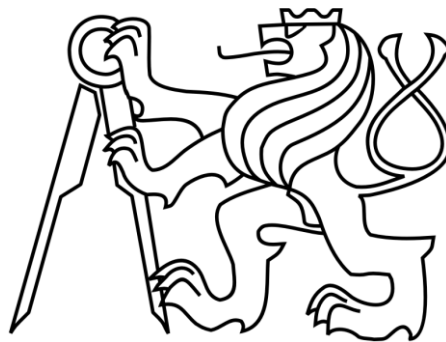


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Větrání a chlazení administrativní budovy

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Kryštof Blažek

2021

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 16.5.2021

.....
Kryštof Blažek

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval mému vedoucímu diplomové práce panu Ph.D. Urbanovi za odborné vedení po dobu celého semestru. Dále bych také chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mi umožnili možnost studia díky finančnímu zabezpečení a střešou nad hlavou.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Blažek	Jméno: Kryštof	Osobní číslo: 458347
Zadávatel: Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor: Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Větrání a chlazení administrativní budovy	
Název diplomové práce anglicky: Ventilation and cooling of the office building	
Pokyny pro vypracování: Diplomová práce bude zaměřena na způsob úpravy vnitřního prostředí administrativní budovy v letním období. Práce bude zpracována v rozsahu: 1. Rešerše: Požadavky na vnitřní prostředí v administrativních budovách v letním období. Předběžný návrh způsobu dosažení požadavků na vnitřní prostředí technickými systémy ve formě studie a základních koncepčních schémat. Bude provedeno porovnání z pohledu ekonomického, provozního a uživatelského hlediska. Jednotlivé varianty budou zpracovány pro zadanou případovou studii – administrativní budovu. 2. Část projektu: Na vybranou variantu bude zpracován projekt, včetně projektu větrání a klimatizace pro celý objekt v rozsahu výkresové části (schéma, půdorysy, řezy, příslušné detaily) a textové části (příslušné výpočty, technická zpráva). Seznam doporučené literatury: Drkal, Lain, Zmrhal, Klimatizace, 2020. Gebauer, Horká, Rubínová, Vzduchotechnika, Era - vydavatelství 2005. Drkal, Zmrhal, Větrání, ČVUT v Praze, 2017. Drkal, Zmrhal, Vybrané statě z větrání a klimatizace, ČVUT v Praze, 2018.	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 16.2.2021	Termín odevzdání diplomové práce: 16.5.2021 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Větrání a chlazení administrativní budovy

Práce se zabývá popisem vybraných systémů chlazení, které jsou koncepčně aplikovány na konkrétní administrativní budovu. Tyto koncepční návrhy systémů jsou dále mezi sebou porovnány z ekonomického, provozního a uživatelského hlediska. Na závěr je pomocí vícekriteriální analýzy vybrán jeden konkrétní systém a ten bude vybrán pro následný projekt větrání a chlazení.

Klíčová slova:

Větrání, chlazení, systémy, vícekriteriální analýza

Abstract

Ventilation and cooling of the office building

In this single case study-based diploma thesis, the author describes and consequently compares the carefully selected concepts and designs of the cooling systems in a given context of a specific office building. The comparison criteria that the degree candidate considers are of financial, operational as well as user-friendly nature. The author meets the aim of the thesis with assistance of the multiple-criteria decision-making analysis as such analysis results in the final choice of the suitable system for the ventilation and cooling of the office building project.

Keywords

Ventilation, cooling, systems, multiple-criteria analysis

Obsah

1	Vnitřní prostředí budov	9
1.1	Požadavky na vnitřní prostředí u administrativních budov	9
2	Studie chlazení administrativní budovy	13
2.1	Popis budovy	13
2.2	Výpočet tepelné zátěže	15
2.3	Vybrané varianty chladících systémů	18
2.3.1	Vodní systém s ventilátorovými konvektory	19
2.3.1.1	Technické požadavky a parametry systému	21
2.3.1.2	Koncepční schéma	22
2.3.1.3	Investiční a provozní náklady	23
2.3.2	Vodní systém s chladíci plochami	23
2.3.2.1	Technické požadavky a parametry systému	27
2.3.2.2	Koncepční schéma	28
2.3.2.3	Investiční a provozní náklady	29
2.3.3	Systém vzduch-voda s indukčními jednotkami	29
2.3.3.1	Technické požadavky a parametry systému	31
2.3.3.2	Koncepční schéma	32
2.3.3.3	Investiční a provozní náklady	33
2.3.4	Chladivový systém VRF/VRV	33
2.3.4.1	Technické požadavky a parametry systému	37
2.3.4.2	Koncepční schéma	38
2.3.4.3	Investiční a provozní náklady	38
2.3.5	Porovnání variant	39
2.3.6	Vícekritériální analýza a výběr varianty	40
2.3.6.1	Vícekritériální analýza chladících systémů	41
3	Závěr	43
4	Zdroje a použitá literatura	44
4.1	Použité elektronické dokumenty	44
4.2	Použitá tištěná literatura	45
4.3	Seznam obrázků	45
4.4	Seznam tabulek	46

Úvod

Chlazení je již už dlouhou dobu neopomenutelnou součástí především hlavně komerčních a průmyslových budov, kde vlivem velkých tepelných zisků, nejvíce tedy v letním období, narůstá požadavek na korigování teploty, a to jejím snižováním.

Jde o velice finančně a energeticky náročnou záležitost, a proto by této problematice mělo být věnováno dostatek pozornosti už v počátcích architektonických studií, kdy lze budovy co nejvíce ušetřit od vysokých požadavků na strojní chlazení, jeli nutné.

V dnešní době máme několik možností, jakým způsobem budovy chladit, avšak záleží na každé konkrétní budově a požadavcích jejich uživatelů, jakým způsobem toho nejlépe dosáhnout. Proto by se mělo pohlížet na výběr systému chlazení nejen z hlediska investičních nákladů, ale celkově z nákladů provozních, tepelné pohody, možnosti regulace, potřebné údržby či rizika nepříjemného hluku.

Cíle diplomové práce

Cílem této diplomové práce bude nahlédnout do problematiky vnitřního prostředí budov a stanovit tak požadavky u administrativních budov udávané legislativou.

Pro konkrétní administrativní budovu budou vybrány 4 chladicí systémy, které budou rozebrány z hlediska ekonomických, provozních a uživatelských vlastností a koncepčně zpracovány.

Na základě těchto získaných podkladů a informací budou pomocí vícekritériální analýzy dále tyto chladicí systémy porovnány, a nakonec bude vybrán jeden konkrétní systém, který bude použit pro projekt chlazení.

1 Vnitřní prostředí budov

Jedním z hlavních cílů a důvodů stavění budov je vytvoření komfortu a bezpečného prostředí pro jejich následné uživatele.

Jde například o udržování teploty, vlhkosti, přívodu čerstvého vzduchu a odvodu vzduchu znečištěného látkami jako třeba CO₂, těkavými organickými látkami, spalinami a další. Se zvýšenou vlhkostí pak souvisí riziko kondenzace vodních par na chladných površích a s tím spojená degradace konstrukčních materiálů či tvorba plísní, které jsou pro člověka nebezpečné.

Mezi další důvody patří vytvoření ideálních podmínek pro provoz technických zařízení jako například odvod tepelné zátěže datových sálů, přívod čerstvého vzduchu u spalovacích zařízení, udržování stálé vlhkosti v textilním průmyslu a jiné.¹

U budov je také řešena kvalita akustického a světelného prostředí. Z pohledu větrání a chlazení je akustika podstatná problematika, jelikož se zde nachází hodně mechanických zařízení s nezanedbatelným akustickým výkonem jako např. ventilátor, kompresor, čerpadlo. Tento hluk, a nejen ten, může být dále přenášen do prostorů s pobytem lidí vzduchem a/nebo konstrukcemi. V případě přirozeného větrání může docházet k nárůstu hluku z vnějšího prostředí skrze větrací otvory.

Je tedy patrné, že pro různé budovy a jejich provoz máme různé požadavky na jejich vnitřní prostředí. Tyto požadavky jsou mimo jiné dány legislativou, která se průběžně mění buď kvůli rostoucím požadavkům na vnitřní prostředí nebo kvůli snižování energetické náročnosti budov.

1.1 Požadavky na vnitřní prostředí u administrativních budov

U požadavků na vnitřní prostředí administrativních budov se vychází v rámci větrání a chlazení především z legislativních předpisů jako je nařízení vlády č.361/2007 Sb. týkajících se podmínek ochrany zdraví při práci, č.268/2009 Sb. ohledně technických požadavků na stavbu a č.272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Tyto požadavky jsou povinné a musí se tedy při návrhu dodržovat,

¹ DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. Praha: Česká technika, ©2013, s. 3. ISBN 978-80-01-05181-8

Jako další může být vycházeno z norem, které sice nejsou povinné, nicméně je vhodné se některými řídit například z hlediska soudních sporů, kdy může být k těmto normám přihlíženo.

Požadavky legislativních předpisů

U nařízení č.361/2007 Sb. je vycházeno z tzv. tříd prací a kategorií, kde pracovní prostředí u administrativních budov spadá pod třídu práce I a kategorii A.

- Na pracovišti musí být zajištěna dostatečná výměna vzduchu přirozeným, nuceným nebo kombinovaným způsobem
- Proudění vzduchu musí zabezpečovat dobré provětrávání pracoviště a nesmí přispívat k šíření škodlivin na jiné pracoviště
- Vzduch přiváděný na pracoviště vzduchotechnickým zařízením musí obsahovat takový podíl venkovního vzduchu, který postačuje pro snížení koncentrace chemické látky pod hodnotu přípustného expozičního limitu i nejvyšší přípustné koncentrace a prachu pod hodnotu přípustného expozičního limitu. Množství přiváděného venkovního vzduchu na jednoho zaměstnance však nesmí být nižší než množství upravené v § 41 odst. 2 až 4. Větrací zařízení nesmí nepříznivě ovlivňovat mikrobiální čistotu vzduchu a musí být upraveno tak, aby zaměstnanci nebyli vystaveni průvanu. Při nuceném větrání musí být přiváděný vzduch filtrován a v zimě ohříván. Oběhový vzduch musí být vyčištěn tak, aby zpětný vzduch přiváděný na pracoviště neobsahoval chemickou látkou nebo prach v koncentraci vyšší než 5 % jejich přípustného expozičního limitu. Při použití teplovzdušného větrání nebo klimatizace nesmí podíl venkovního vzduchu poklesnout pod 15 % celkového množství přiváděného vzduchu²
- Pobytové místnosti musí mít možnost regulace vnitřní teploty
- Komunikační prostory musí být odvětrávány

Tab. č. 1 Příпустné hodnoty vnitřního prostředí²³⁴

		Požadavek	Legislativa	Poznámky
Min. operativní teplota		24,5±1 °C	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	Třída I, kategorie A, při nastavení chlazení
Max. operativní teplota		27 °C	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	Třída I, kategorie A
Relativní vlhkost		30-70 %	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	
Rychlost proudění vzduchu		0,05-0,2 m/s	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	
Max. rozdíl operativních teplot mezi hlavou a kotníkem	24 °C	2,5 °C	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	Kategorie A, B
	25 °C	3,5 °C		
	26 °C	4,5 °C		
	27 °C	5,5 °C		
Max. rozdíl mezi operativní teplotou v úrovni hlavy vůči teplému povrchu	24 °C	3,9 °C	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	Kategorie A, B
	25 °C	2,9 °C		
	26 °C	1,9 °C		
	27 °C	0,6 °C		
Min. výměna vzduchu na osobu		25 m ³ /h.os	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	Třída I
Výměna vzduchu na	1 šatnu	20 m ³ /h	Č.361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů	
	1 umyvadlo	30 m ³ /h		
	1 sprchu	150-200 m ³ /h		
	1 záchod	50 m ³ /h		
	1 pisoár	25 m ³ /h		
Min. výměna vzduchu v pobytové místnosti		0,5 h ⁻¹	Vyhláška č.268/2009 Sb. ve znění vyhl. č.20/2012	
Max. koncentrace CO₂		1500 ppm	Vyhláška č.268/2009 Sb. ve znění vyhl. č.20/2012	
Max. ekv. Hladina akustického tlaku		50 dB	Nařízení vlády č.272/2011 Sb.	Při stálém provozu

² ČESKO. Zákon č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví při práci. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2007. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>

³ ČESKO. Vyhláška č. 268/2009 Sb. ze dne 12. srpna 2009 o technických požadavcích na stavby. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2009. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268?text=268%2F2009>

⁴ ČESKO. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2011. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>

Požadavky norem

Mezi vybranými normami je ČSN EN ISO 7730, která se zabývá hodnocením tepelného komfortu pomocí výpočtových ukazatelů PMV a PPD. Tyto ukazatele spolu s operativní teplotou a střední rychlostí proudění vzduchu stanovují kategorie tepelné kvality vnitřního prostředí s ohledem na typ prostředí a druh činnosti. Tyto kategorie jsou A, B a C.

A jako další vybraná norma je ČSN EN 16 798-1, která vychází z výše uvedené normy a z nařízení vlády č.272/2011 Sb. Ta zavádí 4 kategorie v rámci tepelného komfortu I-IV. Kategorie I=Vysoká úroveň očekávání-prostory s velmi citlivými osobami, kategorie II=běžná úroveň očekávání-pro nové budovy a rekonstrukce.

Tab. č. 2 Doporučené hodnoty vnitřního prostředí⁵

	Doporučené hodnoty	Legislativa	Poznámky
Teplotní rozsah operativní teploty	23,5-25,5 °C 23-26 °C	ČSN 16 798	Kategorie I Kategorie II
Relativní vlhkost	30-50 % 25-60 %	ČSN 16 798	Kategorie I Kategorie II
Výměna vzduchu na osobu	10 l/s 7 l/s	ČSN 16 798	Kategorie I Kategorie II
Maximální rychlost vzduchu	0,12 m/s 0,19 m/s	ČSN 16 798	Kategorie I Kategorie II V případě $t_i > 25^\circ\text{C}$, preferují se rychlosti vyšší
Min. výměna vzduchu v místnosti	0,7 h ⁻¹ 0,6 h ⁻¹	ČSN 16 798	Kategorie I Kategorie II
Rozdíl koncentrací CO₂ s venkovním prostředím	550 ppm 800 ppm	ČSN 16 798	Kategorie I Kategorie II

⁵ ČSN EN 16 798. Energetická náročnost budov – Větrání budov – Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. Třídící znak 127027

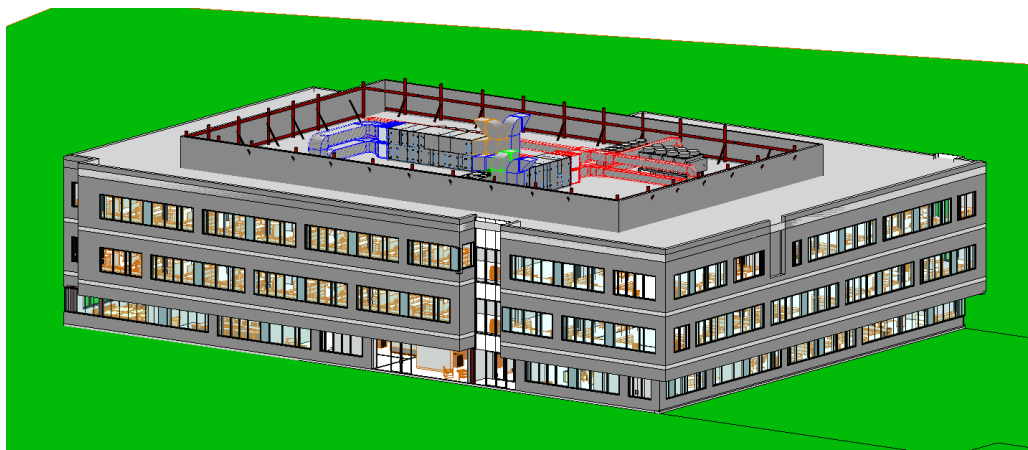
2 Studie chlazení administrativní budovy

Tato část se bude zabývat konkrétní administrativní budovou, u které bude popsán její stav po stránce stavební a dispoziční. Budou stanoveny návrhové podmínky a dále proveden výpočet tepelných zisků.

Tyto podklady nadále poslouží pro koncepční návrh čtyř vybraných systémů chlazení, které budou popsány, základními výkresy zpracovány a nakonec provozně, ekonomicky a uživatelsky porovnány.

Porovnání se bude týkat pouze letního období pro potřebu chlazení. Pro toto vyhodnocení je tedy v rámci diplomové práce kompletně vynechána potřeba vytápění, u kterého bude uvažováno zajištění jiným samostatným systémem.

2.1 Popis budovy



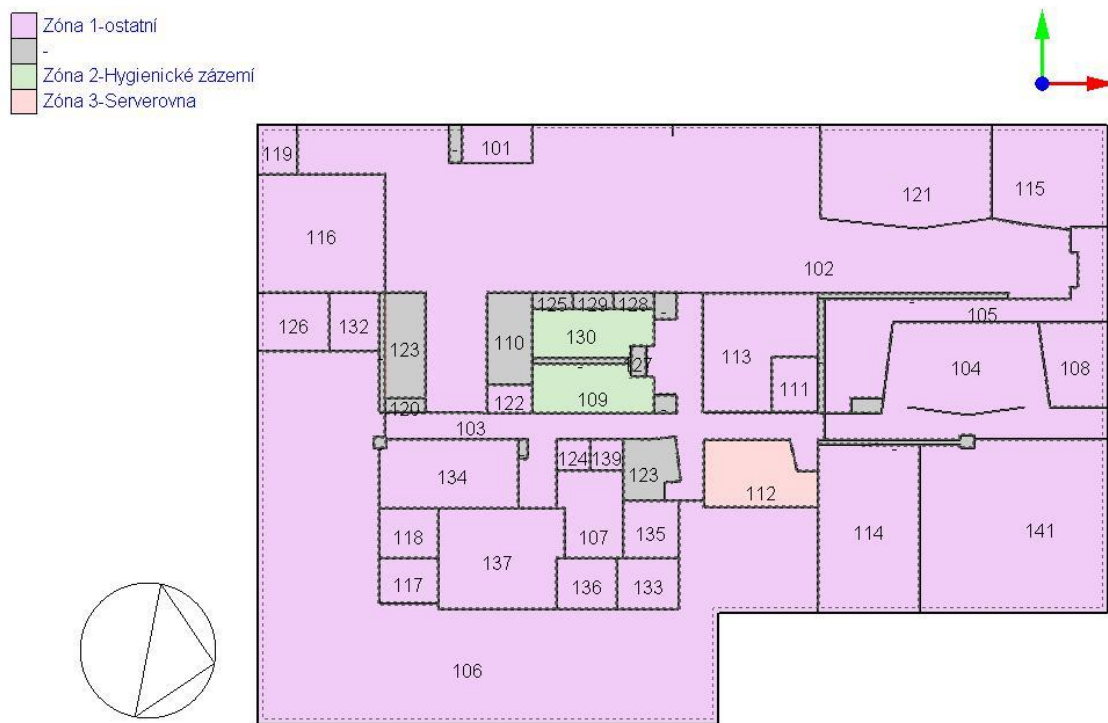
Obr. č. 1 3D pohled administrativní budovy

Jedná se o středně velkou administrativní budovu na okraji Praha-Západ situované na rovinném nezastavěném území s hlavní fasádou orientovanou na západ.

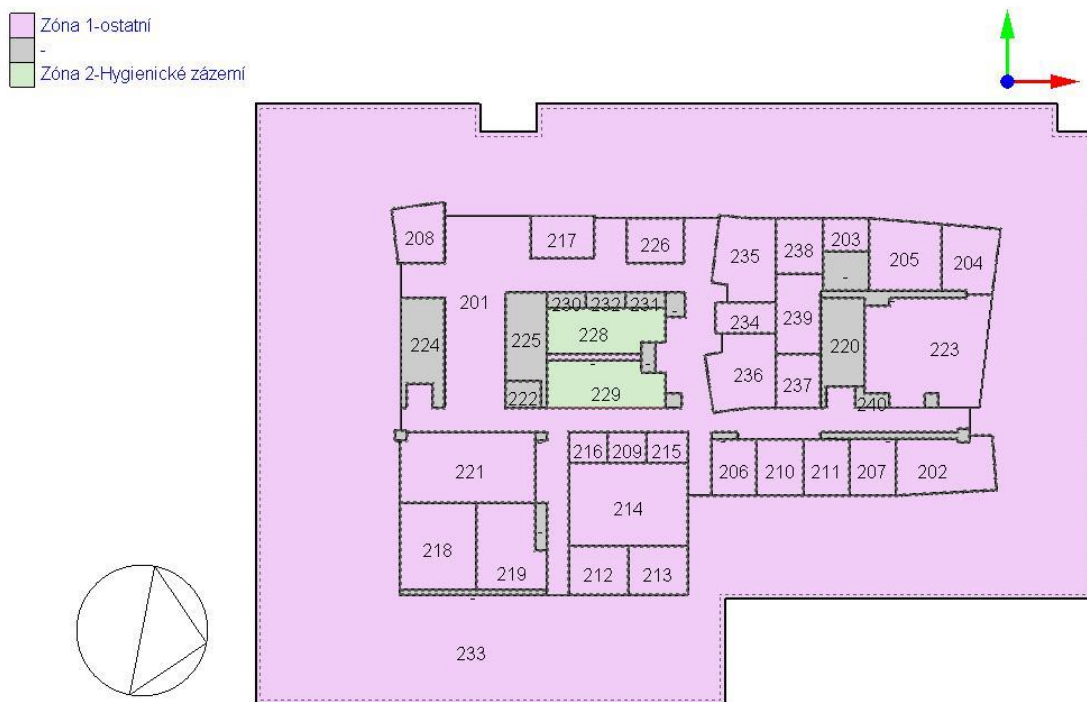
Budova má 3 nadzemní patra. V 1.NP se nachází při vstupu velké atrium s recepcí a výtahy, dále několik konferenčních místností, menší open-space kancelář, samostatné kanceláře, jídelna, kuchyňka, serverovna, archívy, toalety a komory pro uskladnění věcí. Podlaží 2.NP a 3.NP jsou téměř identické a oproti 1.NP se liší převážně prostorem kancelářských open-space, která se zde nachází po celém obvodu budovy. Jsou zde menší konferenční místnosti, toalety, archívy, kuchyňka, menší jídelna a komory pro uskladnění věcí. Světlé výšky podlaží jsou 3,6 m.

Střešní prostor je nevyužitý z důvodu umístění technických zařízení.

Přiloženy jsou schémata 1NP a 2NP se zónováním. 3NP je identické jako 2NP.



Obr. č. 2 Zónování 1NP



Obr. č. 3 Zónování 2NP

2.2 Výpočet tepelné zátěže

Vzhledem k chybějící projektové dokumentaci byly v rámci diplomové práce použity pro konstrukce doporučené hodnoty součinitelů prostupů tepla.

Pro výpočet tepelné zátěže byl použit simulační software DesignBuilder, kde byl vytvořen model budovy a provedena simulace chlazení pro letní období.

Výstupem je celkové množství energie potřebné k chlazení v letním období, maximální výkony pro chlazení citelného tepla pro každou místnost a maximální výkon chlazení pro celou budovu v jednu konkrétní nejkritičtější hodinu.

Vstupní data byla uvažována následující.

Tab. č. 3 Základní údaje pro výpočet v DesignBuilderu

Základní údaje	
Umístění	Praha/Ruzyně
Fasáda se vstupem orientovaná na západ od severu o úhel	101°
Výpočtová teplota	24°C a 26°C

Tab. č. 4 Součinitele prostupů tepla konstrukcí

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla W/(m ² .K)
Stěna vnější	0,25
Strop	0,7
Střecha	0,16
Příčka	0,9
Okno	0,8

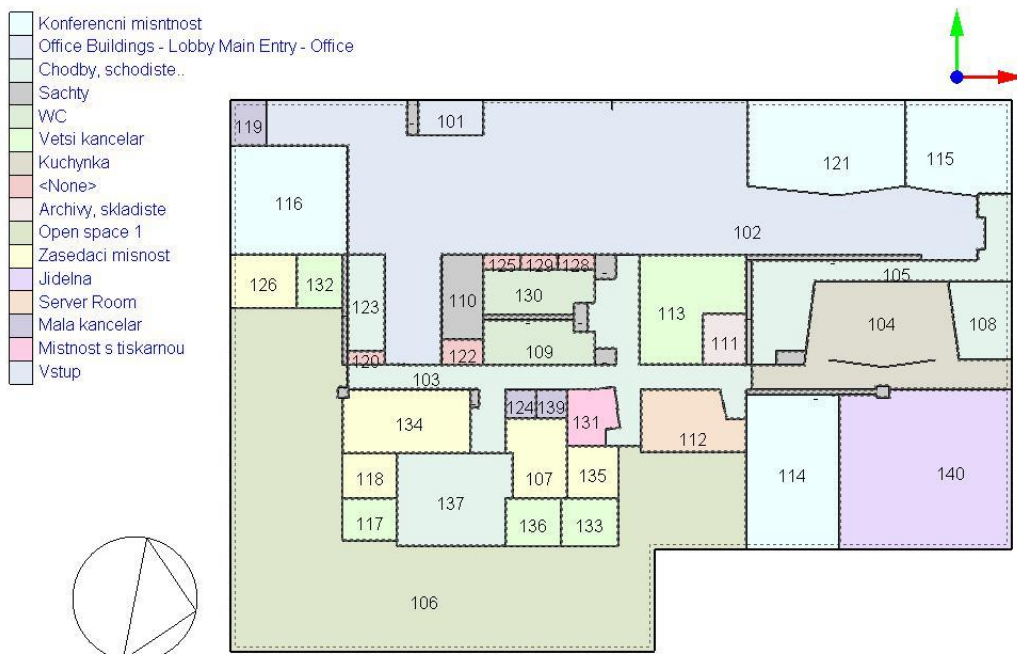
Tab. č. 5 Vnitřní tepelné zisky od zdrojů

Tepelné zisky		Poznámky
Citelné teplo od lidí	74 W/os	
Osvětlení	25 W/m ²	Zářivky
Počítač	105 W	Provoz
Monitor	50 W	LCD
Velký kopírovací stroj	1100 W	
Velká tiskárna	550 W	Laserová
Malá stolní tiskárna	130 W	Laserová

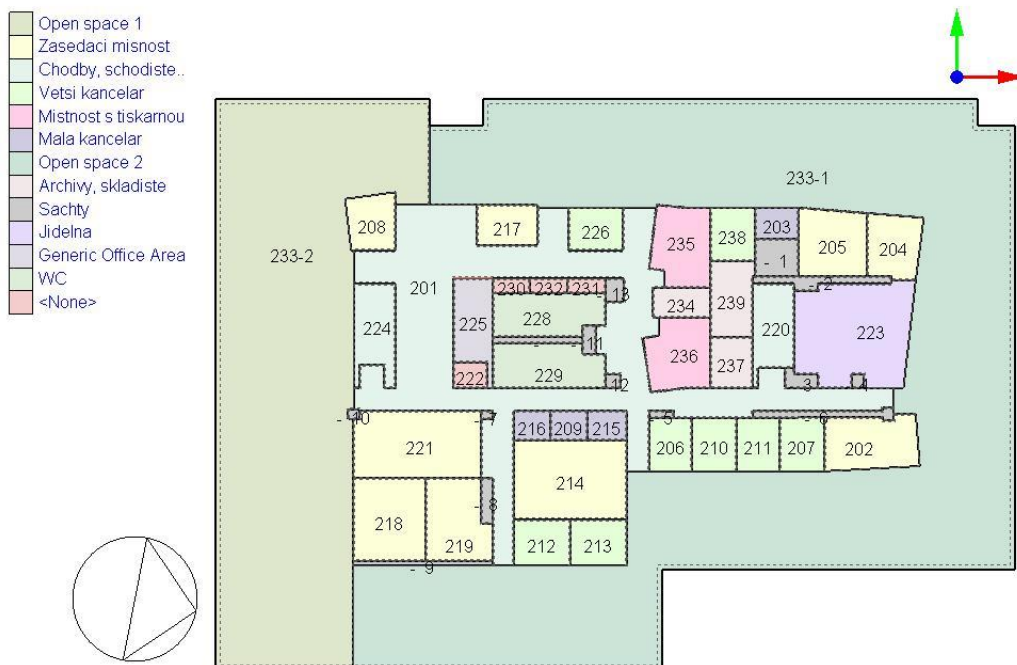
Pro všechna okna byly nastaveny vnější světlé žaluzie s automatickým nastavováním podle polohy slunce.

U všech místností byla zvolena vnitřní teplota vzduchu 24°C (pro systém s chladícími stropy 26°C) kromě serverovny v 1NP, kde byla teplota zvolena 22°C.

Pro jednotlivé místnosti byly na základě způsobu provozu zvoleny odpovídající šablony. Aby šablony odpovídaly co nejlépe skutečnému provozu, byly pro každou šablonu v každé místnosti doupřevyzeny hodnoty tepelných zisků od kancelářského vybavení, osvětlení, cateringu a počtů osob. U osob byly spočteny tepelné zisky na základě šablonou určujících typů aktivit v dané místnosti.

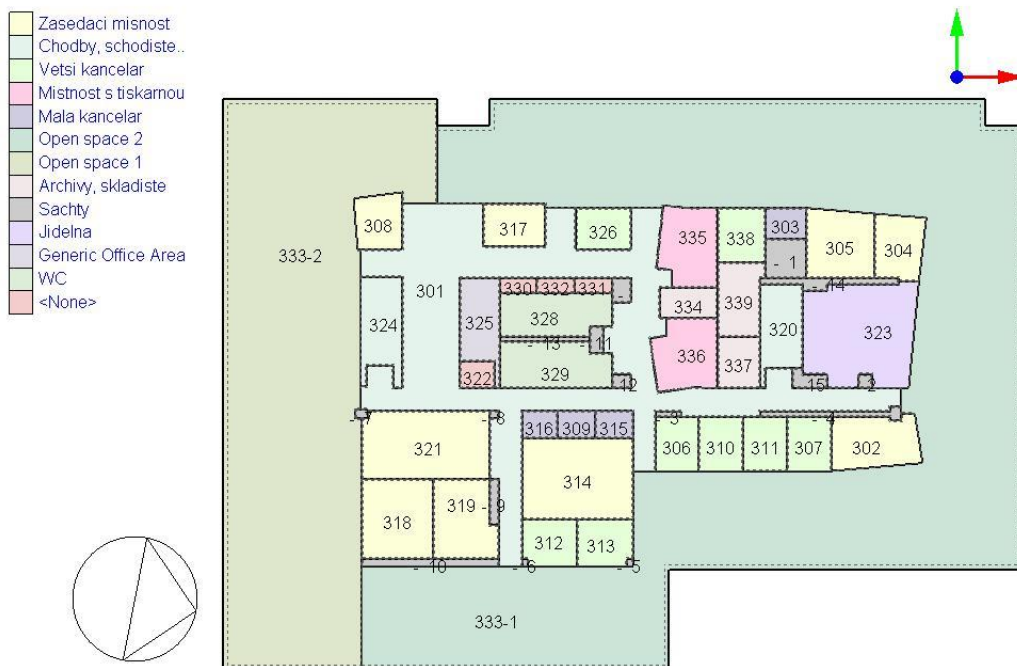


Obr. č. 4 1NP modelu v DesignBuilderu



Obr. č. 5 2NP modelu v DesignBuilderu

Místnost 233 a 333 byla pro výpočet rozdělena do dvou zón z důvodu větších slunečních zisků z jižní fasády u zóny 233-2 a 333-2.



Obr. č. 6 3NP modelu v DesignBuilderu

Výpočet proběhl pro letní období od 15.5 do 30.9. V případě největších celkových tepelných zisků budovy se jedná o den 8.7 a 14:00 hodin s celkovou citelnou tepelnou zátěží 232,96 kW. (210,57 kW pro systém s chladicími stropy)

Podrobné výpočty jsou v příloze.

2.3 Vybrané varianty chladících systémů

Princip systémů chlazení spočívá o dopravení chladu teplonosnou látkou do chlazeného prostoru ke koncovému distribučnímu prvku. Je zde hned několik variant, jakým způsobem toho lze dosáhnout.

Jako hlavní teplonosné látky rozlišujeme:

- Vzduch
- Voda
- Chladivo

Těmto jednotlivým teplonosným látkám kvůli jejich různým fyzikálním vlastnostem odpovídají konkrétní koncové distribuční prvky, kterými chlad předáváme do chlazeného prostředí. Na tomto základě také rozlišujeme jednotlivé chladící systémy.

Vzduchové systémy - jednozónové, vícezónové

- Jednokanálový systém s konstantním průtokem vzduchu

- Jednokanálový systém s proměnným průtokem vzduchu
- Dvoukanálový systém s konstantním průtokem vzduchu

Vodní systémy vícezónové

- Systém s ventilátorovými konvektory
- Systém s chladíci plochami

Kombinovaný indukční systém vzduch – voda, vícezónový

- Systém s indukčními jednotkami

Chladivové systémy jedno i vícezónové

- Jednozónový systém (split)
- Vícezónový systém (multisplit)⁶

Všechny tyto systémy mají své výhody a nevýhody. Jde například o velikosti potrubí dopravované teplotně nosné látky, které je u všech výše zmíněných látek z důvodů různé měrné tepelné kapacity jiný, o výkony koncových prvků, komfortu v chlazeném prostředí a její dynamice regulace či investičních a provozních nákladů.

Pro návrh a porovnání byly vybrány tyto systémy:

- Vodní systém s ventilátorovými konvektory
- Vodní systém s chladíci plochami
- Kombinovaný indukční systém vzduch voda
- Chladivový systém VRF/VRV

2.3.1 Vodní systém s ventilátorovými konvektory

Systém s ventilátorovými konvektory jinak známými jako fan-coily se používají u vícezónového chlazení s individuální potřebou vnitřní teploty.

Jedná se o systém s převážně velkými výkony ale také s velkou energetickou spotřebou. Systém je založen na dopravování chlazené vody dvoutrubkovým (nebo čtyřtrubkovým i pro vytápění) rozvodem od zdroje chladu k vnitřním fan-coil jednotkám. Tyto jednotky jsou specificky vloženy do ventilátoru, který cirkuluje vnitřní vzduch skrze tepelný výměník umístěný uvnitř jednotky. To umožňuje přivádět do chlazeného prostoru pouze hygienické množství venkovního vzduchu a šetřit tím jak výkon

⁶ DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020, s. 72-73. ISBN 978-80-01-06736-9

vzduchotechnické jednotky, tak vícerozměrné potrubí. Kromě těchto částí se v jednotce nachází také filtr, který čistí cirkulační vzduch v místnosti.⁷

Do některých jednotek je také možné přivádět venkovní vzduch. Ten se nejčastěji upravuje v centrální vzduchotechnické jednotce přibližně na teplotu vnitřního vzduchu, který se pak dopravuje do směšovací komory fan-coilu pro venkovní a cirkulační vzduch. Doporučení se klade na podíl venkovního vzduchu minimálně 15%.⁸

V případě užití jednotek bez přívodu venkovního vzduchu je nutné mít další samostatný systém na jeho přívod. Tento vzduch se také nejčastěji přivádí při teplotě vnitřního vzduchu. Je však možné přivádět vzduch chladnější a pomoci tak fan-coil jednotkám při chlazení.

Regulace je zde „dvojitá“ a to za pomoci kvalitativního spíše však ale kvantitativního řízení průtoku chlazené vody a dalším způsobem řízením otáček ventilátoru. Ty bývají dvoje nebo troje různé.⁹

Výhody

- Vysoké výkony
- Dynamická regulace
- Menší jednotky
- „Chytré jednotky“ s čidlem na usměrnění vzduchu
- Možnost přivádět venkovní vzduch v potřebném hygienickém množství

Nevýhody

- Nutný odvod kondenzátu, který se na chladicím výměníku tvoří z důvodů nízkých teplot chladicí vody
- S kondenzací je také spojena zvýšená potřeba chladicího výkonu v rámci latentního tepla
- Riziko nedodržení hlukových parametrů kvůli ventilátorům jednotek.
- Výměna filtrů
- Vyšší cena za energie kvůli ventilátorům jednotek
- Potřeba napojení na elektrickou energii
- Vyšší investiční náklady

⁷ DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020, s. 82-83. ISBN 978-80-01-06736-9

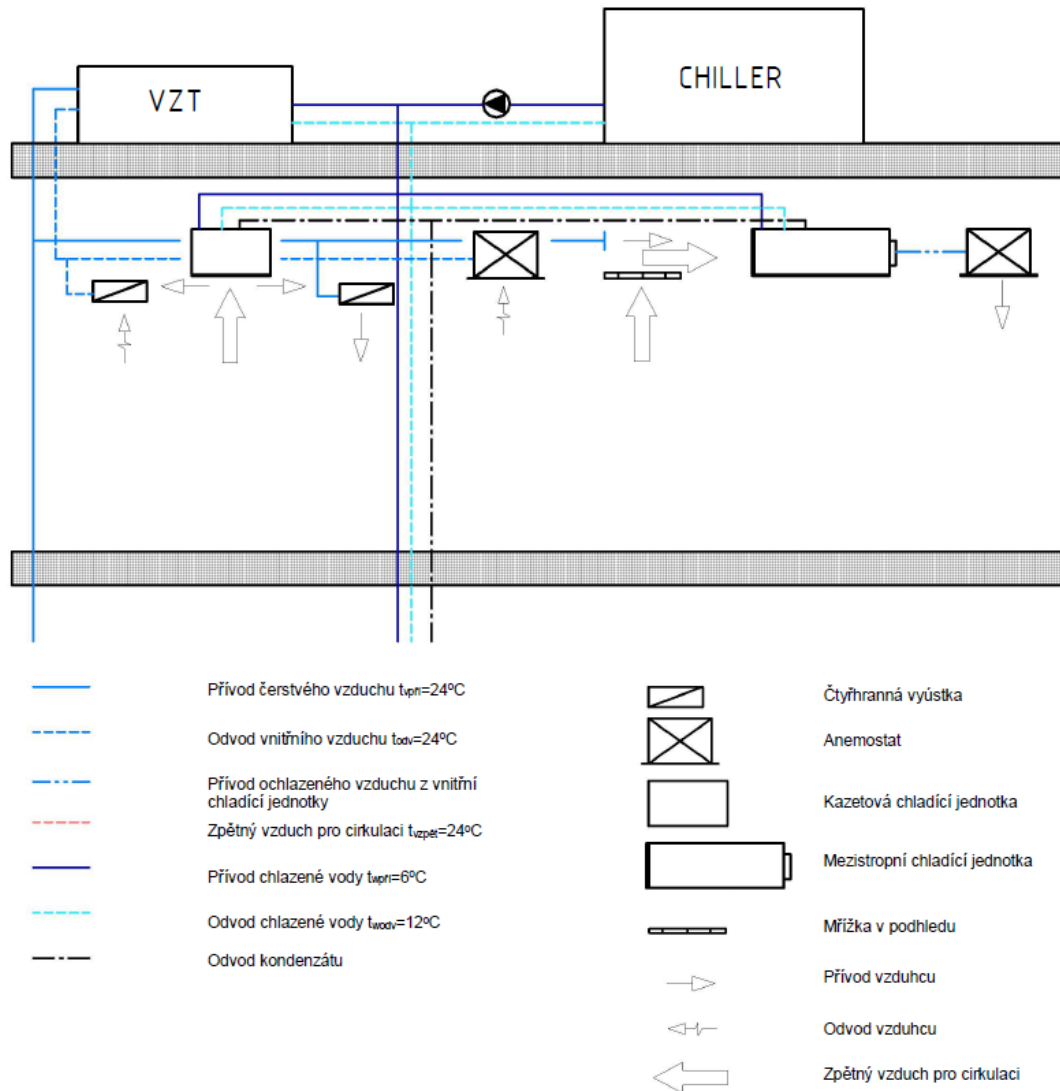
⁸ DRKAL, LAIN a ZMRHAL, pozn. 8, s 82-83

⁹ DRKAL, LAIN a ZMRHAL, pozn. 8, s. 84-85

2.3.1.1 Technické požadavky a parametry systému

- Odvod kondenzátu
- Pracovní rozdíl teplot vzduchu max 10–12 K (V případě anemostatů)
- Návrh útlumu hluku v případě jednotek vyšších výkonů
- Přívod a odvod chlazené vody
- Připojení k elektrické síti (230V)
- Výměna filtrů
- Nutnost přívodu venkovního vzduchu dalším systémem, pokud to vnitřní jednotka neumožňuje
- Dodržet minimální poměr 15% venkovního vzduchu
- Volí se nízké teploty chlazené vody. Například 6-12 K.

2.3.1.2 Koncepční schéma



Obr. č. 7 Schéma systému s ventilátorovými konvektory

Zdroj chlazení tvoří centrální kompresorové jednotky umístěné na střeše. Ty budou upravovat teplotu chladicí vody na 6°C . Teplotní spád chladicí vody je uvažován $6-12^{\circ}\text{C}$. Tato chladicí voda je dále dvoutrubkovým rozvodem dopravena do vzduchotechnické jednotky taktéž umístěné na střeše a dále do vnitřních chladících jednotek. Vzduch ve vzduchotechnické jednotce je upravován na 24°C . Systém je navržen jako vícezónový s kvantitativní regulací.

Pro koncepční návrh byly zvoleny jednotky od výrobce Daikin.

Pro větší místnosti s většími výkony a větším důrazem na tepelný komfort byly použity mezistropní fan-coil jednotky s tzv. plenum boxem, do kterého je přiváděn jak upravený venkovní vzduch, tak cirkulační vzduch z místnosti. Vzduch je pak dále rozváděn potrubím k anemostátům. Pro další

místnosti z důvodů menších potřebných výkonů, menších prostorů a menších požadavků na tepelný komfort byly zvoleny kazetové a nástěnné jednotky.

Koncepční výkresy jednotlivých podlaží jsou v příloze.

2.3.1.3 Investiční a provozní náklady

V rámci porovnání se jedná pouze o hrubě naceněné investiční i provozní náklady bez montážních prací a bez DPH. Pro výpočet bylo využito simulačního softwaru DesignBuilder, norem ČSN 73 0331-1:2020 a ČSN EN 16 798-3, vypracovaného modelu v programu Revit a dostupných dat poskytnutých od výrobců.

Tab. č. 6 Investiční náklady systému s ventilátorovými konvektory

Investiční náklady	[Kč]
Potrubí VZT	2 226 232
Vyústky VZT	415 176
Vzduchotechnické jednotky	3 100 000
Potrubí chlazení	230 768
Vnitřní chladicí jednotky a příslušenství	2 666 630
Kompresorová chladicí jednotka a příslušenství	2 093 680
Celkem	10 732 486

Tab. č. 7 Provozní náklady systému s ventilátorovými konvektory

Provozní náklady chlazení/rok	[MWh]	[Kč]
Celkové chlazení	60,36	350 692
Pomocné energie chlazení (ventilátory, čerpadla)	8,49	49 327
Údržba vnitřních jednotek	-	46 800
Vzduchotechnické jednotky	21,19	123 114
Celkem	90,04	523 133

2.3.2 Vodní systém s chladícími plochami

Princip tohoto systému je založen na ochlazované ploše pomocí rozvedených smyček potrubí s chladící vodou. To má za následek sálavé sdílení chladu s okolními povrchy a tím zajišťující značný tepelný komfort. Tato složka sdílení tepla se ze studií ukázala být velmi důležitá, a proto se dnes tepelný komfort hodnotí operativní teplotou, která mimo teplotu vzduchu uvažuje ještě teplotu sálajících okolních ploch a rychlost proudícího vzduchu. Z tohoto důvodu se také doporučuje uvažovat návrhovou teplotu vzduchu až o 2 K vyšší než, když se uvažuje u klasických konvekčních systémů. Mimo tuto sálavou složku dochází dále k přenosu tepla také pomocí přirozené

konvekce, kdy teplý vzduch proudí díky nízké měrné hmotnosti vzhůru, kde se o chladící plochu ochladí a klesá k podlaze.¹⁰

Riziko však představuje nebezpečí kondenzace vodní páry, kdy systém neumožňuje odvod kondenzátu. Naopak hrozí orosování těchto chladících ploch, což je nežádoucí. Z tohoto důvodu se musí vstupní teplota chladící vody volit alespoň 1 K nad teplotou rosného bodu v místnosti. Nejčastěji se tato teplota volí $t_{wpřív} \geq 16^\circ\text{C}$. Nejvíce toto riziko hrozí u těžkých chladících stropů, kdy je těžké reagovat na zvýšenou relativní vlhkost. Naopak u lehkých systémů je možné pomocí čidel relativní vlhkosti včas zasáhnout, aby teplota panelu neklesla pod teplotu rosného bodu.^{11 12}

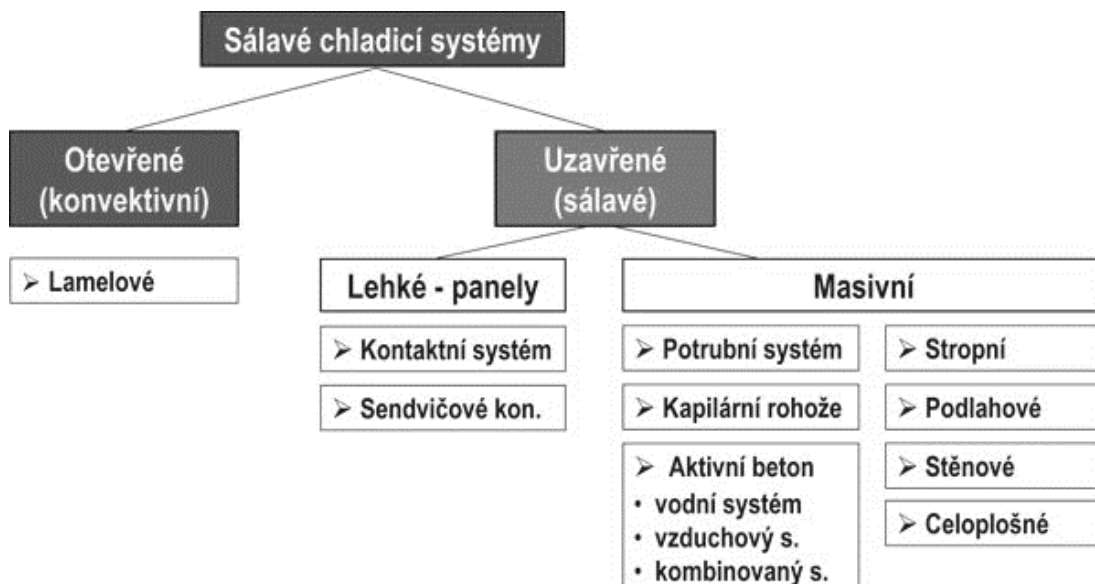
Právě jedním z důvodů potřeby dalšího samostatného systému nuceného větrání je mimo to, že vodní systém s chladícími plochami neumožňuje přívod venkovního vzduchu, nutnost odvádět vázané teplo z vnitřního prostředí a přivádět nejlépe odvlhčený venkovní vzduch. V případě přívodu venkovního vzduchu se tedy může jednat jen o přívod nejmenšího hygienického množství o teplotě, která může být rovna teplotě vnitřního prostředí. Je ale možné přivádět vzduch nižších teplot, což může mít výhodu více odvlhčeného vzduchu anebo zvýšení výkonu chlazení v případě nedostačujícího výkonu chladících ploch.

Pro vodní systém s chladícími plochami máme tato rozdělení:

¹⁰ DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020, s. 92-93. ISBN 978-80-01-06736-9

¹¹ DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020, s. 93. ISBN 978-80-01-06736-9

¹² ZMRHAL, Vladimír. Hodnocení tepelného komfortu v prostoru s chladícím stropem. *Vytápění, větrání, instalace*. 2004, roč. 13, č. 4, s. 149-152. ISSN 1210-1389



Obr. č. 8 Typy chladících ploch¹³

Výhody

- Velmi nízká energetická náročnost
- Téměř bezhlučný
- Velmi dobrý tepelný komfort
- Přirozená konvekce bez průvanu
- Vyšší teploty chladící vody a s tím spojená nižší energetická náročnost a nepotřeba řešit kondenzát
- Bezúdržbovost

Nevýhody

- Velké investiční náklady
- Nemožnost přivádět vzduch bez dalšího systému
- Nutnost odvádět vázané teplo
- Vyšší teploty chladící kvůli kondenzaci vodních par a s tím spojené menší výkony
- Menší výkony. Ty se pohybují od 30-90 W/m²
- Vyšší nároky na stropní/podhledovou dispozici
- Horší dynamická odezva systému při regulaci
- Větší tlakové ztráty u potrubí chladící vody

¹³ ZMRHAL, Vladimír. Otevřené – konvektivní chladící stropy. *Vytápění, větrání, instalace*. 2009, roč. 18, č. 2, s. 118. ISSN 1210-1389

Pro uvedení příkladu se zde nabízí velmi zajímavé užití stropního chlazení v případě budovy NTK – Národní technické knihovny.

Budova zde pro chlazení (a vytápění) využívá ve 3. až 6. NP vysoké akumulace chladu do svých masivních betonových konstrukcí. Uprostřed stropní desky je uprostřed ve vzdálenosti 150 mm od povrchu desky uložen trubní systém s chladicí/vytápěcí vodou se 150 mm roztečí. Potrubí je plastové o průměrech 20 x 2 mm a 17 x 2 mm, které je zde položeno včetně vyztužení desky. Toto umožňuje tzv. aktivaci betonového jádra. Principem je zde noční předchlazení a naakumulování chladu do masivních betonových konstrukcí, které přes den chladí sáláním a vybíjí se. Aktivní plocha chlazení zabírá až 71 % celkové stropní plochy a výkon odpovídá 40 W/m². Chladicí voda má teplotní spád 18/21°C.¹⁴



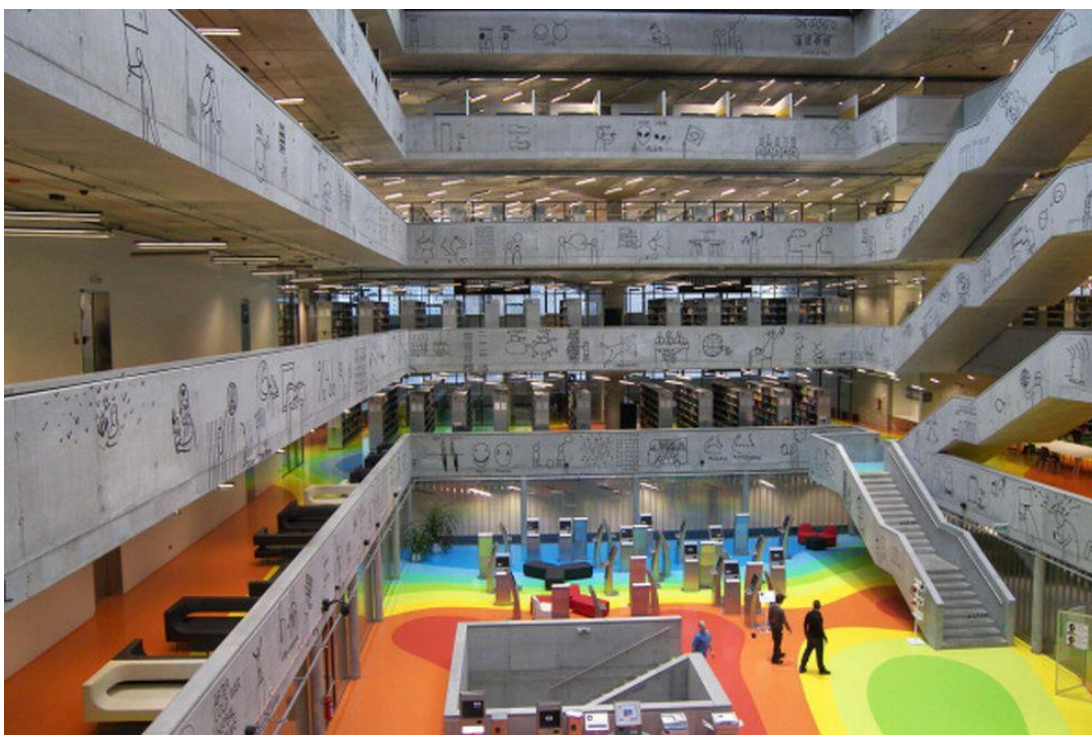
Obr. č. 9 Rozvody potrubí mezi armaturami nezalitě stropní desky budovy NTK¹⁵

Během chlazení je omezen větrací vzduch na hygienické minimum 25 m³/h. V prostorách knihoven je větrací vzduch přiváděn a odváděn přes

¹⁴ ZMRHAL, Vladimír a Miloš LAIN. Národní technická knihovna od návrhu k provozu. *Stavebnictví*. 2016, č. 01-02, s. 35. ISSN 1802-2030

¹⁵ LEŠEK, Petr a Jan ŽEMLIČKA. Národní technická knihovna. In: Jaga Media. *Asb-portal.cz*. [online]. 22. června 2009 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://www.asb-portal.cz/architektura/obcanske-stavby/narodni-technicka-knihovna-vpraze>

atrium. Budova je také díky dobře provětrávané fasádě a otevíratelnými okny schopna přirozeného větrání či nočního chlazení větráním, a to přes vnitřní centrální atrium, které umožňuje dostatečné tlakové poměry.¹⁶



Obr. č. 10 Atrium budovy NTK¹⁷

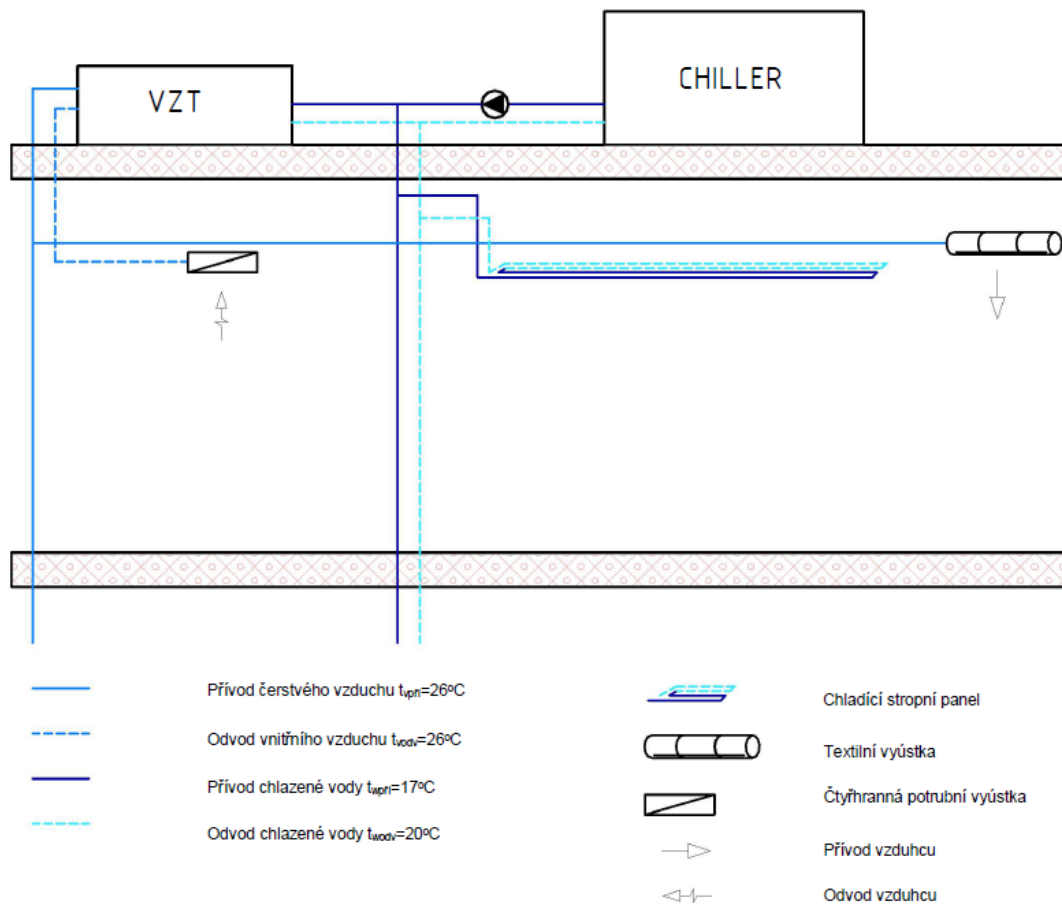
2.3.2.1 Technické požadavky a parametry systému

- Teplota přívodní vody nad teplotou rosného bodu (vysokoteplotní chlazení)
- Nutnost odvádět vázané teplo a kontrolovat její množství
- Přívod a odvod chlazené vody
- Nutnost přívodu venkovního vzduchu dalším systémem

¹⁶ ZMRHAL, Vladimír a Miloš LAIN. Národní technická knihovna od návrhu k provozu. *Stavebnictví*. 2016, č. 01-02, s. 35. ISSN 1802-2030

¹⁷ Národní technická knihovna v Praze 6 - Dejvicích. In: CzechTourism. *Kudyznudy.cz*. [online]. [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://www.kudyznudy.cz/aktivity/narodni-technicka-knihovna-v-praze-6-dejvicich>

2.3.2.2 Koncepční schéma



Obr. č. 11 Schéma systému s chladícími plochami

Zdroj chlazení tvoří centrální kompresorové jednotky umístěné na střeše. Ty budou upravovat teplotu chladící vody na 17°C . Teplotní spád chladící vody je uvažován $17-20^{\circ}\text{C}$. Tato chladící voda je dále dvoutrubkovým rozvodem dopravena do vzduchotechnické jednotky taktéž umístěné na střeše a dále do vnitřních chladících jednotek. Jelikož chladící panely pokryjí veškeré tepelné ztráty celého objektu, je vzduch ve vzduchotechnické jednotce je upravován na 26°C . Byl proto potřeba provést nový výpočet tepelné zátěže oproti předchozí výpočtové vnitřní teplotě vzduchu 24°C . Systém je navržen jako vícezónový s kvantitativní regulací.

Pro koncepční návrh byly zvoleny chladící panely od výrobce Lindab.

Konceptní výkresy jednotlivých podlaží v příloze.

2.3.2.3 Investiční a provozní náklady

V rámci porovnání se jedná pouze o hrubě naceněné investiční i provozní náklady bez montážních prací a bez DPH. Pro výpočet bylo využito simulačního softwaru DesignBuilder, norem ČSN 73 0331-1:2020 a ČSN EN 16 798-3, vypracovaného modelu v programu Revit a dostupných dat poskytnutých od výrobců.

Tab. č. 8 Investiční náklady systému s chladícími plochami

Investiční náklady	[Kč]
Potrubí VZT	1 743 692
Vyústky VZT	521 844
Vzduchotechnické jednotky	3 100 000
Potrubí chlazení	247 536
Vnitřní chladící jednotky a příslušenství	9 736 188
Kompresorová chladící jednotka a příslušenství	1 777 980
Celkem	17 127 240

Tab. č. 9 Provozní náklady systému s chladícími plochami

Provozní náklady chlazení/rok	[MWh]	[Kč]
Celkové chlazení	40,25	233 853
Pomocné energie chlazení (čerpadla)	1,62	9 412
Vzduchotechnické jednotky	21,19	123 114
Celkem	63,06	366 379

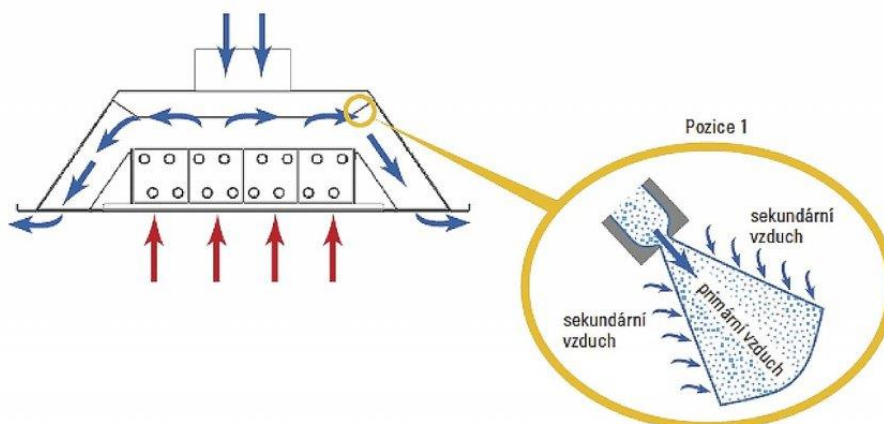
2.3.3 Systém vzduch-voda s indukčními jednotkami

Princip tohoto vícezónového systému je založen na specifičnosti jeho koncového prvku zvaného indukční jednotka jinak řečeno aktivní chladící trámeč.

Tato koncová jednotka využívá takzvaného primárního vzduchu ze vzduchotechnické jednotky, který je pod tlakem tryskou distribuován do vnitřního prostředí. Primární vzduch je venkovní vzduch upravený ve vzduchotechnické jednotce a je přiváděn v potřebném hygienickém množství do indukční jednotky. Vzduch se celoročně upravuje na konstantní teplotu nejčastěji 15-16°C. Poté, co je primární vzduch prohnán tryskou, je ejekčním způsobem nasáván sekundární (vnitřní) vzduch skrz vnitřní tepelný výměník. Sekundární vzduch tvoří dvou až šestinásobek vzduchu

primárního. Teplota chladicí vody se volí taková, aby povrchová teplota výměníku neklesla pod teplotu rosného bodu. Volí se obvykle $t_{wpřiv} \geq 16^{\circ}\text{C}$.¹⁸

V případě krátkodobé kondenzace bývají někdy jednotky vybaveny vanou na kondenzát.



Obr. č. 12 Schéma principu indukční jednotky¹⁹

Výhody

- Vnitřní cirkulace vzduchu za pomoci ejekčního účinku bez užití ventilátoru
- Tichý chod při dobrém návrhu jednotky
- Nízká energetická náročnost systému.
- Dynamická regulace
- Není potřeba napojení jednotky na elektrickou síť
- „Bezúdržbovost“
- Přívod venkovního vzduchu v hygienickém množství

Nevýhody

- Vyšší tlaková ztráta
- Vyšší teploty chladicí vody z důvodu rizika kondenzace
- Větší nároky na dispozici

¹⁸ DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020, s. 100-101. ISBN 978-80-01-06736-9

¹⁹ HEJHÁLEK, Jiří. Indukční jednotky MINIB – účinné a efektivní chlazení, topení a větrání. In: VEGA spol. *Stavebnictví3000.cz*. [online]. Únor 2017 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/indukcni-jednotky-minib-ucinne-a-efektivni-chlazení-topení-a-veřtrání>

Příkladem užití toho systému může být na půdě ČVUT známá budova pro Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky – CIIRC, kde jsou v budově A v prostorách laboratoří, poslucháren a kanceláří tyto chladicí koncové jednotky instalovány.²⁰

Systém zde využívá tzv. free coolingu, kdy dochází v případě chladnějšího venkovního vzduchu k chlazení chladicí vody v chladících věžích tento vzduch bez chodu kompresorové jednotky.²¹



Obr. č. 13 Indukční jednotky v budově CIIRC²²

2.3.3.1 Technické požadavky a parametry systému

- Potřeba dodržet minimální a maximální přívod vzduchu do indukční jednotky
- Při vyšším přívodu vzduchu zkontrolovat hlukové parametry v pracovním prostředí

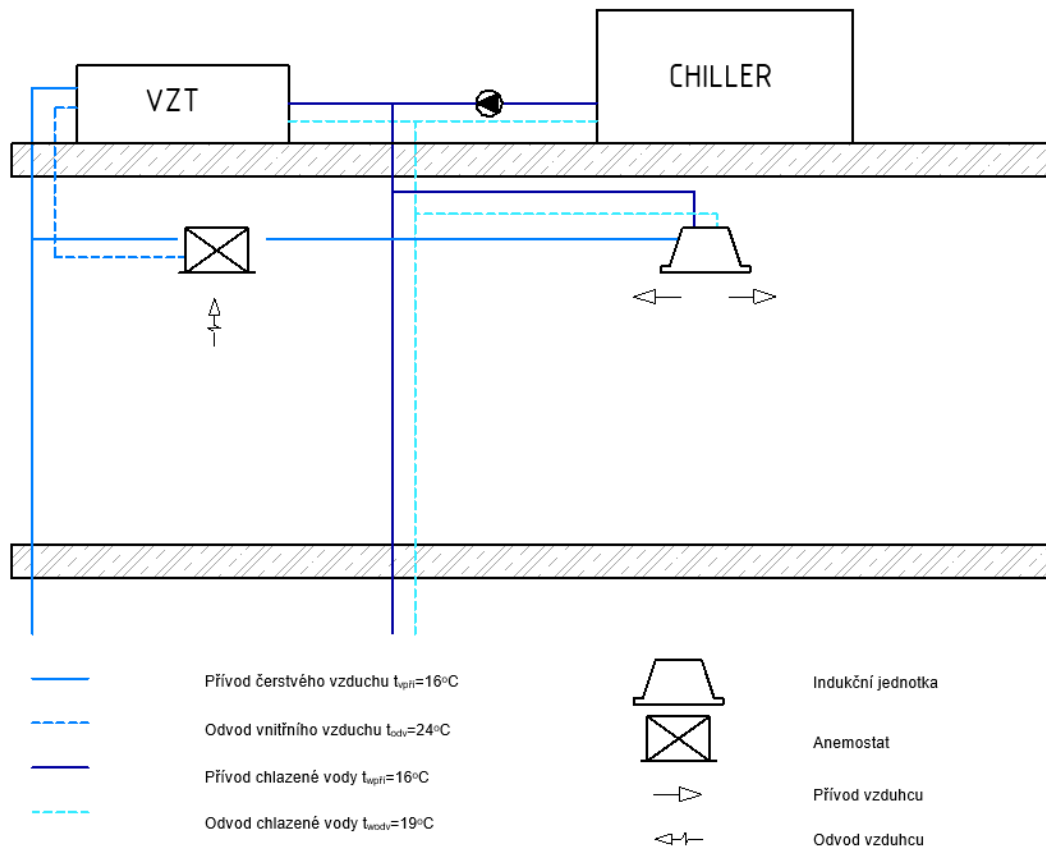
²⁰ FRANTA, Petr. Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky - CIIRC. *Stavebnictví*. 2020, č. 01-02, s. 18. ISSN 1802-2030

²¹ FRANTA, Petr. Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky - CIIRC. *Stavebnictví*. 2020, č. 01-02, s. 18. ISSN 1802-2030

²² CIIRC ČVUT. [online]. Dostupný na: <https://www.ciirc.cvut.cz/cs/about/ciirc-ctu-aspirations/>

- Přívod a odvod chladicí vody
- Teplota povrchu výměníku v indukční jednotce nad teplotou rosného bodu

2.3.3.2 Konceptní schéma



Obr. č. 14 Schéma systému s indukčními jednotkami

Zdroj chlazení tvoří centrální kompresorové jednotky umístěné na střeše. Ty budou upravovat teplotu chladicí vody na 16°C . Teplotní spád chladicí vody je uvažován $16-19^{\circ}\text{C}$. Tato chladicí voda je dále dvoutrubkovým rozvodem dopravena do vnitřních indukčních jednotek. Vzduch ve vzduchotechnické jednotce je upravován na 16°C a dále také dopravován do indukčních jednotek. Systém je navržen jako vícezónový s kvantitativní regulací. Odvod vzduchu je řešen odvodními anemostaty a čtyřhrannými vyústkami.

Pro konceptní návrh byly zvoleny jednotky od výrobce Trox.

Pozice jednotek v místnostech s fasádou a okny jsou zvoleny paralelně s nimi z důvodu temperování vzduchu u oken a zároveň kvůli snížení rychlosti a teplotního rozdílu proudícího vzduchu před pobytovou zónou.

Konceptní výkresy jednotlivých podlaží v příloze.

2.3.3.3 Investiční a provozní náklady

V rámci porovnání se jedná pouze o hrubě naceněné investiční i provozní náklady bez montážních prací a bez DPH. Pro výpočet bylo využito simulačního softwaru DesignBuilder, norem ČSN 73 0331-1:2020 a ČSN EN 16 798-3, vypracovaného modelu v programu Revit a dostupných dat poskytnutých od výrobců.

Tab. č. 10 Investiční náklady systému s indukčními jednotkami

Investiční náklady	[Kč]
Potrubí VZT	2 688 264
Vyústky VZT	127 965
Vzduchotechnické jednotky	3 100 000
Potrubí chlazení	249 648
Vnitřní chladicí jednotky a příslušenství	4 221 920
Kompresorová chladicí jednotka a příslušenství	1 871 480
Celkem	12 259 277

Tab. č. 11 Provozní náklady systému s indukčními jednotkami

Provozní náklady chlazení/rok	[MWh]	[Kč]
Celkové chlazení	43,24	251 224
Pomocné energie chlazení (čerpadla)	0,92	5 345
Vzduchotechnické jednotky	24,37	141 590
Celkem	68,53	398 159

2.3.4 Chladivový systém VRF/VRV

VRF/VRV je multisplitový systém chlazení/ohřevu, který se mimo ostatní multisplit systémy liší svým proměnným průtokem chladiva a svými vysokými výkony, které se pohybují od 10-150 kW při připojení 50-60 vnitřních jednotek. Principem systému je zde klasický chladicí kompresorový cyklus, který využívá odparu a kondenzaci chladiva. Při chlazení slouží venkovní jednotka jako kondenzátor par chladiva a vnitřní jednotky jako výparník.²³

Cyklus chlazení probíhá následovně. Páry chladiva se dopravují potrubím do venkovní chladicí jednotky, kde prochází kompresorem a dále pod tlakem stlačené proudí do venkovního výměníku, kde kondenzují a odevzdávají tak teplo nejčastěji venkovnímu vzduchu proudícímu skrz

²³ DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020, s. 107-108. ISBN 978-80-01-06736-9

ventilátor. Tato směs kapalného chladiva následně proudí do výměníku vnitřní jednotky, který zde slouží jako výparník. Chladivo prochází expanzním škrtkicím ventilem a pod nízkým tlakem se ve vnitřní jednotce díky proudícímu vzduchu skrz ventilátor kapalně chladivo vypařuje a odebírá tím teplo z vnitřního prostředí. Plynné chladivo dále proudí zpět do chladicí jednotky a cyklus se opakuje. Nejčastěji se používá chladivo R 410A.

System může přejít do funkce ohřevu, kdy po přepnutí čtyřcestného ventilu se obrátí směr chodu chladiva a tím dojde ke změně funkcí výměníků, kde venkovní výměník bude fungovat jako výparník a vnitřní jako kondenzátor chladiva. Funguje tedy pak jako tepelné čerpadlo.²⁴

Ve speciálním řešení je možné využít jak u dvoutrubkového, tak u třítrubkového (ve třetí trubce je tzv. výtlak plynu) zpětného získávání tepla, kdy v případě současného provozu chlazení některých jednotek a vytápění dalších jednotek může dojít díky speciálním vnitřním boxům k vzájemné výměně tepelné energie mezi vnitřními jednotkami. To ve výkonech cca od 20-150 kW.²⁵

Jako další speciální řešení je možnost připojení tzv. vodních modulů. Jde o řešení podobné jako u dvoutrubkového systému se zpětným získáváním tepla, kde je ale navíc připojen tento vodní modul. Ten obsahuje tzv. booster jednotku s vodním výměníkem, který umožňuje připravit teplou i chlazenou vodu od 5-70°C.²⁶

Vnitřní jednotky jsou zde obdobné jako u ventilátorových konvektorů. Obsahují rovněž ventilátor, filtr, čerpadlo na odvod kondenzátu, tepelný výměník a směšovací box. Teplotu chladicího výměníku by měl poskytnout výrobce, lze ale počítat s přibližnou teplotou 5°C.

Nutnost a způsob větrání je také obdobný jako u ventilátorových konvektorů. Je tedy možné přivádět pouze hygienické minimum vzduchu buďto přímo do prostoru nebo skrze vnitřní chladicí jednotky.

Výhody

- Vysoké výkony (vyšší chladicí faktor)
- Možnost přivádět venkovní vzduch skrz vnitřní jednotky
- Možnost zpětného získávání tepla při provozu chlazení i ohřevu
- Dynamická a přesná regulace
- Nižší provozní náklady

²⁴ DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020, s. 109. ISBN 978-80-01-06736-9

²⁵ DRKAL, pozn. 24, s. 108

²⁶ DRKAL, pozn. 24, s. 108

- „Chytré“ vnitřní jednotky s možností usměrnění vzduchu
- Přímé propojení se zdrojem chladu
- Menší potrubí (velká tepelná kapacita chladiva)
- Prostorově méně náročné
- V případě systému bez vodního modulu pouze jedna teplotonosná látka a s tím absence výroby chlazené vody a hydraulických prvků

Nevýhody

- Nutnost odvádět kondenzát
- Vyšší hlučnost
- Výměna filtrů
- Napojení na elektrickou síť
- Vysoké nároky na potrubí chladiva (kvůli úniku chladiva)
- Užití chladiv nebezpečných pro životní prostředí
- Složitě opravy potrubí
- Omezení z hlediska délky rozvodů a převýšení
- Omezené rozšíření systému

Příkladem zde bude uvedena opět budova CIIRC, ale v tomto případě budova B, která je celá na tomto systému provozována.

Celkově je v budově 689 vnitřních stropních jednotek na celkových 51 venkovních jednotek DAIKIN. To tvoří 21 samostatně pracujících okruhů. Pro tyto okruhy jsou sestaveny bloky z chladících venkovních jednotek od jedné do tří podle potřebných výkonů. Většinu vnitřních jednotek tvoří ploché jednotky kazetové v podhledech kromě tzv. respira, kde jsou veškeré prvky TZB přiznané.²⁷

²⁷ HODBOŇ, Josef. VRV systém DAIKIN v areálu Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky po 3 letech provozu. In: TOPINFO S.R.O. *tzb-info.cz*. [online]. 8. října 2020 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/21247-vrv-system-daikin-v-arealu-ceskeho-institutu-informatiky-robotiky-a-kybernetiky-po-3-letech-provozu>



Obr. č. 15 Kazetové jednotky VRV v respiriu budovy CIIRC²⁸

V případě regulace je v každé místnosti umístěn ovladač, který je propojen s tamními vnitřními chladícími jednotkami pro ovládání teploty, směru proudění, kontrolu zanesení filtru a další. Je zde i nadřazený samostatný regulační systém, který umožňuje řídit všech 21 okruhů. Je možné nastavit několik režimů, a to i v rámci kalendáře. Nejpoužívanější režimy jsou komfort, úspora (např. v případě vytápění v nočních hodinách a o víkendech omezí svůj výkon), pokles (při vytápění se využívá ještě nižších teplot).²⁹

Pro odvod kondenzátu jsou využívána čerpadla vnitřních jednotek. Pro každou místnost je pro potrubí kondenzátu instalován sifon, většinou umístěný na chodbách. Ty musí být podle plánů kontrolovány. K čištění filtrů vnitřních jednotek dochází jednou za půl roku, pokud signalizace zanesení filtru neohlásí zanesení dříve. Čištění probíhá za pomoci tlakové vody.³⁰

²⁸ HODBOŇ, Josef. VRV systém DAIKIN v areálu Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky po 3 letech provozu. In: TOPINFO S.R.O. *tzb-info.cz*. [online]. 8. října 2020 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/21247-vrv-system-daikin-v-arealu-ceskeho-institutu-informatiky-robotiky-a-kybernetiky-po-3-letech-provozu>

²⁹ HODBOŇ, pozn. 29

³⁰ HODBOŇ, pozn. 29

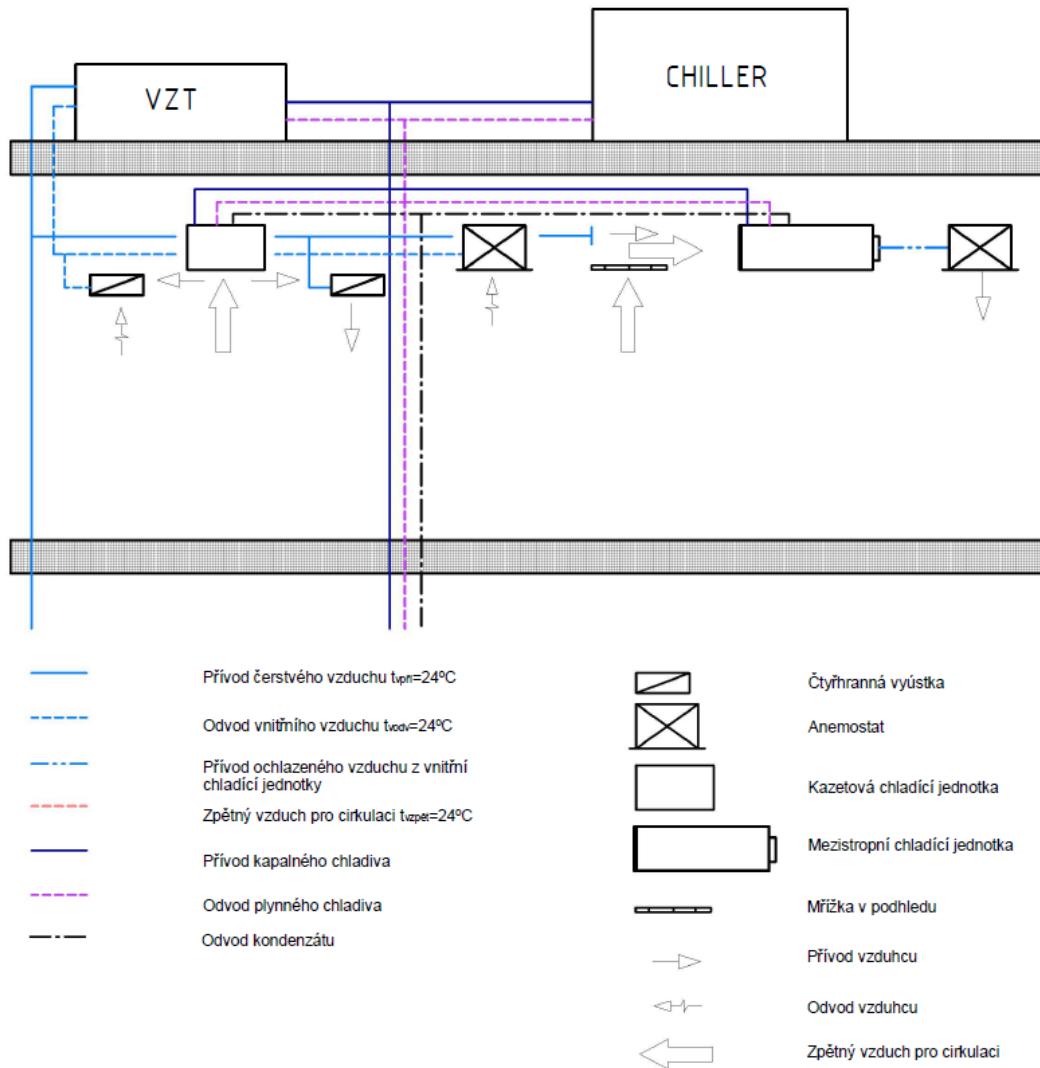
System je naplněn chladivem R410a a v rámci legislativy jsou okruhy vyznačeny hmotnostní náplní chladiva a GWP potenciálu. Na tomto základě jsou určeny četnosti kontrol. Po třech letech provozu je prokázáno, že je systém plně funkční.³¹

2.3.4.1 Technické požadavky a parametry systému

- Max. počet vnitřních jednotek na jednu venkovní podle výrobce
- Max. délka potrubí a převýšení podle výrobce
- Připojení vnitřních jednotek k elektrické síti (230V)
- Nutnost odvedení kondenzátu
- Použití chladiva splňujícího legislativní požadavky
- Kontrola úniku chladiva
- Výměna/čištění filtrů
- Pracovní rozdíl teplot vzduchu max 10–12 K (V případě anemostatů)
- Návrh útlumu hluku v případě vyšších hluků
- Přívod a odvod chladicí vody
- Nutnost přívodu venkovního vzduchu dalším systémem, pokud to vnitřní jednotka neumožňuje
- Dodržet minimální poměr alespoň 15% venkovního vzduchu

³¹ HODBOŇ, Josef. VRV systém DAIKIN v areálu Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky po 3 letech provozu. In: TOPINFO S.R.O. *tzb-info.cz*. [online]. 8. října 2020 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/21247-vrv-system-daikin-v-arealu-ceskeho-institutu-informatiky-robotiky-a-kybernetiky-po-3-letech-provozu>

2.3.4.2 Koncepční schéma



Obr. č. 16 Schéma chladivového systému VRF/VRV

Zdroj chlazení tvoří centrální kompresorové jednotky umístěné na střeše. Chladivo je dále dvoutrubkovým rozvodem dopravena do vzduchotechnické jednotky taktéž umístěné na střeše a dále do vnitřních chladících jednotek. Vzduch ve vzduchotechnické jednotce je upravován na 24°C .

Koncepční výkresy jednotlivých podlaží v příloze.

2.3.4.3 Investiční a provozní náklady

V rámci porovnání se jedná pouze o hrubě naceněné investiční i provozní náklady bez montážních prací a bez DPH. Pro výpočet bylo využito simulačního softwaru DesignBuilder, norem ČSN 73 0331-1:2020 a ČSN EN

16 798-3, vypracovaného modelu v programu Revit a dostupných dat poskytnutých od výrobců.

Tab. č. 12 Investiční náklady chladivového systému VRF/VRV

Investiční náklady	[Kč]
Potrubí VZT	2 223 288
Vyústky VZT	415 176
Vzduchotechnické jednotky	3 100 000
Potrubí chlazení	281 603
Vnitřní chladicí jednotky a příslušenství	4 499 400
Kompresorové chladicí jednotky	2 640 000
Doplnění chladiva	172 120
Celkem	13 331 587

Tab. č. 13 Provozní náklady chladivového systému VRF/VRV

Provozní náklady chlazení/rok	[MWh]	[Kč]
Celkové chlazení	38,2	221 942
Pomocné energie chlazení (ventilátory)	11,07	64 317
Údržba vnitřních jednotek	-	46 800
Vzduchotechnické jednotky	21,19	123 114
Celkem	70,46	456 173

2.3.5 Porovnání variant

Z rozebraných systémů chlazení jsou zde v tabulce zjednodušeně porovnány jejich vybrané technické, ekonomické a provozní vlastnosti.

Tab. č. 14 Porovnání chladicích systémů

	Systém s ventilátorovými konvektory	Systém s chladicími stropy	Systém s indukčními jednotkami	VRV/VRF
Investiční náklady	10 732 486	17 127 240	12 259 277	13 331 587
Provozní náklady/rok	523 133	366 379	398 159	456 173
SEER venkovních j.	4,8	5,7	5,6	6,3
Teplonosná látka	Voda	Voda	Voda	Chladivo R410a
Teploty teplonosné látky	Nízké	Vyšší	Vyšší	(Velmi nízké)
Výkony vnitřních j.	Velké	Malé	Střední	Velké
Dynamičnost regulace	Velmi dobrá	Horší	Dobrá	Velmi dobrá

Prostorová náročnost vnitřních j.	Nízká	Velmi vysoká	Vysoká	Nízká
Nutný odvod kondenzátu	Ano	Ne	Ne	Ano
Ventilátor vnitřních j.	Ano	Ne	Ne	Ano
Nutnost připojení k elektrické síti	Ano	Ne	Ne	Ano
Nutnost čištění filtrů vnitřních j.	Ano	Ne	Ne	Ano
Nutnost samostatného systému VZT	Ne	Ano	Ne	Ne
Možnost ZZT	Ne	Ne	Ne	Ano

2.3.6 Vícekriteriální analýza a výběr varianty

Účelem této analýzy bude zjistit, který chladicí systém se jeví jako nejvhodnější.

Jedná se o metodu, která mezi sebou porovnává různé varianty za účelem výběru nejkompromisnějšího řešení podle bodového ohodnocení. Podle Saatyho metody se zvolí stupnice relativních důležitostí 1-9, kde 1 značí stejnou důležitost a 9 značí důležitost absolutní. Tyto hodnoty se přiřadí k jednotlivým kritériím podle subjektivní preference v kritériální matici. V dalším kroku se provede geometrický průměr a klasický součet hodnot pro každý řádek kritérií. Podílem geometrických průměrů se součty hodnot důležitostí se následně získají váhy pro jednotlivá kritéria.³²

Posledním krokem je pro dané varianty a jednotlivá kritéria určit bodová ohodnocení a vynásobit odpovídajícími vahami. Systém s největší hodnotou představuje nejvhodnější řešení a bude zvolen jako hlavní pro administrativní budovu.³³

³² FIALA, Petr. *Modely a metody rozhodování*. 3. přeprac. vyd. Praha: Oeconomica, 2013, s. 53-54. ISBN 978-80-245-1981-4.

³³ FIALA, pozn 33

Tab. č. 15 Saatyho kriteriální matice

KRITERIA	K1	K2	K3	K..	Kn
Ki Kj					
K1	1	S ₁₂	S ₁₃	S _{1..}	S _{1n}
K2	1/S ₁₂	1	S ₂₃	S _{2..}	S _{2n}
K3	1/S ₁₃	1/S ₂₃	1	S _{3..}	S _{3n}
K..	1/S _{1..}	1/S _{2..}	1/S _{3..}	1	S _{..n}
Kn	1/S _{1n}	1/S _{2n}	1/S _{3n}	1/S _{..n}	1

Pokud jsou kritéria hodnocena S_{ij}=1

Vzorce pro výpočet vah

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}}$$

$$V_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}$$

2.3.6.1 Vícekriteriální analýza chladících systémů

Stanovení jednotlivých kritérií a váhových ohodnocení bylo na základě subjektivního rozhodnutí z pohledu projektanta s ohledem na projektantem předpokládaných požadavcích investora.

Tab. č. 16 Aplikovaná Saatyho kriteriální matice na chladících systémech

	Investiční náklady	Provozní náklady	Prostorová náročnost vnitřních j.	Regulace a tepelná pohoda	Hlučnost	Údržba	Ekologičnost
Investiční náklady	1	1/5	7	1/3	3	1/3	1/3
Provozní náklady	5	1	7	1	5	3	3
Prostorová náročnost vnitřních j.	1/7	1/7	1	1/7	1/3	1/5	1/7
Regulace a tepelná pohoda	3	1	7	1	3	1	3
Hlučnost	1/3	1/5	3	1/3	1	1/3	1/3
Údržba	3	1/3	5	1	3	1	1/3
Ekologičnost	3	1/3	7	1/3	3	3	1

Tab. č. 17 Vyhodnocení vícekriteriální analýzy chladících systémů

	Váha	System s ventilátorovými konvektory	System s chladícími panely	System s indukčními jednotkami	VRV/VRF
Investiční náklady	0,086	8	1	6	5
Provozní náklady	0,274	1	9	8	6
Prostorová náročnost vnitřních j.	0,025	9	1	4	9
Regulace a tepelná pohoda	0,237	7	5	5	8
Hlučnost	0,065	3	9	8	3
Údržba	0,165	2	9	9	1
Ekologičnost	0,148	1	7	7	3
Celkem =		3,52	6,87	7,03	5,01

3 Závěr

V rešeršní části byly v rámci administrativní budovy vybrány k porovnání 4 systémy chlazení. Po zanalyzování těchto systémů bylo využito získaných a vypracovaných podkladů pro vícekriteriální analýzu na základě které byl vybrán jeden konkrétní systém chlazení pro následující projekt.

Nejlepší variantou pro chlazení vyšel a byl vybrán systém s indukčními jednotkami, který měl největší bodové ohodnocení hlavně díky nízkým provozním i investičním nákladům a téměř bezúdržbovému provozu.

Je pravděpodobné, že v případě celoročního provozu spolu s navíc uvažovaným vytápěním v zimním i přechodném období by investičně náročnější varianta VRF/VRV se zpětným získáváním tepla dosáhla lepších hodnot. Nicméně v rámci diplomové práce a zachování stejných provozních i pořizovacích podmínek nebyla tato varianta uvažována.

4 Zdroje a použitá literatura

4.1 Použité elektronické dokumenty

ČESKO. Zákon č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví při práci. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2007. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>

ČESKO. Vyhláška č. 268/2009 Sb. ze dne 12. srpna 2009 o technických požadavcích na stavby. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2009. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268?text=268%2F2009>

ČESKO. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2011. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>

ČSN EN 16 798. Energetická náročnost budov – Větrání budov – Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. Třídící znak 127027

LEŠEK, Petr a Jan ŽEMLIČKA. Národní technická knihovna. In: Jaga Media. *Asb-portal.cz*. [online]. 22. června 2009 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://www.asb-portal.cz/architektura/obcanske-stavby/narodni-technicka-knihovna-vpraze>

Národní technická knihovna v Praze 6 - Dejvicích. In: CzechTourism. *Kudyznudy.cz*. [online]. [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://www.kudyznudy.cz/aktivity/narodni-technicka-knihovna-v-praze-6-dejvicich>

HEJHÁLEK, Jiří. Indukční jednotky MINIB – účinné a efektivní chlazení, topení a větrání. In: VEGA spol. *Stavebnictvi3000.cz*. [online]. Únor 2017 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/indukcni-jednotky-minib-ucinne-a-efektivni-chlazení-topení-a-větrání>

CIIRC ČVUT. [online]. Dostupný na: <https://www.ciirc.cvut.cz/cs/about/ciirc-ctu-aspirations/>

HODBOŮ, Josef. VRV systém DAIKIN v areálu Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky po 3 letech provozu. In: TOPINFO S.R.O. *tzb-info.cz*. [online]. 8. října 2020 [cit. 30.3.2021]. Dostupný na: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/21247-vrv-system-daikin-v-arealu-ceskeho-institutu-informatiky-robotiky-a-kybernetiky-po-3-letech-provozu>

4.2 Použitá tištěná literatura

DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. Praha: Česká technika, ©2013, s. 3. ISBN 978-80-01-05181-8

DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. vyd. Praha: Česká technika, ©2020. ISBN 978-80-01-06736-9

ZMRHAL, Vladimír. Hodnocení tepelného komfortu v prostoru s chladicím stropem. *Vytápění, větrání, instalace*. 2004, roč. 13, č. 4, s. 149-152. ISSN 1210-1389

ZMRHAL, Vladimír. Otevřené – konvektivní chladicí stropy. *Vytápění, větrání, instalace*. 2009, roč. 18, č. 2, s. 118. ISSN 1210-1389

ZMRHAL, Vladimír a Miloš LAIN. Národní technická knihovna od návrhu k provozu. *Stavebnictví*. 2016, č. 01-02, s. 35. ISSN 1802-2030

FRANTA, Petr. Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky - CIIRC. *Stavebnictví*. 2020, č. 01-02, s. 18. ISSN 1802-2030

4.3 Seznam obrázků

Obr. č. 1 3D pohled administrativní budovy.....	13
Obr. č. 2 Zónování 1NP	14
Obr. č. 3 Zónování 2NP	15
Obr. č. 4 1NP modelu v DesignBuilderu.....	17
Obr. č. 5 2NP modelu v DesignBuilderu.....	17
Obr. č. 6 3NP modelu v DesginBuilderu.....	18
Obr. č. 7 Schéma systému s ventilátorovými konvektory	22
Obr. č. 8 Typy chladicích ploch.....	25
Obr. č. 9 Rozvody potrubí mezi armaturami nezalité stropní desky budovy NTK.....	26
Obr. č. 10 Atrium budovy NTK	27
Obr. č. 11 Schéma systému s chladicími plochami	28
Obr. č. 12 Schéma principu indukční jednotky	30
Obr. č. 13 Indukční jednotky v budově CIIRC	31
Obr. č. 14 Schéma systému s indukčními jednotkami	32
Obr. č. 15 Kazetové jednotky VRV v respiriu budovy CIIRC	36

Obr. č. 16 Schéma chladivového systému VRF/VRV	38
--	----

4.4 Seznam tabulek

Tab. č. 1 Přípustné hodnoty vnitřního prostředí	11
Tab. č. 2 Doporučené hodnoty vnitřního prostředí	12
Tab. č. 3 Základní údaje pro výpočet v DesignBuilderu	15
Tab. č. 4 Součinitele prostupů tepla konstrukcí.....	16
Tab. č. 5 Vnitřní tepelné zisky od zdrojů	16
Tab. č. 6 Investiční náklady systému s ventilátorovými konvektory	23
Tab. č. 7 Provozní náklady systému s ventilátorovými konvektory	23
Tab. č. 8 Investiční náklady systému s chladícími plochami.....	29
Tab. č. 9 Provozní náklady systému s chladícími plochami.....	29
Tab. č. 10 Investiční náklady systému s indukčními jednotkami.....	33
Tab. č. 11 Provozní náklady systému s indukčními jednotkami.....	33
Tab. č. 12 Investiční náklady chladivového systému VRF/VRV	39
Tab. č. 13 Provozní náklady chladivového systému VRF/VRV	39
Tab. č. 14 Porovnání chladících systémů	39
Tab. č. 15 Saatyho kriteriální matice	41
Tab. č. 16 Aplikovaná Saatyho kriteriální matice na chladících systémech .	41
Tab. č. 17 Vyhodnocení vícekriteriální analýzy chladících systémů	42