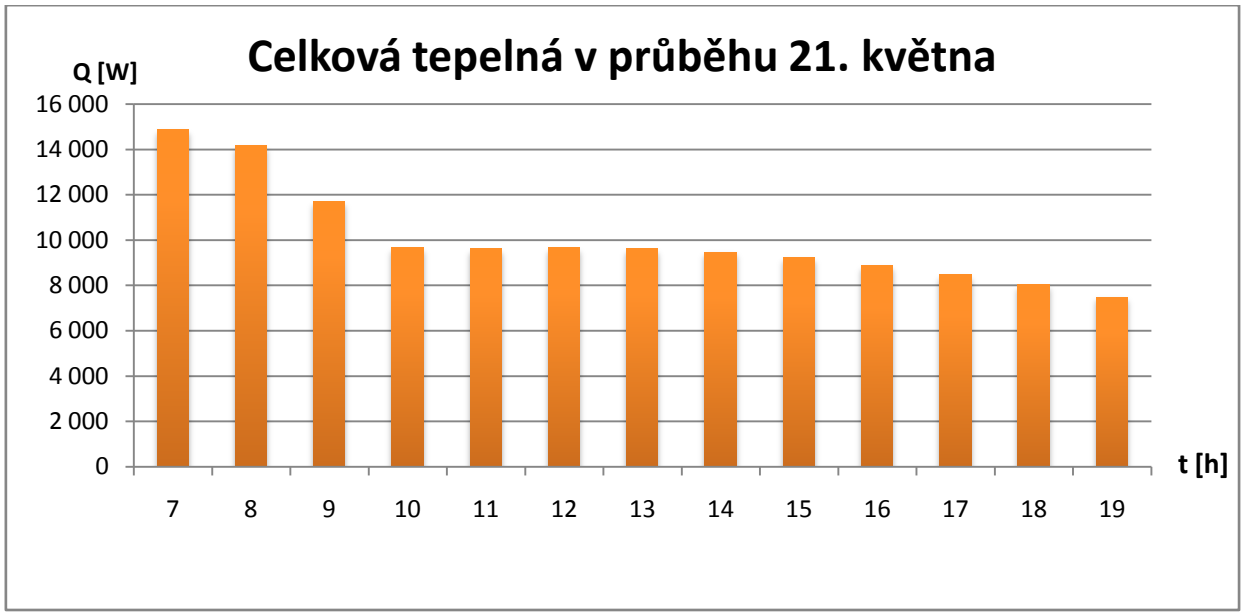
- tepelné zisky oken sluneční radiací Q_{or} = 7 857 W
- prostup tepla oknem konvekcí Q_{ok} = 22 W
- tepelné zisky vnějšími konstrukcemi Q_s = 0 W

Celkové tepelné zisky z vnějšího prostředí:

$Q_e = Q_{or} + Q_{ok} + Q_s = 7\,857 + 22 + 0 =$ **7 879** W

Tepelné zisky celkem Q:

$Q = Q_i + Q_e = 7\,058 + 7\,879 =$ **14 937 W**



Největší tepelné zisky vznikají v 8 hodin letního času a činí necelých 15 kW. Tepelná zátěž může být odvedena pomocí klimatizace nebo pouze jenom větráním. Objemové průtoky potřebné pro odvod zátěže jsou vypočítány níže.

Objemové průtoky pro odvod tepelné zátěže:

$$\dot{V}_e = \frac{Q}{(t - t_p) \cdot \rho \cdot c} = \frac{15\,000}{(26-18) \cdot 1{,}2 \cdot 1\,010} = 1{,}55 \text{ m}^3/\text{s} = 5\,580 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (pro trysky)} \quad (2.25)$$

kde:			
	$\dot{V}_e$	je objemový průtok vzduchu	[m^3/h]
	Q	je celkové tepelné zisky	[W]
	t	vnitřní teplota - maximální povolená u klimatizace	[°C]
	t_p	teplota přiváděného vzduchu	[°C]

$$\dot{V}_e = \frac{Q}{(t - t_p) \cdot \rho \cdot c} = \frac{15\,000}{(26-16) \cdot 1{,}2 \cdot 1\,010} = 1{,}24 \text{ m}^3/\text{s} = 4\,464 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (pro vířivé anemostaty)}$$

Anemostaty zřejmě nepůjde použít, protože místnost má relativně malou světlou výšku. Vzduch distribuovaný z vířivých anemostatů by se pořádně nesmíchal se vzduchem vnitřním, což by vedlo k nepravidelnému promísení vzduchu a k místnímu diskomfortu způsobeného průvanem (díky malé výšce místnosti by se vzduch nedostatečně zpomalil).

Počítali-li bychom, že tepelnou zátěž budeme odvádět pouze větráním, tudíž dovolíme ve vnitřním prostředí teplotu vyšší než teplotu venku a to 28° C, výpočet by vypadal následovně:

$$\dot{V}_e = \frac{Q}{(t - t_p) \cdot \rho \cdot c} = \frac{15\,000}{(28-26) \cdot 1{,}2 \cdot 1\,010} = 6{,}19 \text{ m}^3/\text{s} = 22\,277 \text{ m}^3/\text{h}$$

Pouze větráním se tepelná zátěž neodvede, proto bude třeba přednáškové sály chladit. Další možností je omezit tepelné zisky z vnějšího prostředí např. instalací vnějších žaluzií (nejvhodnější řešení) nebo interiérové stínění, to ale není zdaleka tak účinné jako venkovní stínění.

Návrh chlazení přednáškových místností není předmětem projektu resp. diplomové práce.

5 NÁVRH POTRUBNÍ SÍTĚ

Potrubní síť se rozděluje na jednotlivé větve a úseky spojené v uzlových bodech (odbočky a rozbočky). Za hlavní větev je označena ta s předpokládanou největší tlakovou ztrátou nebo největším průtokem, nejčastěji se jedná o větev vedenou od ventilátoru k nejvzdálenější vyústce. Cílem návrhu potrubní sítě je určení profilů vzduchovodů a stanovení tlakové ztráty potrubní sítě, podle které se potom vybírá výkon ventilátoru. Tlakovou ztrátu potrubí tvoří ztráty třením a místními odpory. Tlaková ztráta místními odpory byla vypočtena pomocí [13] a [14]. Návrh je proveden metodou celkových tlaků, v uzlech potrubní sítě by měla být tlaková ztráta odbočky stejná jako tlaková ztráta hlavní větve. Toho se dosahuje optimálním dimenzováním jednotlivých úseků potrubní sítě nebo osazením a nastavením regulačních prvků do potrubí. Rychlost proudění vzduchu v potrubí se má postupně zvyšovat od konce hlavní větve směrem k ventilátoru, ale pouze mírně.

Pro přívodní i odvodní vzduchovody jsou navrženy kombinací čtyřhranného a kruhového potrubí z ocelového pozinkovaného plechu se standardní drsností $\varepsilon = 0{,}15$ mm. Vzduch jdoucí do a z kanceláří pedagogů je veden v kruhovém potrubí. Větrání učeben je potom provedeno na přívodu kruhovým potrubím, které se přechodem mění na čtyřhranné. Odvod vzduchu z učeben je potom řešen čtyřhranným potrubím. Tam, kde to lze vedu vzduch raději v kruhovém potrubí, protože má lepší rozložení rychlosti po průřezu a také se lépe čistí. Přívodní a odvodní prvky jsou vypsány v příloze P2.

Podstropní vzduchotechnické jednotky jsou umístěny vždy na toaletách většinou u mužů, protože je tam více místa. Při průchodu vzduchovodů prostředním traktem (spojení chodeb) jsou v přívodním i odvodním potrubí navrženy požární klapky. To samé platí i pro prostupy nade dveřmi v chodbách. Navržené požární klapky jsou od společnosti Elektrodesign, podrobněji v příloze P2. Navržené klapky mají odolnost 120 minut, může být změněno po konzultaci s odborníkem na protipožární opatření.

Aby nedocházelo k ohřátí odpadního vzduchu při průchodu potrubní sítí, je nutné tyto vzduchovody tepelně izolovat. Tím se také zabrání kondenzaci vodní páry z okolního vzduchu na chladném povrchu vzduchovodu. Na čtyřhranné potrubí s čerstvým a odpadním vzduchem je proto navržena izolace Kaiflex EF-Duct (materiál na bázi syntetického kaučuku).

Při výpočtu tlakové ztráty potrubní sítě byly použity následující vztahy (5.1) - (5.7).

- výpočet byl proveden s následující hodnotami:

Objemová hmotnost vzduchu $\rho = 1{,}2$ kg/m^3

Kinematická viskozita vzduchu $v = 0{,}0000145$ m^2/s

Rychlost vzduchu v systému:

$$w = \frac{\dot{V}}{a \cdot b} \; ; \; w = \frac{\dot{V}}{\pi \cdot D} \tag{5.1}$$

kde:	$\dot{V}$	je objemový průtok vzduchu	[m^3/h]
	w	rychlost vzduchu v potrubí	[m/s]
	a	šířka čtyřhranného vzduchovodu	[m]
	b	výška čtyřhranného vzduchovodu	[m]
	D	průměr kruhového vzduchovodu	[m]

Dynamický tlak:

$$p_d = \frac{w^2}{2} \cdot \rho \tag{5.2}$$

kde:	p_d	je dynamický tlak vzduchu v potrubí	[Pa]
	w	rychlost vzduchu v potrubí	[m/s]
	ρ	objemová hmotnost vzduchu	[kg/m^3]

Ekvivalentní průměr čtyřhranného potrubí:

$$d_{ekv} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} \tag{5.3}$$

kde:	d_{ekv}	je ekvivalentní průměr čtyřhranného potrubí	[m]
	a	šířka čtyřhranného vzduchovodu	[m]
	b	výška čtyřhranného vzduchovodu	[m]

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu} \tag{5.4}$$

kde:	Re	je Reynoldsovo číslo	[-]
	w	rychlost vzduchu v potrubí	[m/s]
	D	průměr potrubí, resp. d_{ekv} (čtyřhranné potrubí)	[m]

Součinitel tření:

$$\lambda = \frac{0{,}0812}{Re^{0{,}125} \cdot D^{0{,}11}} \tag{5.5}$$

kde:	λ	je součinitel tření	[-]
	Re	Reynoldsovo číslo	[-]
	D	průměr potrubí, resp. d_{ekv} (čtyřhranné potrubí)	[m]

Tlaková ztráta třením vzduchu v potrubí:

$$\Delta p_\lambda = R \cdot l = \lambda \cdot \frac{1}{D} \cdot p_d \qquad (5.6)$$

kde:	Δp_λ	tlaková ztráta třením vzduchu v potrubí	[Pa]
	R	tlakový spád	[Pa/m]
	L	délka úseku potrubí	[m]
	λ	je součinitel tření	[-]
	D	průměr potrubí, resp. d_{ekv} (čtyřhranné potrubí)	[m]
	p_d	dynamický tlak vzduchu v potrubí	[Pa]

Tlaková ztráta třením vzduchu v potrubí:

$$\Delta p_z = \Sigma\ \Delta p + (\Sigma\ \xi) \cdot p_d \qquad (5.7)$$

kde:	Δp_z	tlaková ztráta třením vzduchu v potrubí na daný úsek	[Pa]
	Δp	tlaková ztráta všech prvků na daný úsek	[Pa]
	ξ	součet součinitelů místních odporů na daný úsek	[-]
	p_d	dynamický tlak vzduchu v potrubí	[Pa]

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá větráním školní budovy. Větrací systém má zajistit požadované vnitřní mikroklima učeben, laboratoří, kanceláří (kabinetů) a zasedacích místností. Zadaná budova se nachází na území města Prahy.

Jako nejvhodnější systém byl vybrán větrací systém s nuceným přívodem i odvodem vzduchu, protože přirozené větrání v současné době ve školách nefunguje vůbec nebo velice omezeně (o přestávkách).

V práci bylo postupně stanoveno potřebné množství přiváděného čerstvého vzduchu do větraných místností, byl zvolen systém umístění jednotek po patrech řešených jako podstropních a od tohoto se dále rozvíjelo vedení vzduchotechnického potrubí. Následoval výpočet profilů potrubí. Kde to lze navrhuji kruhové potrubí a to z důvodu lepšího rychlostního profilu a snadnějšího čistění. Dalším krokem bylo vytvoření projektové dokumentace s přílohami - výpis místností, tlakové ztráty, výpis materiálu a použité vzduchotechnické jednotky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ČÁST A

Knižní publikace

[1] GEBAUER, G. *Vzduchotechnika,* Era 2007. ISBN 8073660918

[2] HIRŠ J., GEBAUER, G. Guenter *Vzduchotcechnika v příkladech 1,* Akademické nakladatelství Cerm, s r.o. Brno 2006. ISBN 80-7204-486-9

[3] DRKAL F., ZMRHAL V. *Větrání*, Praha 2013. ISBN 978-80-01-05181-8

ČÁST B

Knižní publikace

[1] GEBAUER, G. *Vzduchotechnika,* Era 2007. ISBN 8073660918

[2] CHYSKÝ, J.; HEMZAL, K. a kol. *Větrání a klimatizace*, Bolit - B press Brno, 1993. ISBN 80-901574-0-8.

[3] DRKAL F., ZMRHAL V. *Větrání*, Praha 2013. ISBN 978-80-01-05181-8

Technické normy

[5] Vyhláška č. 410/2005 Sb. *Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.*

[7] ČSN EN 13779. *Větrání nebytových budov - Základní požadavky na větrací a klimatizační systém.*

[8] ÖNORM H 6039:2008. Německá norma na větrání ve školách

[9] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.*, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*

[10] ČSN 73 5305: 2005. *Administrativní budovy a prostory.*

[12] ČSN 73 0548: 1986. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů.*

Firemní materiály, katalogy výrobců

[13] QPRO – Výpočet místních odporů [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://qpro.cz/?id=Tlakova-ztrata-mistnimi-odpory>.

[14] REMAK - Výpočet tlakové ztráty místním odporem ve vzduchotechnice [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.remak.eu/cs/vypocet-tlakove-ztraty-mistnim-odporem-ve-vzduchotechnice>.

Ostatní webové materiály

[4] Index of /vyucujici/46 - wp5-prubezna_zprava-2015.pdf [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/46/>.

[6] Operační program životní prostředí - Soubor ke stažení [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/15/4679-08-2009-vetrani-5web.pdf>.

[11] Rozvrhy - České vysoké učení technické, FAKULTA STAVEBNÍ [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://rozvrhy.cvut.cz:4080/r1/leto/index.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a	[°]	sluneční azimut
c_0	[-]	korekce na čistotu atmosféry
c_1	[-]	součinitel současnosti
c_2	[-]	zbytkový součinitel
C	[-]	maximální koncentrace CO_2 v prostoru
C_p	[-]	koncentrace CO_2 v přiváděném venkovním vzduchu
d	[m]	hloubka zapuštění okna ve stěně
d	[m]	s indexem - tloušťka konstrukce
e_1	[m]	délka stínu ve vodorovném směru okenního otvoru
e_2	[m]	délka stínu ve svislém směru okenního otvoru
h	[°]	výška slunce nad obzorem
i	[-]	ekvivalentní počet lidí
I_c	[W/m^2]	intenzita celkové sluneční radiace
I_d	[W/m^2]	intenzita difúzní sluneční radiace
I_D	[W/m^2]	intenzita přímé sluneční radiace dopadající na plochu libovolně orientovanou ke směru slunečních paprsků
I_{DS}	[Wúm^2]	intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu
I_0	[W/m^2]	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým sklem
I_{od}	[W/m^2]	intenzita difúzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením
l_A	[m]	šířka zasklené části okna
l_B	[m]	výška zasklené části okna
L_A	[m]	šířka okna

L_B	[m]	výška okna
M	[kg]	hmotnost
n	[h^{-1}]	počet
n_i	[h^{-1}]	intenzita výměny vzduchu
O	[m^3]	objem místnosti
P	[W]	příkon
Q_e	[W]	produkce tepla elektronických zařízení
Q_l	[W]	produkce tepla lidí
Q_{ok}	[W]	tepelné zisky prostupem tepla okny
Q_{or}	[W]	tepelné zisky okny sluneční radiací
$Q_{or,m}$	[W]	průměrné tepelné zisky radiací od osluněných oken během pracovní doby
$Q_{or,max}$	[W]	maximální hodnota tepelných zisků radiací od osluněných oken
Q_{osv}	[W]	produkce tepla svítidel
Q_s	[W]	tepelné zisky stěnami
s	[-]	stínící součinitel
S	[m^2]	plocha
S_O	[m^2]	povrch okna včetně rámů
S_{OS}	[m^2]	osluněný povrch zasklené části okna
S_{osv}	[m^2]	plocha místnosti vyžadující umělé osvětlení
t_e	[°C]	venkovní teplota
T_d	[-]	celková propustnost difúzní sluneční radiace standardním sklem
T_D	[-]	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardním jednoduchým sklem
t_i	[°C]	vnitřní teplota

U	[W/(m^2·K)]	součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí
$\dot{V}_e$	[m^3/h]	množství venkovního větracího vzduchu
$\dot{V}_{\check{s}}$	[m^3/(h · os.)]	objemový průtok CO_2 ve vydechovaném vzduchu
z	[-]	součinitel znečištění atmosféry
α	[°]	úhel stěny s vodorovnou rovinou
γ	[°]	azimutový úhel normály stěny
ρ	[kg/m^3]	objemová hmotnost
δ	[°]	sluneční deklinace
ΔQ	[W]	snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken
Δt	[K]	maximální připuštěné překročení požadované teploty v klimatizované místnosti
θ	[°]	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků
τ	[h]	sluneční čas