

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
INTELIGENTNÍ BUDOVY

SPOTŘEBA ENERGIE NA KLIMATIZACI BUDOVY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zadání BP

Anotace

Globální oteplování, nové technické vybavení moderních kanceláří a současně vzrůstající požadavky na kvalitu vnitřního prostředí vedou k nutnosti instalace klimatizačního zařízení. Vzhledem k současnému trendu snižování tepelných ztrát budovy, roste podíl energie spotřebované na klimatizaci budovy. Tato diplomová práce se zabývá měřením a analýzou naměřených dat reálné spotřeby energie na klimatizaci budovy, porovnáním předpokládaných spotřeb s reálnou situací.

Klíčová slova

globální oteplování, kvalita vnitřního prostředí, klimatizace, chladičové systémy, VRV systém, tepelné zisky, měření spotřeby energie

Abstract

Global warming, new technical equipment of modern offices and currently increasing requests for quality of the internal environment lead to a necessity of the air-conditioning installation. With regard to a current trend of lowering building's thermal loss, the rate of energy consumed by building's air-conditioning increases. This diploma thesis deals with measurements and analysis of gained facts about real energy consumption of building's air-conditioning, comparison of presumed consumption with real situation.

Keywords

global warming, quality of the internal environment, air-conditioning, cooling systems, VRV system, thermal profits, energy consumption measurement

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Spotřeba energie na klimatizaci budovy“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miloše Laina, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 11.1.2019

Miroslav Morong

podpis:

Poděkování

Děkuji Ing. Miloši Lainovi, Ph.D. za pomoc při vedení diplomové práce, za cenné rady a poskytnuté informace. Rád bych také poděkoval své rodině za podporu při studiu a kolegům ve firmě Limak TZB za ochotu a získané zkušenosti.

Obsah

1. Použitá značení veličin.....	7
2. Úvod.....	9
3. Druhy klimatizačních systémů.....	10
3.1 Vzduchové systémy.....	10
3.2 Vodní systémy.....	10
3.3 Chladivové systémy.....	11
3.3.1 SPLIT systém.....	12
3.3.2 Multi-SPLIT systém.....	13
3.3.3 VRF systém.....	16
4. Popis objektu.....	22
4.1 Koncepce chlazení.....	25
5. Výpočet tepelné zátěže a potřeby chladicího výkonu.....	31
5.1 Návrhové parametry.....	31
5.2 Součinitel prostupu tepla.....	32
5.3 Výpočet tepelné zátěže vnějšími stěnami.....	33
5.4 Výpočet tepelné zátěže střechou.....	34
5.5 Tepelná zátěž okny.....	35
5.5.1 Prostup tepla oknem konvekci.....	35
5.5.2 Prostup tepla oknem radiací.....	37
5.6 Produkce tepla od lidí.....	39
5.7 Produkce tepla od svítidel.....	39
5.8 Produkce tepla od technologie.....	40
5.9 Celkové tepelné zisky.....	41
6. Měření spotřeby energie na klimatizaci budovy.....	42
7. Průběh teplot.....	45
8. Analýza naměřených dat.....	47
8.1 Princip intervalové metody.....	47
8.2 Výpočet předpokládaných spotřeb.....	49
9. Data reálné spotřeby energie na klimatizaci budovy.....	51
10. Závěr.....	55
11. Zdroje.....	56

1. Použitá značení veličin

α_i / α_e	součinitel přestupu tepla na vnitřní/vnější straně	$W/m^2.K$
λ	součinitel tepelné vodivosti	$W/m.K$
d	tloušťka konstrukce	m
t_i / t_e	návrhová vnitřní/venkovní teplota	$^{\circ}C$
t_{rm}	průměrná rovnícenná sluneční teplota	$^{\circ}C$
Δt	max. přípouštěné překročení požadované teploty v klim. prostotu	$^{\circ}C$
U	součinitel prostupu tepla	$W/m^2.K$
U_O	součinitel prostupu tepla oknem	$W/m^2.K$
m	součinitel zmenšení tep. kolísání při prostupu tepla stěnou	-
S	plocha stěny	m^2
S_O	plocha okna včetně rámu	m^2
S_{OS}	osluněný povrch okna	m^2
S_{SV}	osvětlovaná plocha	m^2
s	stínící součinitel	-
n_O	počet oken	-
n_t	četnost teplot v daném intervalu	-
n_L	počet lidí	-
c_O	korekce na čistotu atmosféry	-

I_0	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením	$W/m^2.K$
I_{0d}	intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením	$W/m^2.K$
c_1	součinitel současnosti	-
c_2	zbytkový součinitel	-
c_3	součinitel zatížení	-
P	el. příkon stroje	W
M	hmotnosti obvodových stěn (bez vnější), podlahy a stropu, vhodné pro akumulaci	kg
q_{sv}	produkce tepla na $1 m^2$ podlahové plochy	W/m^2
Q_s	tepelná zátěž vnější stěny	W
Q_{ST}	tepelná zátěž střechou	W
ΔQ	snížen max. hodnoty tepelných zisků od oslunění oken	W
Q_L	tepelná zátěž od lidí	W
Q_{sv}	tepelná zátěž od osvětlení	W
Q_{sc}	celková tepelná zátěž vnější stěnou	W
Q_{oc}	celková tepelná zátěž okny	W
Q_{ps}	předpokládaná spotřeba	kWh
Q_{ci}	celková tepelná zátěž upravená dle daného intervalu	W
Q_{rs}	reálná spotřeba	kWh
$Q_{rs.p}$	reálná spotřeba v pracovní době	kWh

2. Úvod

Moderní kancelářské prostory jsou v dnešní době součástí velkých administrativních budov, popřípadě celých komplexů. Základními stavebními materiály těchto budov jsou především beton, sklo, kov a další, což vede ke značnému přehřívání. Zejména jižní a západní fasády jsou vystaveny velké sluneční radiaci, která způsobuje velké tepelné zisky.

Zároveň s tím spojené neustálé zvyšování teplot na základě globálního oteplování, zvyšování tepelné zátěže vnitřního prostředí v moderních budovách v důsledku rostoucího množství elektrického zařízení, a naproti tomu rostoucí nároky na tepelnou pohodu vnitřního prostředí, vedou k bezpodmínečné nutnosti instalace klimatizačního zařízení (chlazení).

Současný trend snižování spotřeby energie se zaměřuje převážně na vytápění (tepelná izolace, VZT se zpětným získáváním tepla, okna s tepelně izolačním sklem). Avšak u velké části nově postavených či zrekonstruovaných budov již převládá spotřeba energie na chlazení.

Tato diplomová práce se zabývá měřením a vyhodnocením dat reálné spotřeby energie na provoz klimatizačního zařízení pro čtyřpodlažní administrativní budovu, jejíž součástí jsou kancelářské prostory, včetně tzv. open-space office. Cílem práce je analyzovat data, porovnat hodnoty reálné spotřeby energie systému s vypočtenými návrhovými hodnotami, získat závislost reálné spotřeby energie na změnách počasí, resp. venkovní teplotě a navrhnout tak optimální řešení pro snížení spotřeby energie na chlazení budovy a zároveň zajistit tepelnou pohodu pro administrativní pracovníky.

3. Druhy klimatizačních systémů

Základní funkce klimatizace jsou zajistit teplotu, vlhkost, čistotu vzduchu, ohřev/chlazení, vlhčení/odvlhčování, popřípadě přívod čerstvého vzduchu nebo odstranění škodlivin a zápachů.

Na základě teplonosné látky bychom mohli klimatizaci dělit na tři systémy:

3.1 Vzduchové systémy

Teplonosnou látkou je vzduch vedený vzduchovody. Z důvodu malé tepelné kapacity vzduchu jsou zapotřebí větší průtoky a větší výměny vzduchu v místnosti. To vede k vysokým nárokům na prostor pro rozvody vzduchotechnického potrubí a s tím také související složitá montáž. Dále je důležitá volba distribučních elementů a jejich rozmístění tak, abychom dosáhli komfortního větrání v dané místnosti.

Zásadní předností vzduchových systémů je však kombinace větrání, řízení teploty, kvalita vzduchu a úprava vlhkosti. Vhodné použití je pro prostory s vyššími nároky na tepelně vlhkostní složku prostředí, kvalitu vzduchu a potřebu větrat (konferenční sály, divadla, kina, obchody aj.). [1]

3.2 Vodní systémy

Teplonosnou látkou je voda. Ta je ochlazována ve výparníku zdroje chladu (chiller). Sekundární okruh teplonosné látky musí být vybaven pojistnými prvky jako je tomu u soustavy vytápění (pojistný ventil, expanzní nádoba). Dalšími prvky soustavy jsou čerpadla, akumulční zásobník, který slouží také jako hydraulický vyrovnávač tlaků, armatury na regulaci teploty (kvalitativní regulace) nebo regulaci průtoku (kvantitativní regulace). Rozměry rozvodů vody jsou menší než u vzduchových systémů, a tak jsou i nároky na prostor a montáž nižší.

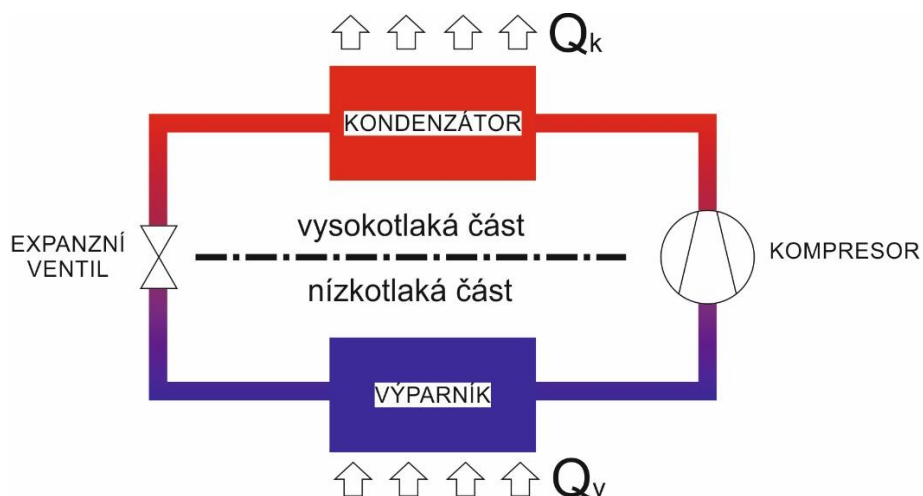
Hlavní výhodou vodního systému je vyloučení chladiva mimo budovu. Chladivo se nachází pouze v primárním okruhu venkovní jednotky a teplo/chlad se předává na výměníku, nehrozí tedy vzájemná kontaminace. Případný únik chladiva tak nezpůsobí žádné větší škody. [2]

Spotřebiče, které přivádí chlad do místnosti, mohou být indukční jednotky, chladicí stropy nebo jednotky s ventilátorovými konvektory, tzv. fan-coily.

Vhodné použití pro administrativní budovy, obchodní centra nebo komplexy více budov s centrálním zásobováním chladu.

3.3 Chladivové systémy

Teplonosnou látkou je chladivo. Teplo z ochlazené látky přechází přímo do chladiva, tzn. jedná se o přímé chlazení. To vede ke snížení investičních i provozních nákladů. Rozměry chladivového potrubí jsou minimální a poměrně jednoduše se tvaruje, což zjednodušuje montáž a je tak možné zvládnout i složitější instalace. Další výhodou chladivového systému je možnost celoročního provozu zařízení (serverovny, mrazáky aj.) Při tomto systému také odpadají problémy s dopouštěním teplonosné látky, její úpravy, filtrace apod. Naproti tomu je jisté riziko úniku chladiva do vzduchu či do prostoru místnosti. Je třeba také dbát na určitá omezení daná výrobcem jako např. délka chladivového potrubí, výškový rozdíl mezi vnitřní a venkovní jednotkou a další omezení.



Obr. 1 – Schéma chladicího okruhu - základní komponenty (kompresor, kondenzátor, expanzní ventil, výparník)

Kompresor v chladícím okruhu zajišťuje zvýšení tlaku chladiva v plynném skupenství. Kondenzátor je výměník tepla, v němž je teplo ze stlačených par odváděno do okolí a páry chladiva kondenzují. Expanzní ventil, společně s kompresorem, rozdělují chladící okruh na dvě tlakové části. V důsledku podstatného zúžení průtočného průřezu dochází k izoentalpické expanzi z tlaku kondenzačního na tlak výparný. [3]

3.3.1 SPLIT systém

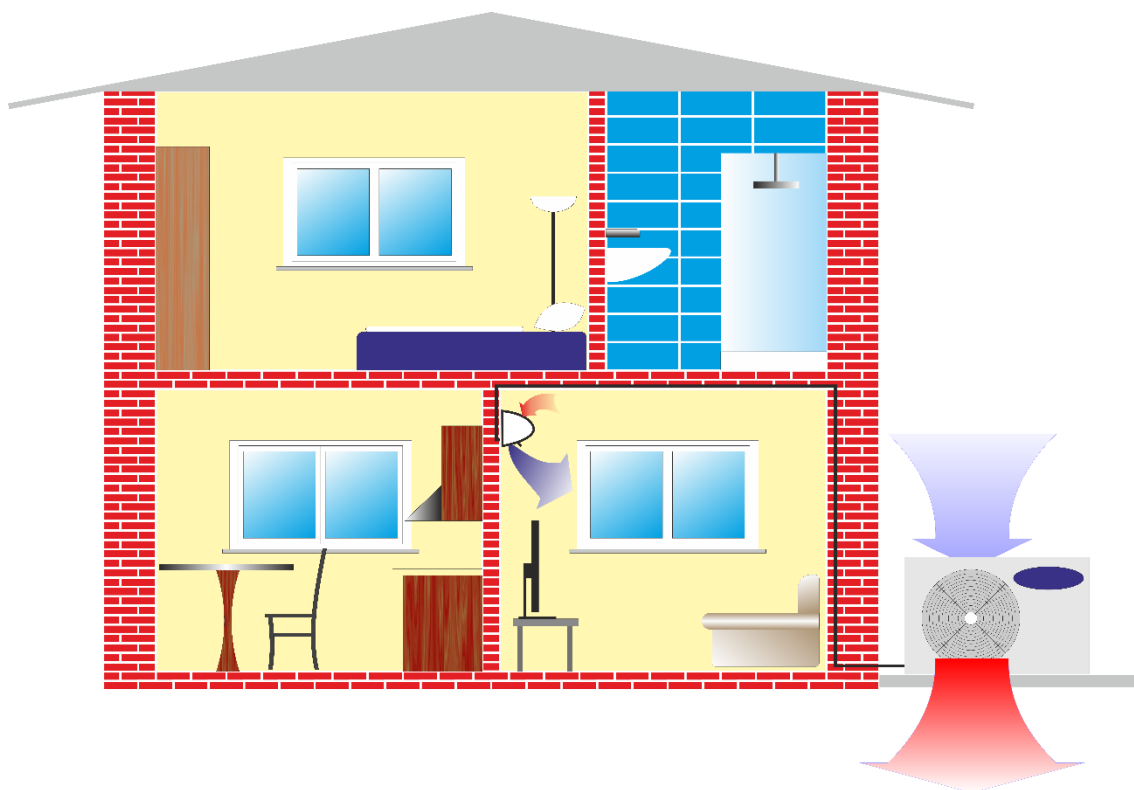
Single-splitová klimatizace je systém jedné vnitřní a jedné venkovní jednotky bez možnosti napojení dalších vnitřních jednotek. Jednotky jsou propojeny měděným potrubím pro chladící médium (plyn a kapalina) a elektrickými vodiči pro komunikaci a napájení. Single-splitová klimatizace s invertorem dokáže i topit a díky frekvenčnímu měniči a frekvenčnímu kompresoru si plynule reguluje výkon od 20% až do plných 100%. Díky tomu, že frekvenční kompresor dokáže měnit otáčky, tak reguluje přesné množství chladícího výkonu a přesně udržuje teplotu v interiéru. Zároveň dochází ke snížení počtu startů neboli rozběhů kompresoru a tím se výrazně prodlužuje životnost celé klimatizace. [4]

Výhody:

- nízké pořizovací náklady, snadná a rychlá montáž
- invertorové kompresory s nízkou spotřebou
- nezávislost systémů

Nevýhody:

- není možnost dalšího rozšíření
- limitující maximální vzdálenost a převýšení potrubí mezi jednotkami
- více venkovních jednotek může kazit estetický dojem budovy
- limitovaný maximální výkon



Obr. 2 – SPLIT systém – vhodné řešení pro klimatizaci jedné místnosti (jedna vnitřní a jedna venkovní jednotka propojená měděným potrubím).

3.3.2 Multi-SPLIT systém

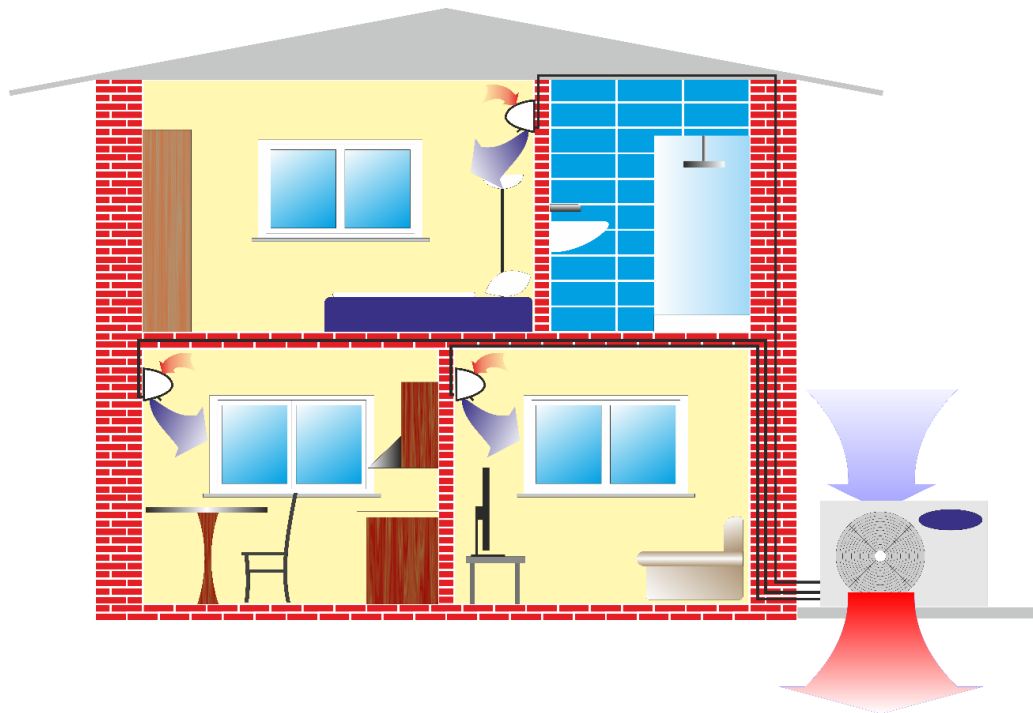
Multi-SPLIT systém pracuje na stejných principech jako single-splitová klimatizace, nicméně v případě multi-splitu je možné připojit několik vnitřních jednotek k jedné venkovní jednotce. Tyto systémy jsou poměrně jednoduchým a spolehlivým řešením pro residenční projekty s potřebou chlazení více místností anebo lehčí komerční nasazení. Každá vnitřní jednotka má svoji vlastní větev měděného potrubí pro chladicí médium, řídicí kabel a odpadní potrubí pro kondenzát. Oproti systémům VRF jsou elektronické expanzní ventily umístěné ve venkovní jednotce místo ve vnitřních jednotkách, proto jsou vnitřní jednotky výrazně levnější. Tento systém je ideální pro chlazení nebo vytápění více místností jednou venkovní jednotkou. [4]

Výhody:

- je možné připojit několik vnitřních jednotek k jedné venkovní jednotce
- možnost připojení různých typů jednotek (nástěnná, kazetová, potrubní aj.)
- možnost nastavovat teplotu v každé místnosti zvlášť (více teplotních zón)
- nízká hluchnost (nemusí se používat několik single-split jednotek)
- úspora prostoru a estetika (pouze jedna jednotka umístěná na fasádě)
- nižší cena oproti VRF systémům

Nevýhody:

- není možné současně topit a chladit
- menší možnosti rozšíření a napojení na nadřazené řídicí systémy
- omezený chladicí výkon (oproti VRF), který už v některých případech nemusí stačit
- omezený počet jednotek (většinou 5 vnitřních)



Obr. 3 – Multi-SPLIT systém – vhodné řešení pro klimatizaci více místností (jedna venkovní jednotka propojená měděným potrubím s každou z vnitřních jednotek).

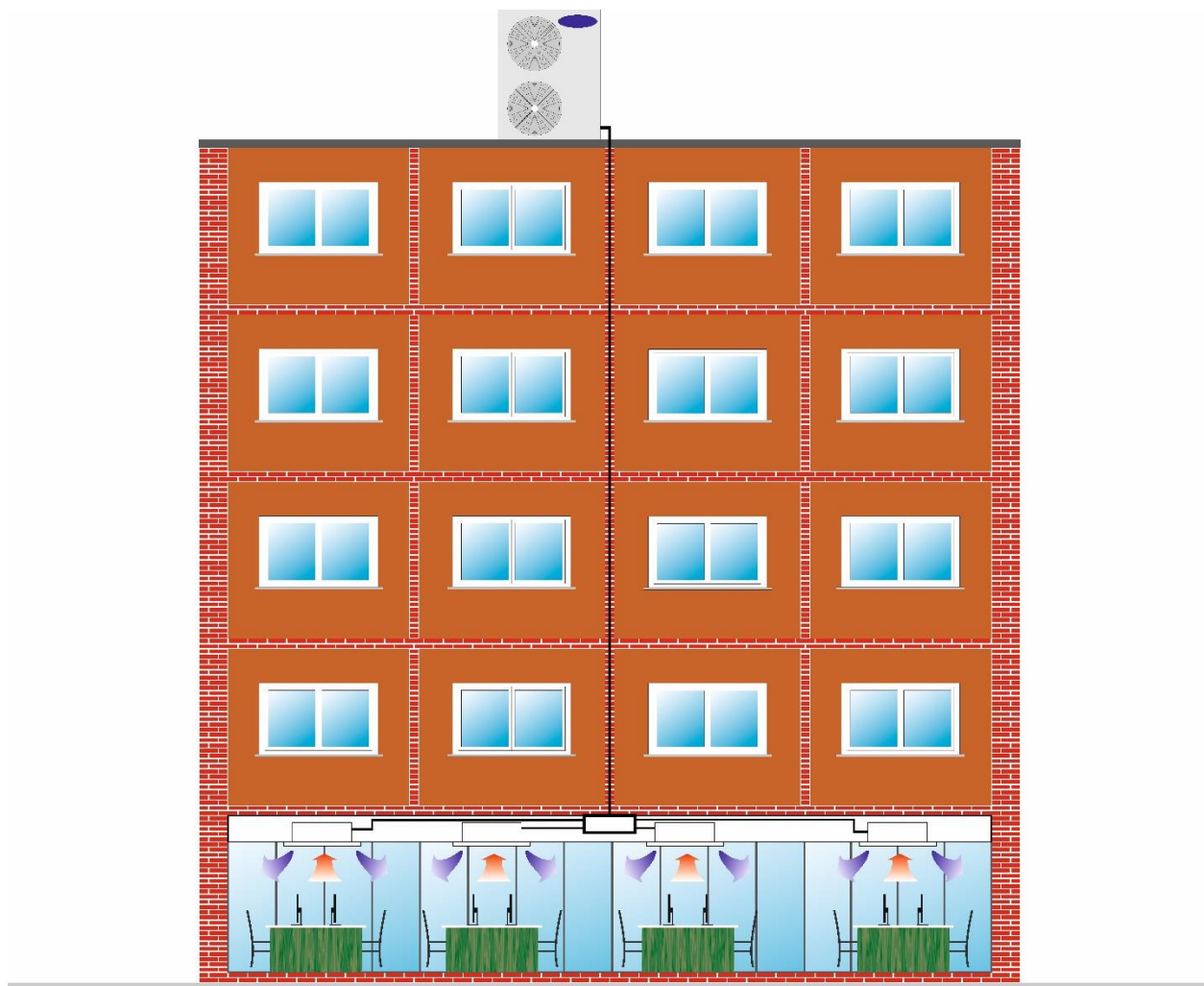
Někteří výrobci nabízí ještě jednu variantu multi-split systému. Jedná se o multi-split systém, který je doplněný o tzv. distribuční box. Tato varianta je vhodná pro instalace, kde je větší vzdálenost mezi vnitřními jednotkami a venkovní jednotkou. Díky tomu, že mezi venkovní jednotkou a distribučním boxem vede pouze jedno potrubí, vzniká tu na dlouhé vzdálenosti značná úspora potrubí. Vzhledem k tomu, že lze boxy vzájemně propojit, je možné v daném systému dosáhnout vyššího počtu vnitřních jednotek, než by tomu bylo u běžného multi-splitu, a také jsou k dispozici vyšší výkony venkovní jednotky.

Výhody:

- je možné dosáhnout větších vzdáleností
- možnost vyššího počtu vnitřních jednotek než u klasického multi-splitu
- levnější varianta než VRF systém

Nevýhody:

- nutné odvádět kondenzát od distribučního boxu
- limitující vzdálenost mezi vnitřními jednotkami a distribučním boxem
- ani zde nelze chladit a topit současně



Obr. 4 – Multi-SPLIT systém s distribučním boxem – vhodné řešení pro klimatizaci více místností, které jsou daleko od venkovní jednotky (jedna venkovní jednotka propojená s distribučním boxem jedním potrubím a z boxu jednotlivým potrubím s každou z vnitřních jednotek).

3.3.3 VRF systém

Typický systém VRF je složen z venkovní jednotky nebo několika venkovních jednotek (s možností vytvářet kaskády kompresorů a jednotek), mnoha vnitřních jednotek různých typů (často mylně přirovnávány k fan-coilům, které ve skutečnosti pracují na bázi vody), chladicího potrubí připojujícího venkovní jednotky k vnitřním jednotkám pomocí odboček tzv. refnety a komunikačních kabelů. Komunikační kabely mají většinou dvě odstíněné žíly a spojují venkovní s vnitřními jednotkami. Kabely je možné připojovat paralelně nebo sériově a vytváří komunikační smyčku (jakousi síť). Toto je také základní

vlastnost VRF systémů. Proto jsou VRF systémy vhodné především pro velké a členité budovy jako jsou hotely, nemocnice, kancelářské objekty, školy, univerzity a další.

Co se týká ovládání, každá jednotka je ovládána buďto RC ovladačem nebo kabelovým ovladačem nebo je možné ovládat několik jednotek ve skupině. Samozřejmostí je možnost připojení jednotek do vyšších integračních systémů pro řízení budov (BMS - Building Management Systems, např. LonWorks, atd.) a také připojení různých wi-fi modulů, senzorů, spínacích kontaktů a podobně.

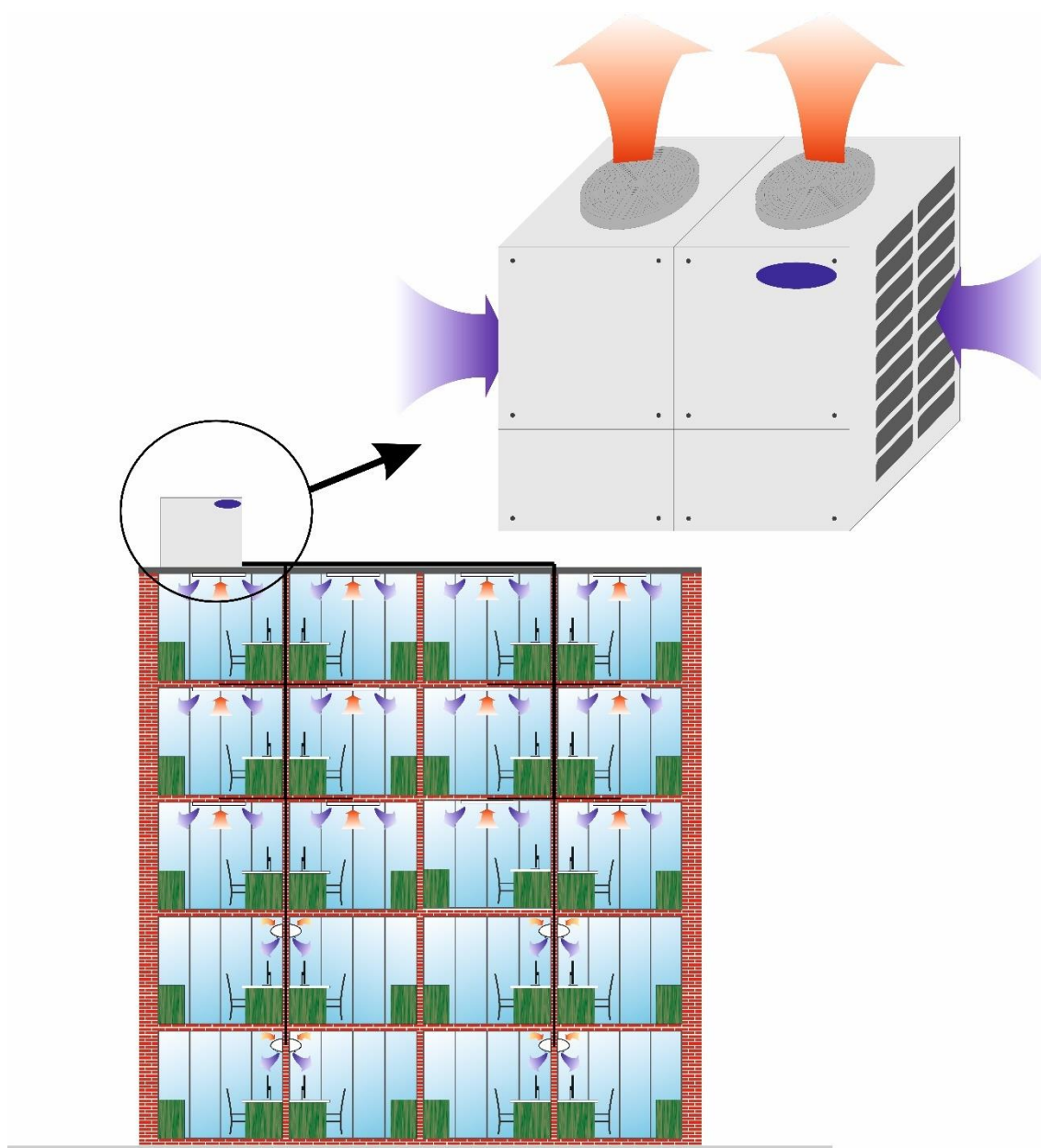
VRF je vlastně vlajkovou lodí klimatizačních systémů. Tento vyspělý systém klimatizace je založen na několika základních principech:

- a) Pouze chladivo – chladivo je jediným chladícím médiem v systému oproti systémům s chlazenou/topnou vodou (sekundárním médiem), které cirkuluje např. ve fan-coilech.
- b) Invertorové kompresory umožňují úsporu elektřiny při částečných zatíženích.
- c) Mnoho vnitřních jednotek (možnost připojit např. až 128 jednotek různých typů) připojených na jeden chladicí okruh (něco jako sériové zapojení) s odbočkami.
- d) Možnost dodatečného rozšíření, které je zejména užitečné u velkých projektů, které se realizují na etapy (hotely, nemocnice, ...). [4]

Princip fungování VRF klimatizace

Provozní logika VRF systému je zabudována do systému a odlišuje se u každého výrobce. Systém získává vstupy z ovladačů (od uživatele: požadovaná teplota, nastavení) a ze senzorů (z prostředí: aktuální teplota, ...) a dále tyto vstupy zpracuje dle své logiky tak, aby výstupem byla požadovaná teplota za ideální spotřeby elektřiny.

Možnost přizpůsobit provoz vnějším podmínkám je jedním z hlavních faktorů, které dělají VRF systémy tak úsporné v porovnání s tradičními systémy na vodní bázi (chladiče, fan coils, ...). [4]



Obr. 5 – Chladicí systém VRF – vhodné pro velké administrativní budovy s velkým počtem vnitřních jednotek

Instalace VRF systému – pracovní režim

Vše začíná v pohotovostním stavu (tzv. standby). Vše kromě základních řídicích obvodů je vypnuté.

Jakmile uživatel zapne jednu z vnitřních jednotek pomocí ovladače, venkovní jednotka to zaregistruje a začne pracovat. V této chvíli venkovní jednotka začne analyzovat podmínky venkovního prostředí (teplota, ...) a podmínky vnitřního prostředí

(nastavený režim, teplota, ...) a po jejich vyhodnocení sepne kompresor a plynule se rozběhne na přesně vypočtené otáčky (výkon), který je aktuálně potřeba.

Jakmile se zapne další vnitřní jednotka, tak VRF venkovní jednotka znovu přepočítá proměnné a zvýší výkon kompresoru tak, aby odpovídal požadovanému výkonu pro splnění vyžadovaných podmínek.

Tento proces se stále opakuje a systém je plně automatický. Neustále dochází k optimalizaci požadovaného výkonu a regulaci požadované spotřeby elektrické energie na základě dat z ovladačů a senzorů.

Uživatel nastavuje vyžadované podmínky komfortu vnitřních prostor jako např.: Zapnuto/Vypnuto, provozní mód (Chlazení/Topení/Ventilace/Vysoušení/Auto), vyžadovaná teplota prostoru, otáčky ventilátoru, atd. Ovládání těchto vstupních podmínek je jediným předpokladem pro používání tohoto systému. [4]

Typy systémů VRF od výrobce Samsung

a) *Dvourubkový systém* – provoz topení nebo chlazení

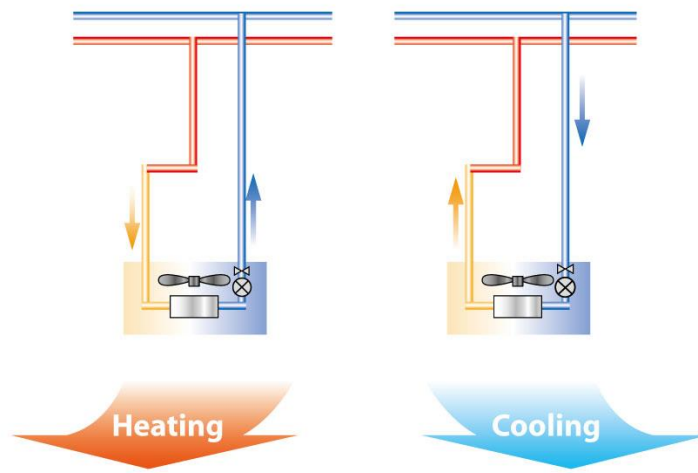
Všechny vnitřní jednotky mohou buďto chladit nebo topit (ale ne souběžně). Režim ventilace a odvlhčování je k dispozici pro každou jednotku nezávisle. V případě rozporu v režimech (topení – chlazení) se systém řídí prvním nastaveným režimem (např. topení) a v případě zapnutí další vnitřní jednotky v kolidujícím režimu (chlazení) se tato jednotka nespustí a systém pokračuje v původním režimu (topení). [4]

Výhody:

- možnost velkých vzdáleností (celková délka potrubí cca 1000 m, vzdálenost mezi první a nejvzdálenější jednotkou cca 90 m, vertikální vzdálenost mezi vnitřní a venkovní jednotkou cca 110 m)
- možnost propojení venkovních jednotek a dosažení tak větších výkonů
- velký počet vnitřních jednotek
- vhodné pro připojení k nadřazeným řídicím systémům budovy

Nevýhody:

- vysoké pořizovací náklady
- umístění jednotky (rozměry venkovní jednotky, potřeba velkého objemu vzduchu, hluk)
- nelze chladit a topit současně



Obr. 6 – VRF dvoutrubkový systém – vnitřní jednotky mohou buďto topit nebo chladit, není možné topit i chladit souběžně

- b) **Třítrubkový systém** – provoz topení a chlazení, systém se zpětným získáváním tepla

Tyto systémy jsou nejvíce vyspělé. Umožňují současný provoz topení a chlazení, nezávisle na potřebách každé jednotlivé vnitřní jednotky a zároveň odpadní teplo z klimatizování se využívá pro jednotky v režimu topení. Třítrubková technologie je mimořádně účinná v budovách s velkými rozdíly v tepelné zátěži (např. jižní a severní prosklená fasáda) nebo prostory, které trvale produkují odpadové teplo. Dokážou tedy například chladit serverovny a zároveň vytápět kanceláře s minimálními náklady, nebo mohou ochlazovat odpadní vzduch z ventilace a ohřívat čerstvý vzduch přiváděný z exteriéru a zároveň vytápět jednotlivé místnosti

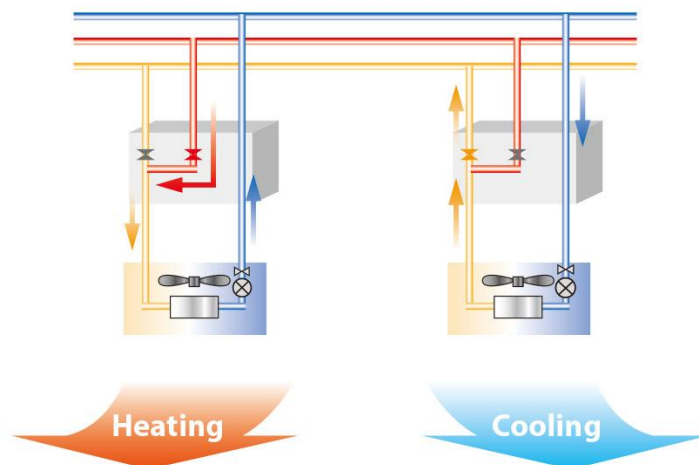
Režimy chlazení a topení se mohou využívat souběžně a nezávisle. Dokážou tedy například chladit serverovny v přízemí a zároveň vytápět kanceláře s minimálními náklady, nebo mohou ochlazovat odpadní vzduch z ventilace a ohřívat čerstvý vzduch přiváděný z exteriéru a zároveň vytápět jednotlivé místnosti. Tento systém přispívá k energetické rovnováze velkých budov, kdy například jižní strana potřebuje ochlazovat k dosažení požadované teploty 22 °C a severní strana budovy potřebuje být pro dosažení stejné teploty vytápěna. [4]

Výhody:

- lze současně topit i chladit
- obdobné jako u dvoutrubkového systému VRF

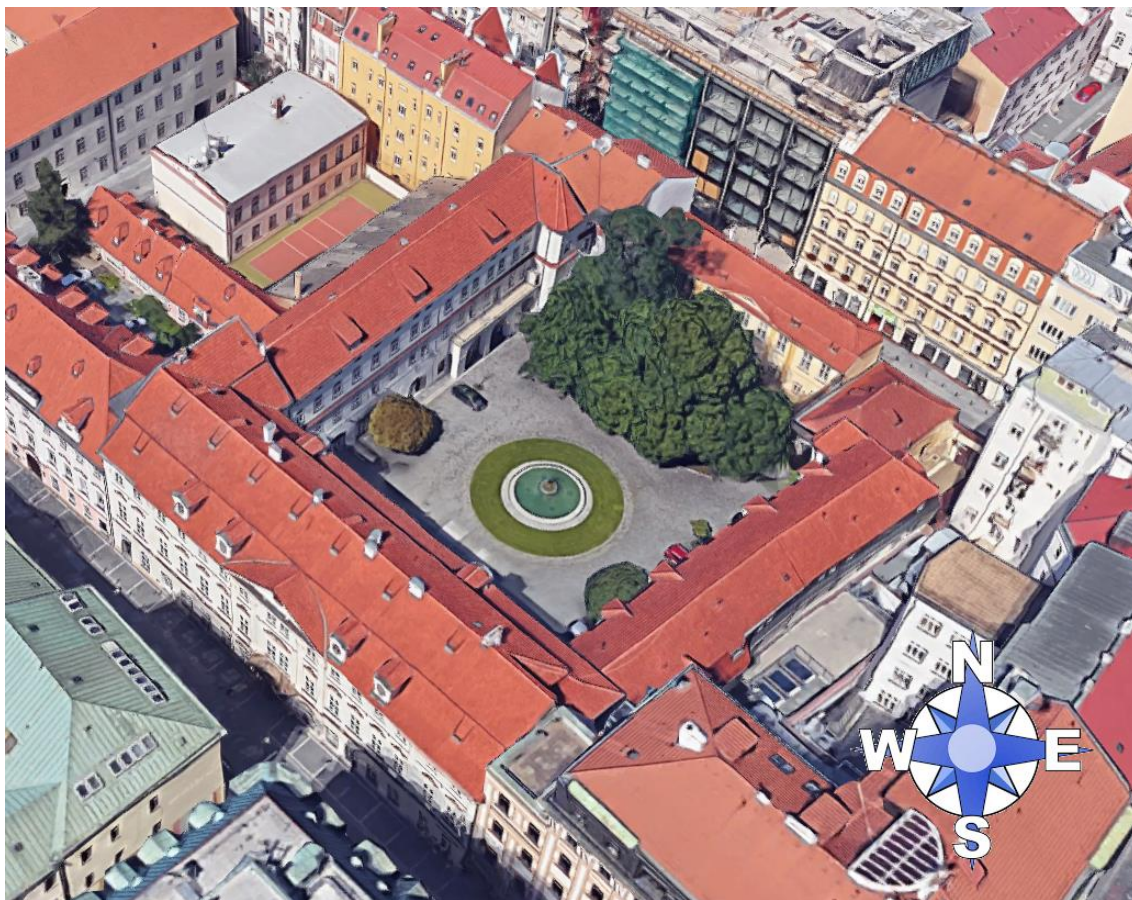
Nevýhody:

- vysoké pořizovací náklady
- umístění jednotky (rozměry venkovní jednotky, potřeba velkého objemu vzduchu, hluk)



Obr. 7 – VRF třítrubkový systém – různé vnitřní jednotky mohou topit i chladit souběžně

4. Popis objektu



Obr. 8 – Objekt, ve kterém probíhalo měření spotřeby energie na klimatizaci budovy

Tato diplomová práce se zabývá měřením spotřeby energie na klimatizaci budovy, resp. části budovy. Měření bylo provedeno pro severní křídlo Kounického paláce, který se nachází v centru hlavního města, v Praze. Slouží jako administrativní budova několika institucím.

Jedná se o čtyřpodlažní budovu obdélníkového půdorysu o rozměrech 44x8m. V prvním podlaží se nachází zasedací místnost, velkoprostorová kancelář („open space“), dvě malé kanceláře a sociální zázemí. Mimo sociální zařízení jsou všechny místnosti klimatizovány. Okna jsou orientována pouze na jihovýchod, dřevěný rám, vyplněna izolačními dvojskly a tvoří asi polovinu plochy fasády prvního podlaží. Ve druhém podlaží se nachází několik kanceláří orientovaných opět na jihovýchodní stranu, které jsou propojeny jednou průběžnou chodbou. V každé z těchto kanceláří je nástěnná klimatizační jednotka. Okna jsou dřevěná, dvojitá, s jednoduchým sklem a izolačním

dvojsklem. Ve třetím podlaží se se nachází dvě zasedací místnosti a několik kanceláří. Tyto kanceláře jsou odděleny příčkou z bezpečnostního skla. Stejně jako ve druhém podlaží jsou kanceláře orientovány na jihovýchodní stranu, jsou klimatizovány a jsou také propojeny chodbou. Okna jsou plastová s izolačním dvojsklem. Čtvrté podlaží se skládá z recepcce a velkoprostorové kanceláře se dvěma zasedacími místnostmi oddělené příčkou z bezpečnostního skla. Čtvrté podlaží již částí zasahuje do podkroví, okna jsou zde malého průřezu a jsou orientována jak na jihovýchodní, tak na severozápadní stranu budovy. Klimatizaci v patře zajišťují parapetní klimatizační jednotky.



Obr. 9 – Pohled na jihovýchodní stranu budovy, severního křídla objektu

Všechny kanceláře jsou vybaveny stínícími závěsy a větrání je řešeno přirozeně, tedy otevíráním okna. Vybavení kanceláří tvoří především počítače, monitory a tiskárny. V zasedacích místnostech jsou ještě nainstalovány dataprojektory. Osvětlení je řešeno přirozeným světlem prostupujícími okny, nebo při nedostatku světla zářivkami. Přístup do jednotlivých podlaží zajišťuje schodiště společně s výtahem. Podkroví budovy je přirozeně větrané a jsou zde umístěny kondenzační jednotky z dalších částí objektu.

Tab. 1 – Legenda místností s instalovaným chladicím výkonem

Podlaží	Místnost		Plocha	Instalovaný chladicí výkon
	č.m.	popis	[m ²]	[kW]
1. NP	123	Schodišťová hala	15,30	-
	124	Osobní výtah	-	-
	125	Schodiště – 2. NP	-	-
	126	Zasedací místnost	58,00	7,2
	127	Velkoprostorová kancelář	98,25	10,8
	128	Chodba	12,85	-
	129	Kancelář	19,30	3,6
	130	Kancelář	19,30	3,6
	131	Kuchyňka	4,85	-
	132-136	Sociální zázemí	12,35	-
	137	Schodiště – 2. NP	4,80	-
2. NP	212	Schodišťová hala	13,35	-
	213	Schodiště	-	-
	214	Osobní výtah	-	-
	215	Chodba	55,45	-
	216-219	Sociální zázemí	6,50	-
	220	Kancelář	29,40	7,2
	221	Kancelář	11,60	3,6
	222	Kancelář	21,70	5,6
	223	Kancelář	16,80	3,6
	224	Kancelář	40,80	5,6
	225	Kancelář	12,00	2,8
	226	Kancelář	10,80	2,8
	227-232	Sociální zázemí	16,95	-
	233	Schodiště	5,45	-
3. NP	313	Schodišťová hala	14,20	-
	314	Schodiště	-	-
	315	Osobní výtah	-	-
	316-318	Sociální zázemí	5,15	-
	319	Recepce	48,00	3,6
	320	Chodba	46,20	-
	321	Zasedací místnost	32,50	5,6
	322	Kancelář	25,00	5,6
	323	Kancelář	17,50	3,6

	324	Zasedací místnost	25,00	3,6
	325	Kancelář	17,50	2,8
	326	Kancelář	12,00	2,8
	327	Kancelář	13,00	3,6
	328-334	Sociální zázemí	12,30	-
	335	Schodiště	7,55	-
4. NP	401	Schodišťová hala	13,70	-
	402	Schodiště	-	-
	403	Osobní výtah	-	-
	404-407	Sociální zázemí	6,45	-
	408	Recepce	32,50	5,6
	409	Velkoprostorová kancelář	130,00	14,4
	410	Zasedací místnost	14,00	3,6
	411	Zasedací místnost	19,30	5,6
	412	Zasedací místnost	13,50	3,6
	413-418	Sociální zázemí	12,20	-
	419	Schodiště	10,70	-

4.1 Koncepce chlazení

Chlazení budovy zabezpečují dva samostatné systémy VRV od výrobce SAMSUNG, které mají společné integrované řízení DMS 2 a modul rozhraní měřiče spotřeby PIM (Pulse Input Module). Ovladač je umístěný v technické místnosti, kde je napojený na elektroměry skrze PIM. Tyto elektroměry tak musí disponovat pulsními výstupy.



Obr. 10 – Schéma integrovaného řízení DMS 2

Funkce DMS 2

- vestavěný webový server pro řízení nezávislé na počítači a řízení ze vzdáleného přístupu
- centrální řízení až 256 interních jednotek, včetně ERV, ERV PLUS a AHU
- řízení úrovně přístupu
- Správa historie provozu a chyb
- časovač s týdenním/denním časovým plánem
- funkce pro distribuci energie

Funkce PIM

- zobrazuje spotřebu energie každého elektroměru [8]

V budově je navrženo chlazení s přímým výparem. Jedná se o dvoutrubkové systémy VRV, bez rekuperace. Z toho vyplývá, že nelze chladit a topit současně. První systém, jehož venkovní jednotka se nachází na úrovni 1. NP klimatizuje místnosti ve 2. a 3. NP. Potrubí je vedeno v podhledu 2. NP, a je tak možné z páteřního potrubí snadno odbočit jak do místností ve 2. NP, tak do místností ve 3. NP. V souvislosti s vedením potrubí jsou tak vhodně zvolená umístění vnitřních klimatizačních jednotek, a to nástěnné jednotky ve 2. NP, které jsou u stropu a parapetní jednotky ve 3. NP, které jsou naopak při podlaze.

Druhý systém má kondenzační jednotku umístěnou na balkoně ve 2. NP. Zabezpečuje klimatizaci v 1. a 4. NP. Zde jsou parapetní jednotky a potrubí je vedeno podlahou.

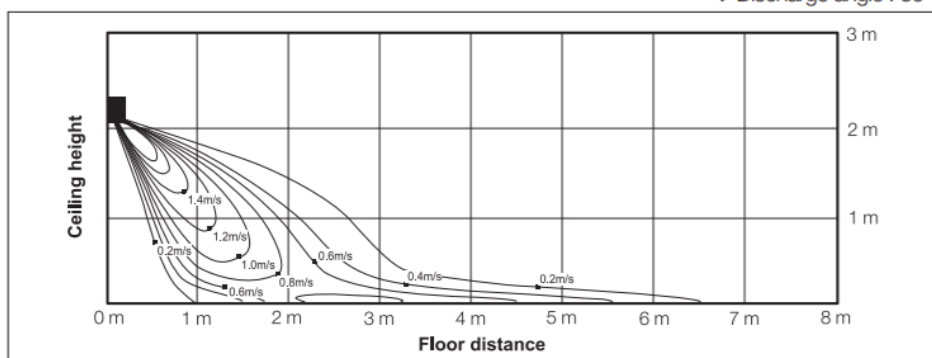
Nástěnná klimatizační jednotka

Nejběžnější typ vnitřní jednotky. Výhody jsou snadná instalace, údržba i pořizovací náklady. Její nevýhodou však je, že vyvábí průvan, který je pro uživatele nepříjemný a mají tendence se mu vyhýbat.

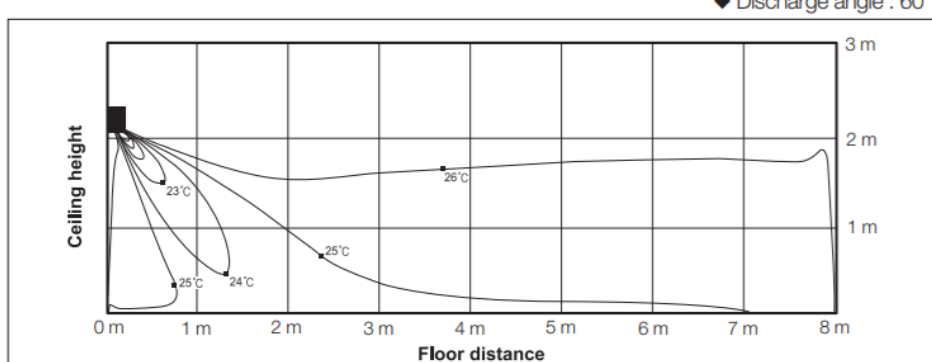
Tab. 2 – Technické parametry pro nástěnnou klimatizační jednotku [5]

Chladicí výkon [kW]	Příkon (nom.) chlazení [W]	Typ ventilátoru	Přípojovací potrubí kap./plyn. [mm]
2,8	25	Radiální	6,35/12,70
3,6	30	Radiální	6,35/12,70
5,6	45	Radiální	6,35/12,70

(1) Cooling air velocity distribution



(2) Cooling temperature distribution



Obr. 11 – Nástěnná jednotka - (1) Rychlost proudu vyfukovaného vzduchu, (2) rozložení teploty v místnosti



Obr. 12 – Vnitřní nástěnná klimatizační jednotka Samsung

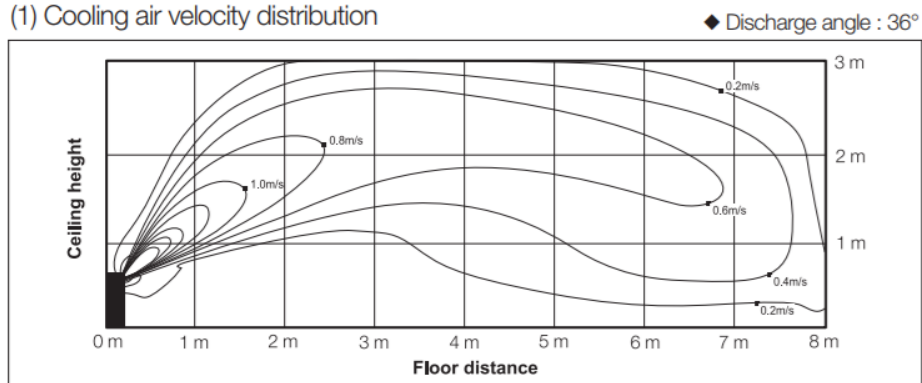
Parapetní klimatizační jednotka

Velkou výhodou parapetní jednotky je, že může směřovat proud vzduchu do více směrů, dopředu či nahoru, což uživateli nabízí větší komfort. Lze ji umístit pod okno, a nasměřovat proud vzduchu podél stěny tak, že poté chladný vzduch padá příjemně směrem dolů.

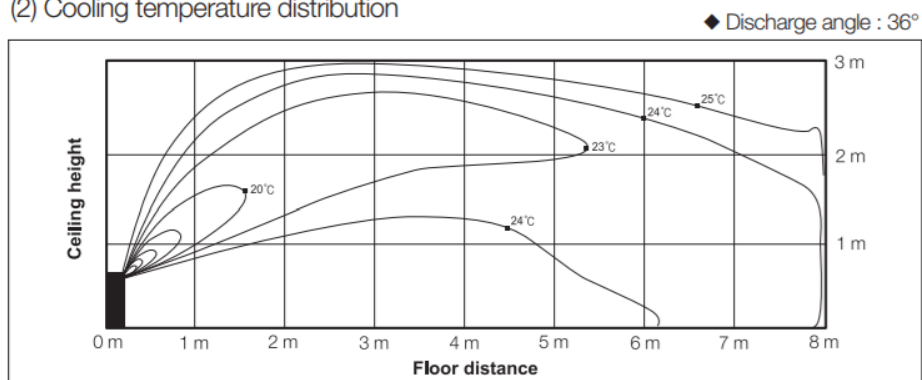
Tab. 3 – Technické parametry pro parapetní klimatizační jednotku [5]

Chladicí výkon [kW]	Příkon (nom.) chlazení [W]	Typ ventilátoru	Připojovací potrubí kap./plyn. [mm]
3,6	35	Turbo fun	6,35/12,70
5,6	62	Turbo fun	6,35/12,70

(1) Cooling air velocity distribution



(2) Cooling temperature distribution



Obr. 13 – Parapetní jednotka - (1) Rychlost proudu vyfukovaného vzduchu, (2) rozložení teploty v místnosti



Obr. 14 – Vnitřní parapetní klimatizační jednotka Samsung

Kondenzační jednotka

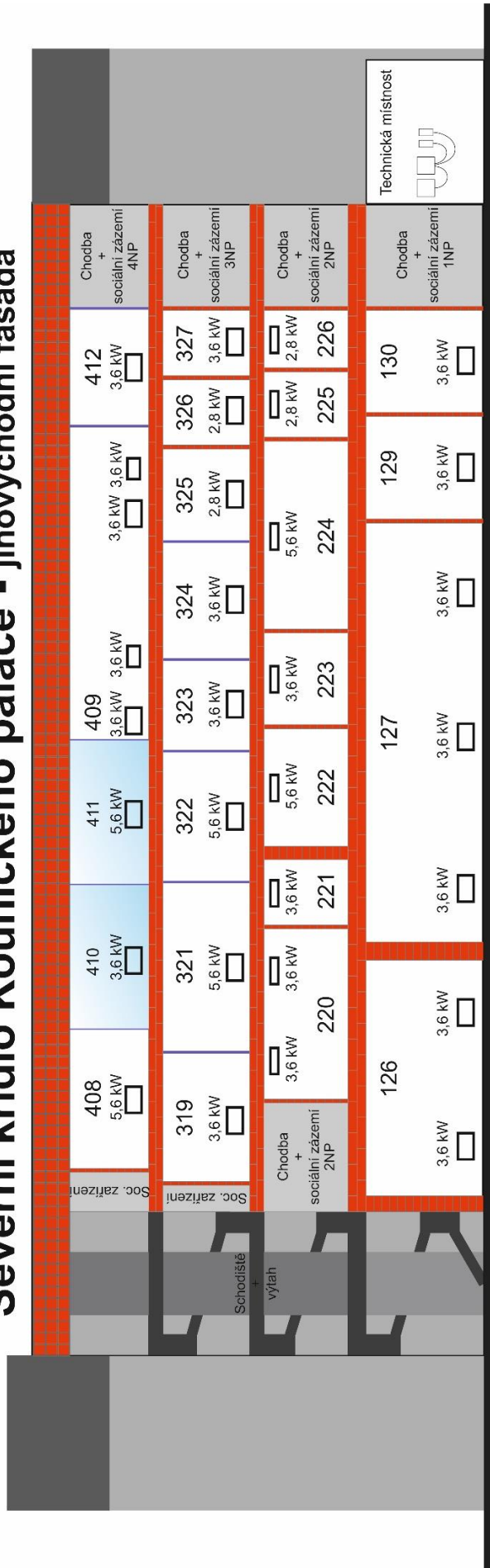
Tab. 4 – Technické parametry pro kondenzační (venkovní) klimatizační jednotku [5]

Chladicí výkon	50,40 kW
Příkon (nom.) - chladicí	12,88 kW
EER (nom.) - chladicí	3,91
ESEER	6,59
Kompresor	SCC Scroll x 2
Ventilátor	Axiální x 2
Přípojně potrubí – kap./plyn.	15,88 mm/28,58 mm
Provozní teplotní rozsah	-5,0 ~ 48,0 °C



Obr. 15 – Kondenzační jednotka pro systém VRF Samsung

Severní křídlo Kounického paláce - jihovýchodní fasáda



Obr. 16 – Schéma chlazení v kancelářích (nástěnné a parapetní vnitřní klimatizační jednotky)

5. Výpočet tepelné zátěže a potřeby chladícího výkonu

5.1 Návrhové parametry

Provoz v pobytových místnostech se zajišťuje tak, aby byly dodrženy přípustné mikroklimatické podmínky uvedené v příloze č. 1, s výjimkou mimořádně chladných nebo mimořádně teplých dnů. Za mimořádně chladný den se považuje den, kdy nejnižší teplota venkovního vzduchu dosáhla hodnoty nižší než $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za mimořádně teplý den se považuje den, kdy nejvyšší teplota venkovního vzduchu dosáhla hodnoty vyšší než $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. [13]

Tab. 5 – Návrhové parametry pro exteriér, oblast Praha

Roční období	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Entalpie [kJ/kg]
Léto	30	58

Tab. 6 – Návrhové parametry pro interiér

Místnost		Vyhláška č.6/2003 Sb.		Hodnoty pro výpočet	
č.m.	popis	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Relativní vlhkost	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Relativní vlhkost
126	Kancelář Zasedací místnost Recepce	24,5±1,5	nejvýše 65 %	24	50 %
127					
129					
130					
220					
221					
222					
223					
224					
225					
226					
319					
321					
322					
323					
324					
325					
326					
327					
408					
409					
410					
411					
412					

5.2 Součinitel prostupu tepla

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

U ... součinitel prostupu tepla [W/m²K]

α_i ... součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [W/m².K]

α_e ... součinitel přestupu tepla na vnější straně [W/m².K]

d ... tloušťka konstrukce [m]

λ ... součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]

Výpočet součinitele prostupu tepla pro stěnu tl. 800 mm

Skladba stěny:	10 mm	Vápenná omítka	$\lambda = 0,88$ W/m.K
	780 mm	Zdivo z plných cihel	$\lambda = 0,84$ W/m.K
	10 mm	Vápenocementová o.	$\lambda = 0,99$ W/m.K

$$\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\alpha_e = 15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \left(\frac{0,01}{0,88} + \frac{0,78}{0,84} + \frac{0,01}{0,99}\right) + \frac{1}{15}} = 0,72 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Tab. 7 – Vypočítané hodnoty součinitele prostupu tepla

Typ konstrukce	Tloušťka konstrukce [mm]	Součinitel prostupu tepla [W/m ² K]
Obvodová stěna 1NP	1000	0,72
Obvodová stěna 2NP	800	0,88
Obvodová stěna 3NP	650	1,04
Obvodová stěna 4NP	500	1,24
Střecha	300	0,188

5.3 Výpočet tepelné zátěže vnějšími stěnami

Velikost tepelné zátěže vnějších stěn závisí na velikosti plochy stěny, součiniteli prostupu tepla, tloušťce stěny a orientaci ke světovým stranám. U místnosti s výrazným podílem prosklených ploch má prostup tepla stěnou zanedbatelný význam, vzhledem k celkové tepelné zátěži. Vliv se projeví zejména u místností s lehkou fasádou.

Těžké stěny ($d \geq 450$ mm) mají vysokou tepelnou kapacitu, tzn. že kolísání teplot na vnitřním povrchu stěny lze zanedbat. Tepelná zátěž se určí podle vztahu: [14][15]

$$Q_S = U \cdot S \cdot (t_{rm} - t_i)$$

Q_S ... tepelná zátěž vnější stěny [W]

U ... součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

S ... plocha stěny [m^2]

t_{rm} ... průměrná rovníčná sluneční teplota [$^{\circ}\text{C}$]

t_i ... návrhová teplota interiéru [$^{\circ}\text{C}$]

Výpočet tepelné zátěže pro stěnu tl. 800 mm, místnost č.126

Jihovýchodní fasáda

$$U = 0,72 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$S = 18,2 \text{ m}^2$$

$$t_{rm} = 30,2 \text{ }^{\circ}\text{C} [2]$$

$$t_i = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_S = U \cdot S \cdot (t_{rm} - t_i) = 0,72 \cdot 18,2 \cdot (30,2 - 24) = \mathbf{81,24 \text{ W}}$$

Tab. 8 – Výsledky tepelné zátěže jednotlivými stěnami klimatizovaných místností

Místnost	Orientace stěny	Tepelná zátěž
126	JV	81
127	JV	195
129	JV	38
130	JV	38
220	JV	87
221	JV	31
222	JV	52
223	JV	48
224	JV	97
225	JV	31
226	JV	25
319	JV	75
321	JV	108
322	JV	75
323	JV	59
324	JV	65
325	JV	44
326	JV	38
327	JV	38
408	JV	50
	SZ	51
	celkem	101
409	JV	200
	SZ	205
	celkem	405
410	SZ	59
411	SZ	59
412	JV	45

5.4 Výpočet tepelné zátěže střechou

U středně těžkých stěn ($80 \leq d \leq 450$ mm) je třeba respektovat kolísání teplot v důsledku nestacionárního vedení tepla.

$$Q_{ST} = U \cdot S_{ST} \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})]$$

Q_{ST} ... tepelná zátěž střechou [W]

U ... součinitel prostupu tepla [$W/m^2 \cdot K$]

S_{ST} ... plocha střechy [m^2]

t_{rm} ... průměrná rovnocenná sluneční teplota pro střechu, sklon 32° ,
jihovýchod [$^\circ C$]

t_i ... návrhová teplota interiéru [$^\circ C$]

m ... součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou [-]

$$m = \frac{1+7,6 \cdot \delta}{2500\delta} \quad \delta \dots \text{tloušťka stěny [m]}$$

$t_{r\psi}$... rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější [°C]

$$\psi = 32\delta - 0,5 \text{ [h]} \quad \psi \dots \text{fázové posunutí teplotních kmitů [-]}$$

Výpočet tepelné zátěže střechou pro místnost č.408

Orientace: jihovýchod

$$U = 0,188 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$S_{ST} = 12,5 \text{ m}^2$$

$$t_{rm} = 39,8 \text{ °C}$$

$$t_i = 24,0 \text{ °C}$$

$$m = 0,314$$

$$t_{r\psi} = 16,2 \text{ °C}$$

$$Q_{ST} = U \cdot S_{ST} \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})]$$

$$Q_{ST} = 0,188 \cdot 12,5 \cdot [(39,8 - 24,0) + 0,314 \cdot (16,2 - 39,8)] = \mathbf{19,7 \text{ W}}$$

Tab. 9 – Výsledky tepelné zátěže střechou klimatizovaných místností

Místnost	Orientace stěny	Tepelná zátěž
408	JV	20
409	JV	79
412	JV	18

5.5 Tepelná zátěž okny

5.5.1 Prostup tepla oknem konvekci

$$Q_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i)$$

U ... součinitel prostupu tepla oknem [W/m².K]

S_o ... plocha okna včetně rámu [m²]

t_i - t_e ... rozdíl teplot mezi venkovním a vnitřním prostředím [K]

Výpočet tepelné zátěže oknem konvekcí pro okno v místnosti č.126

$$U_o = 2,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$S_o = 9,9 \text{ m}^2$$

$$t_e = 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_i = 24,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i) = 2,9 \cdot 9,9 \cdot (30,0 - 24,0) = \mathbf{172,3 \text{ W}}$$

Tab. 10 – Výsledky tepelné zátěže oknem konvekcí klimatizovaných místností

Místnost	Okno			Tepelná zátěž konvekcí [W]
	Plocha [m ²]	počet	U _o [W/m ² ·K]	
126	9,9	2	2,9	345
127	7,5	2	2,9	261
	2,7	2	2,9	94
129	7,5	1	2,9	131
130	7,5	1	2,9	131
220	2,4	2	1,6	46
221	2,4	1	1,6	23
222	2,4	2	1,6	46
223	2,4	1	1,6	23
224	2,4	3	1,6	69
	2,8	1	1,6	27
225	2,4	1	1,6	23
226	2,4	1	1,6	23
319	2,4	2	1,6	46
321	2,4	2	1,6	46
322	2,4	2	1,6	46
323	2,4	1	1,6	23
324	2,4	2	1,6	46
325	2,4	2	1,6	46
326	2,4	1	1,6	23
327	2,4	1	1,6	23
408	1,8	1	2,9	31
	0,5	2	2,9	17
	1,3	2	2,9	45
409	1,8	2	2,9	63
	0,5	8	2,9	70
	1,3	8	2,9	181
410	1,3	3	2,9	68
411	1,3	3	2,9	68
412	0,5	2	2,9	17

5.5.2 Prostup tepla oknem radiací

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_0 \cdot c_0 + (S_o - S_{os}) \cdot I_{0d}] \cdot s \cdot n_o$$

S_{os} ... osluněný povrch okna [m^2]

I_0 ... celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením [W/m^2]

I_{0d} ... intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením [W/m^2]

n_o ... počet oken [-]

s ... stínící součinitel [-]

c_o ... korekce na čistotu atmosféry, $c_o = 1$ [-] (Město)

Osluněný povrch okna

$$S_{os} = [L - (e_1 - f)] \cdot [H - (e_2 - g)]$$

L ... šířka zasklené části okna [m]

H ... výška zasklené části okna [m]

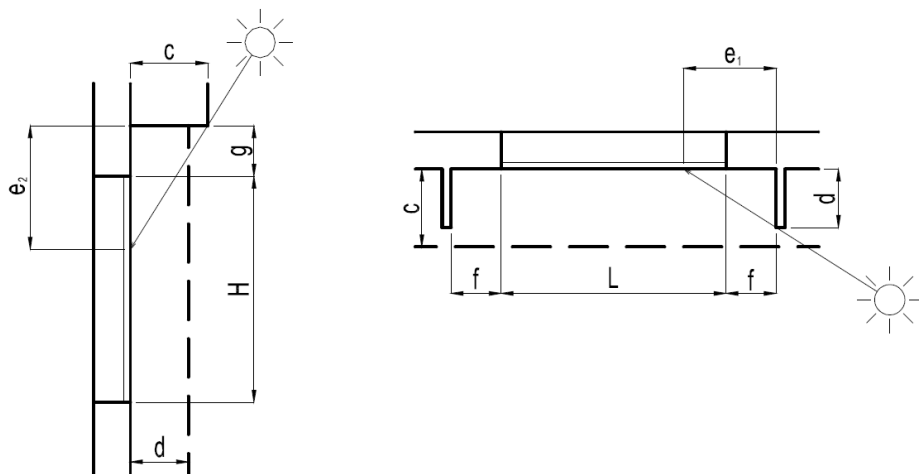
f ... odstup vodorovné části okna od slunolamů [m]

g ... odstup svislé části okna od slunolamů [m]

e_1, e_2 ... délky stínu v okenním otvoru od kraje slunolamů [m]

c ... hloubka okna vzhledem k horní stínící desce [m]

d ... hloubka okna [m]



Obr. 17 – Oslunění oken [15]

Výpočet tepelné zátěže oknem radiací pro okno v místnosti č.126

$$S_o = 9,9 \text{ m}^2$$

$$S_{os} = 8,8 \text{ m}^2$$

$$I_0 = 506 \text{ W/m}^2$$

$$I_{0d} = 130 \text{ W/m}^2$$

$$c_o = 1$$

$$s = 0,8$$

$$n_o = 2$$

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_0 \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{0d}] \cdot s \cdot n_o$$

$$Q_{or} = [8,8 \cdot 506 \cdot 1 + (9,9 - 8,8) \cdot 130] \cdot 0,8 \cdot 2 = \mathbf{7353,3 \text{ W}}$$

Snížení tepelných zisků od oslunění

$$\Delta Q = 0,05 \cdot M \cdot \Delta t$$

ΔQ ... snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken [W]

M ... hmotnosti obvodových stěn (bez vnější stěny), podlahy a stropu, které přicházejí do úvahy pro akumulaci [kg]

Δt ... maximální přípustné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru [K]

Tab. 11 – Výsledky tepelné zátěže oknem radiací klimatizovaných místností

Místnost	Okno			Tepelná zátěž radiací [W]	Snížení tepelné zátěže [W]	Celková zátěž radiací [W]
	Plocha okna [m ²]	Plocha zasklení [m ²]	počet			
126	9,9	8,8	2	7353	1172	6182
127	7,5	6,6	2	5531	1806	7956
	2,7	6,1	2	4231		
129	7,5	6,6	1	2765	567	2198
130	7,5	6,6	1	2765	567	2198
220	2,4	1,7	2	1522	761	761
221	2,4	1,7	1	761	429	332
222	2,4	1,7	2	1522	595	927
223	2,4	1,7	1	761	512	249
224	2,4	1,7	3	2283	927	2249
	2,8	2,0	1	893		
225	2,4	1,7	1	761	429	332
226	2,4	1,7	1	761	404	357

319	2,4	1,7	2	1522	798	724
321	2,4	1,7	2	1522	525	997
322	2,4	1,7	2	1522	313	1209
323	2,4	1,7	1	761	219	542
324	2,4	1,7	2	1522	281	1241
325	2,4	1,7	2	1522	338	1184
326	2,4	1,7	1	761	453	308
327	2,4	1,7	1	761	453	308
408	1,8	1,4	1	608	519	644
	0,5	0,3	2	284		
	1,3	0,9	2	270		
409	1,8	1,4	2	1217	1817	1619
	0,5	0,3	8	1138		
	1,3	0,9	8	1082		
410	1,3	0,9	3	406	175	231
411	1,3	0,9	3	406	238	168
412	0,5	0,3	2	284	59	226

5.6 Produkce tepla od lidí

$$Q_L = 6,2 \cdot n_L \cdot (36 - t_i)$$

Q_L ... tepelná zátěž od lidí [W]

n_L ... počet lidí [-]

t_i ... návrhová teplota interiéru [°C]

Výpočet tepelné zátěže od lidí pro místnost č.126

$$n_L = 12 \text{ os}$$

$$t_i = 24 \text{ °C}$$

$$Q_L = 6,2 \cdot n_L \cdot (36 - t_i) = 6,2 \cdot 12 \cdot (36 - 24) = \mathbf{893 \text{ W}}$$

5.7 Produkce tepla od svítidel

Předpokládáme, že denní světlo svítí v pásmu 4 m od oken.

$$Q_{SV} = q_{sv} \cdot S_{sv} \cdot c_1$$

Q_{SV} ... tepelná zátěž od osvětlení [W]

q_{sv} ... produkce tepla na 1 m² podlahové plochy [W/m²]

S_{sv} ... osvětlovaná plocha [m²]

c_1 ... součinitel současnosti používání svítidel [-]

Výpočet tepelné zátěže od svítidel pro místnost č.126

$$q_{sv} = 30 \text{ W/m}^2 \text{ (zářivky)}$$

$$S_{sv} = 14,5 \text{ m}^2$$

$$c_1 = 0,7$$

$$Q_{sv} = q_{sv} \cdot S_{sv} \cdot c_1 = 30 \cdot 14,5 \cdot 0,7 = \mathbf{305 \text{ W}}$$

5.8 Produkce tepla od technologie

Tab. 12 – Tepelné zisky od elektronického vybavení

Typ zařízení	Tepelná zátěž [W]
Počítač	165
Monitor	50
Laserová tiskárna	70
Projektor	100

$$Q_t = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot \sum P$$

Q_t ... produkce tepla od technologií [W]

P ... elektrický příkon stroje [W]

c_1 ... součinitel současnosti [-]

c_2 ... zbytkový součinitel [-]

c_3 ... součinitel zatížení [-]

Výpočet tepelné zátěže od technologií pro místnost č.126

- Projektor: P = 100 W

- Počítač: P = 165 W

- Monitor: P = 50 W

- odhadem: $c_1 = 0,7$ $c_2 = 1,0$ $c_3 = 0,7$

$$Q_t = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot \sum P = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot (50 + 165 + 100) = \mathbf{155 W}$$

5.9 Celkové tepelné zisky

Tab. 13 – Celkové tepelné zisky

Místnost	Tepelná zátěž [W]							Instalovaný vnitřní chladicí výkon [W]
	Vnější stěnou	Střechou	Okny	Od lidí	Od svítidel	Od strojů	Celkem	
126	81	-	6527	893	305	315	7776	7200
127	195	-	8311	1042	504	4940	14637	10800
129	38	-	2329	223	17	1075	3551	3600
130	38	-	2329	446	17	1290	3989	3600
220	87	-	807	298	87	1060	2293	7200
221	31	-	355	149	42	500	1054	3600
222	52	-	973	446	76	1590	3091	5600
223	48	-	272	223	59	645	1224	3600
224	97	-	2345	595	143	2450	5534	5600
225	31	-	355	223	42	645	1273	2800
226	25	-	380	149	37	430	998	2800
319	75	-	770	298	263	860	2220	3600
321	108	-	1043	744	137	315	2301	5600
322	75	-	1255	298	105	860	2547	5600
323	59	-	565	223	74	645	1543	3600
324	65	-	1287	446	95	0	1847	3600
325	44	-	1230	149	74	500	1951	2800
326	38	-	331	149	53	430	978	2800
327	38	-	331	149	53	430	978	3600
408	101	20	737	372	0	500	1637	5600
409	405	79	1933	1786	0	5300	9189	14400
410	59	-	299	372	0	0	662	3600
411	59	-	236	595	0	315	1137	5600
412	45	18	243	446	0	0	735	3600
Celkem	1894	117	35243	10714	2183	25095	75246	120400

6. Měření spotřeby energie na klimatizaci budovy

Chladicí VRV systémy jsou napojené na integrované řízení včetně modulu rozhraní měřiče spotřeby PIM, který je napojený na elektroměry. Systém má vlastní elektrický okruh a lze tedy měřit spotřebu energie pouze na klimatizaci budovy. V ideálním případě tak má ovladač možnost sbírat, sledovat a následně odesílat data na webové rozhraní, odkud lze jednoduše klimatizaci budovy řídit.

V tomto případě byl však ovladač během měření mimo provoz!

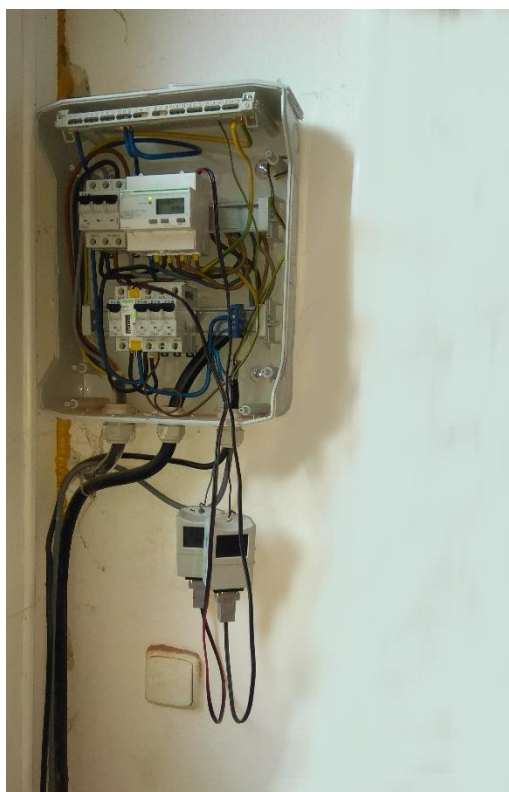
Měření bylo provedeno pomocí elektroměrů, přičemž data byla ukládána na paměť Dataloggeru s čítacím a binárním vstupem od výrobce Comet. V elektrickém okruhu jsou zapojeny čtyři elektroměry, které měří spotřebu energie klimatizace. Každý systém má jeden elektroměr na venkovní kondenzační jednotku a jeden na skupinu vnitřních jednotek v systému. Po odpojení modulu PIM od elektroměrů jsme dataloggery připojili na svorky elektroměrů a v 5-ti minutovém intervalu zaznamenávali počet pulsů.



Obr. 18 – Datalogger s čítacím a binárním vstupem [16]



Obr. 19 – Technická místnost – (zleva) ovladač integrovaného řízení DMS 2, modul rozhraní měřiče spotřeby PIM, rozvodová skříň s elektroměry pro systém 2. a 3. NP.



Obr. 20 – Rozvodová skříň s elektroměry pro systém 1. a 4. NP.



Elektroměr iEM 2010

3200 pulsů/kWh

Obr. 21 – Elektroměr pro vnitřní jednotky – typ iEM 2010 [17]



Elektroměr iEM 3110

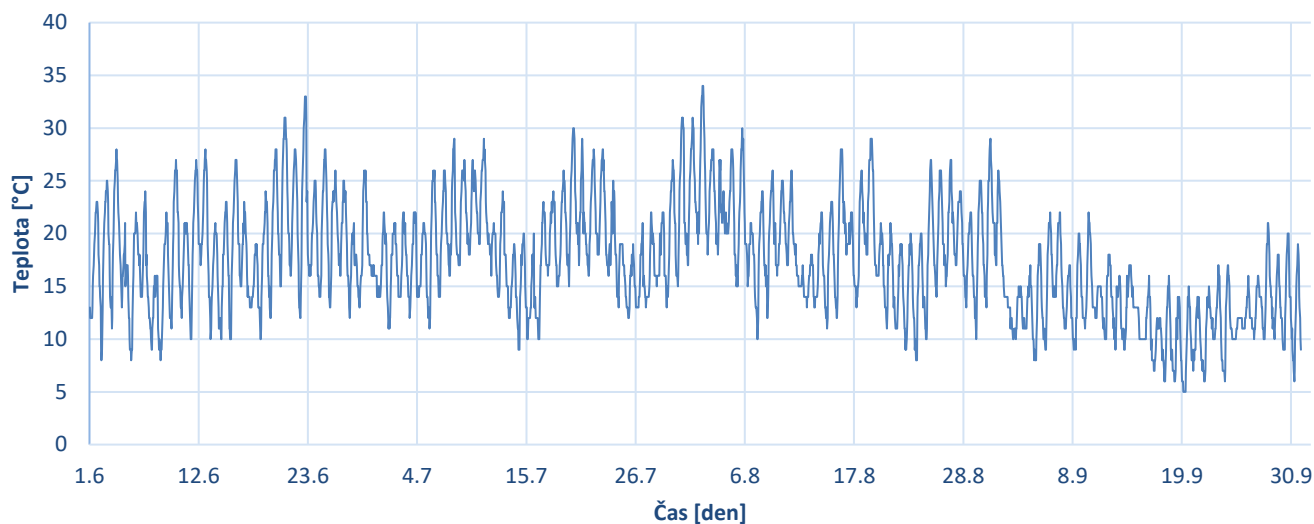
500 pulsů/kWh

Obr. 22 – Elektroměr pro venkovní jednotky – typ iEM 3110 [18]

7. Průběh teplot

Hodnoty dat pro venkovní teplotu v Praze byly převzaty ze zdroje [19]

Průběh venkovní teploty v období 1.6. - 30.9.2017

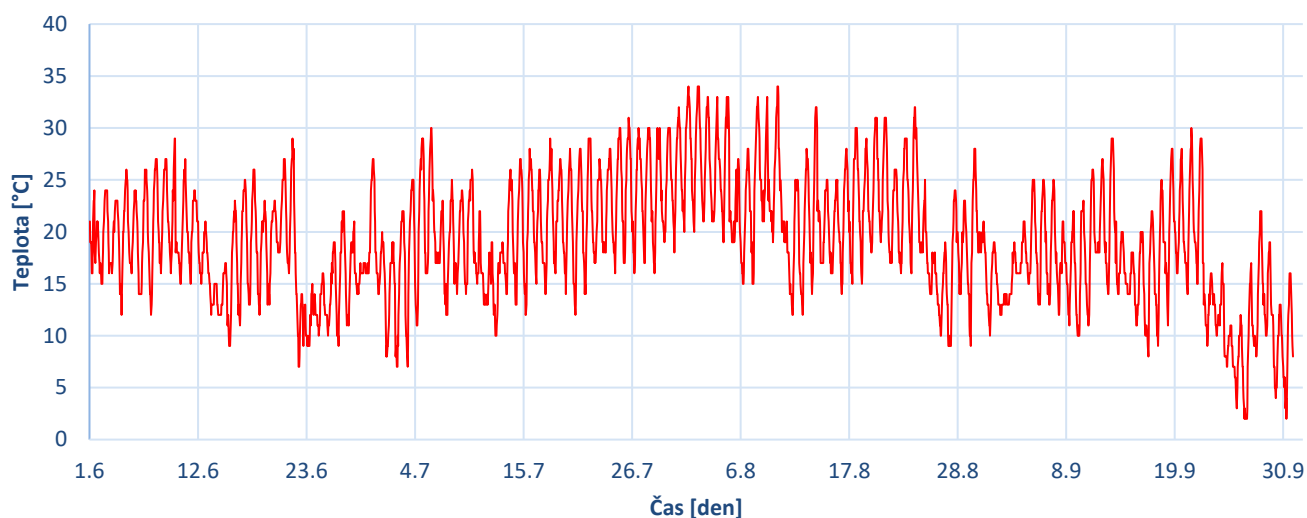


Obr. 23 – Průběh venkovní teploty v Praze, v období 1.6.-30.9.2017

Rok 2017 není vzhledem k průběhu venkovních teplot nijak extrémní. Běžná denní teplota se pohybuje v intervalu 20 - 25 °C a nejvyšší denní teploty přesáhnou do intervalu 25 – 30 °C, teploty nad 30 °C jsou ojedinělé. Maximální dosažená teplota v období od 1.6. do 30.9. 2017 byla 1. srpna, a to 34 °C. Současně je to také den s nejvyšší průměrnou teplotou, tj. 26,4 °C. Jako nejteplejší týden bychom mohli označit týden na přelomu července a srpna, od 31.7. do 6.8. 2017. Naproti tomu minimální dosažená teplota 5 °C v měřeném období byla 19. září. Rozdíl teplot mezi noční a denní dobou se pohybuje okolo 10 °C.

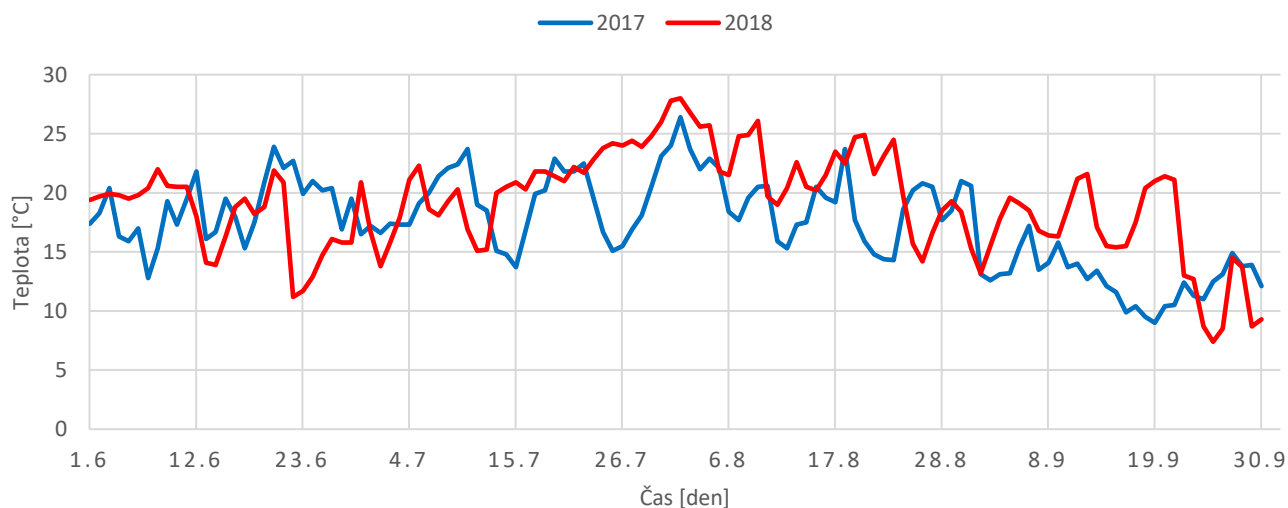
Rok 2018 je vzhledem k roku 2017 teplejší, což je patrné z četnosti vysokých teplot v tab. 13. Běžná denní teplota se již pohybuje v intervalu 25 – 30 °C a nejvyšší denní teploty již často přesahují hranici 30 °C. Maximální dosažená teplota v období od 1.6. do 30.9. 2018 byla opět 34 °C a byla dosažena v několika dnech, ovšem nejvyšší průměrná teplota 28 °C byla 1. srpna. Nejteplejší týden je opět na přelomu července a srpna, od 30.7. do 5.8. 2018. Nejnižší teplota v tomto období byla 2 °C dne 26. září.

Průběh venkovní teploty v období 1.6. - 30.9.2018



Obr. 24 – Průběh venkovní teploty v Praze, v období 1.6.-30.9.2018

Srovnání denních průměrných venkovních teplot v období 1.6. - 30.9. v letech 2017/2018



Obr. 25 – Průběh venkovní teploty v Praze, v období 1.6.-30.9. 2017/2018

Na obr. 25 vidíme graf, který srovnává průběh průměrných denních teplot v letních měsících, v roce 2017 a 2018. Tento graf nám také ukazuje, že rok 2018 byl podstatně teplejší, než-li rok 2017, zejména tedy v měsících srpen a září. Lze pozorovat křivku

průměrných teplot v daném období v roce 2017, jak osciluje kolem teploty 20 °C, od začátku září pak hodnoty průměrné venkovní teploty klesly pod hodnotu 15 °C.

8. Analýza naměřených dat

8.1 Princip intervalové metody

Pro výpočet předpokládaných spotřeb energie byla použita intervalová metoda.

a) Spočítáme tepelné zisky pro celou budovu, viz kapitola 5

- tepelná zátěž vnější stěnou
- tepelná zátěž střechou
- tepelná zátěž okny
- tepelná zátěž od lidí
- tepelná zátěž od svítidel
- tepelná zátěž od strojů

b) Určení intervalů venkovní teploty pro výpočty:

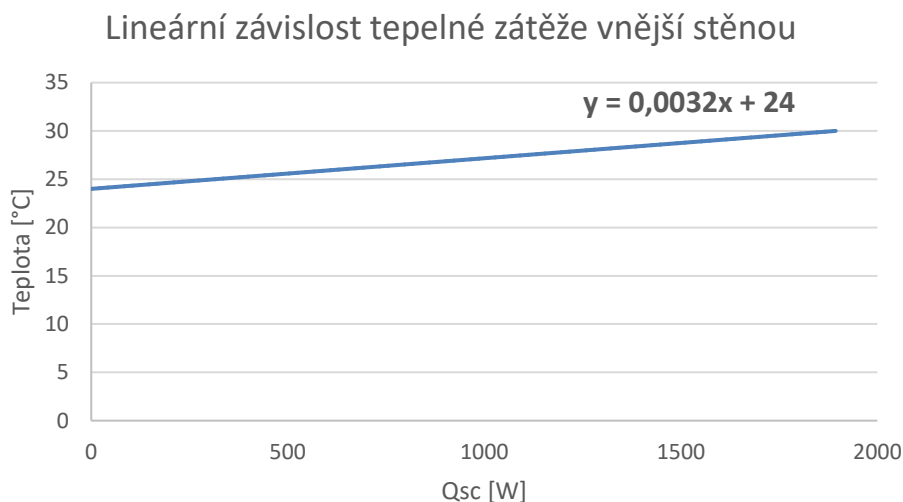
Tab. 14 – Intervaly a jejich rozsah teplot

Interval	I	II	III	IV	V	VI
Rozsah teplot [°C]	Do 12,5	12,5~17,5	17,5~22,5	22,5~27,5	27,5~32,5	Nad 32,5
Střední teplota [°C]	10	15	20	25	30	35

c) *Úprava tepelných zisků dle daných intervalů*

- celková tepelná zátěž vnější stěnou => $Q_{sc} = 1\,894\text{ W}$

- po dosažení střední teploty daného intervalu do lineární rovnice za hodnotu Y dopočítáme tepelnou zátěž vnější stěnou pro tento interval teplot



Obr. 26 – Lineární závislost tepelné zátěže vnější stěnou

Tab. 15 – Tepelná zátěž vnější stěnou v daných intervalech

Interval	I	II	III	IV	V	VI
Rozsah teplot [°C]	Do 12,5	12,5~17,5	17,5~22,5	22,5~27,5	27,5~32,5	Nad 32,5
Tepelná zátěž [W]	-4375	-2813	-1250	313	1894	3438

- celková tepelná zátěž okny => $Q_{oc} = 35\,243\text{ W}$

- pro zjednodušení výpočtu uvažujeme 10% snížení tepelné zátěže okny, viz tab. 17

Tab. 16 – Tepelná zátěž okny v daných intervalech

Interval	I	II	III	IV	V	VI
Rozsah teplot [°C]	Do 12,5	12,5~17,5	17,5~22,5	22,5~27,5	27,5~32,5	Nad 32,5
Tepelná zátěž [W]	21146	24670	28194	31719	35243	38767

- celková tepelná zátěž od lidí, svítidel a strojů se nemění, hodnoty nejsou závislé na venkovní teplotě

d) *Určení četnosti výskytu dané teploty v intervalu*

Tab. 17 – Četnost teplot v daných intervalech

Interval [°C]	do 12,5	12,5 - 17,5	17,5 - 22,5	22,5 - 27,5	27,5 - 32,5	nad 32,5
2017	56	213	297	174	40	3
2018	31	129	253	244	108	9
2003 (max)	19	21	149	246	231	126
Referenční rok	0	76	240	292	152	32

Tab. 17 udává četnost venkovních teplot v daných teplotních intervalech pro pracovní dny v období 1.6. – 30.9.2017 a pracovní dobu od 8 do 17 hodin. Pro srovnání je zde také uveden referenční rok a rok 2003, který se vyznačuje nadprůměrně vysokými hodnotami.

e) *Výpočet předpokládané spotřeby*

- jelikož hodnoty venkovních teplot jsou dány jako průměrná teplota za hodinu, hodnota četnosti v tab. 17 udává, kolik hodin byl rozsah teplot jednotlivých intervalů v daném období aktuální
- výslednou předpokládanou spotřebu tedy získáme jako součin upravené celkové tepelné zátěže jednotlivých intervalů a hodnoty četnosti daného intervalu.

8.2 Výpočet předpokládaných spotřeb

Tab. 18 – Vstupní hodnoty pro výpočet předpokládané spotřeby intervalovou metodou

Interval		Tepelná zátěž [kW]					Četnost teplot 2017
	Rozsah teplot [°C]	Vnější stěnou	Okny	Od lidí	Od svítidel	Od strojů	
I	do 12,5	- 4,4	21,1	10,7	2,2	25,1	56
II	12,5 ~ 17,5	- 2,8	24,7				213
III	17,5 ~ 22,5	- 1,3	28,2				297
IV	22,5 ~ 27,5	0,3	31,7				174
V	27,5 ~ 32,5	1,9	35,2				40
VI	nad 32,5	3,4	38,8				3

$$Q_{PS} = Q_{CI} \cdot n_t$$

Q_{PS} ... předpokládaná spotřeba [kWh]

Q_{CI} ... celková tepelná zátěž upravená dle daného intervalu [kW]

n_t ... četnost teplot v daném intervalu [h]

$$Q_{PS} = Q_{CI} \cdot n_t = (-4,4 + 21,1 + 10,7 + 2,2 + 25,1) \cdot 56 = \mathbf{3063 kWh}$$

Tab. 19 – Výsledné hodnoty předpokládané spotřeby v jednotlivých intervalech

Interval	I	II	III	IV	V	VI	Celkem
Spotřeba energie 2017 [kWh]	3063	12759	19275	12180	3004	241	50522

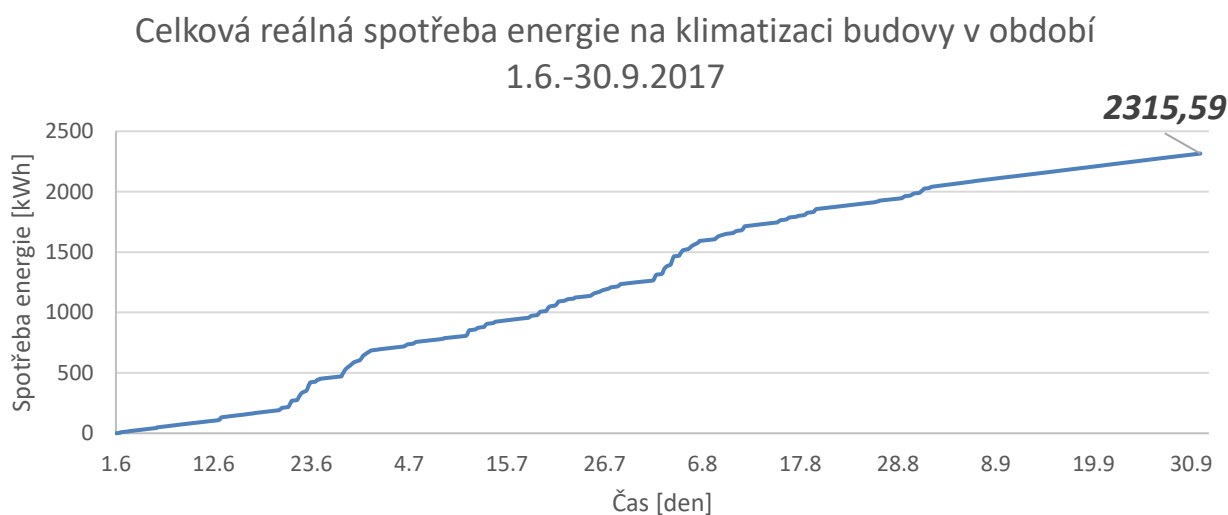
Celková předpokládaná spotřeba energie na klimatizaci budovy v pracovní dny v období 1.6. – 30.9.2017 a v pracovní době od 8 do 17 hodin dle intervalové metody vychází **50 522 kWh**, tzn. že by každý systém musel jet během pracovní doby na **64%** výkon a dodávat tak chladicí výkon **32,3 kW** za každou hodinu.

Tab. 20 – Výsledné hodnoty předpokládané spotřeby v jednotlivých intervalech pro roky 2017, 2018, 2003 a referenční rok

Interval	I	II	III	IV	V	VI	Celkem	Výkon [%]
Spotřeba energie 2017 [kWh]	3063	12759	19275	12180	3004	241	50522	64
Spotřeba energie 2018 [kWh]	1696	7727	16420	17080	8111	722	51756	66
Spotřeba energie 2003 [kWh]	1039	1258	9670	17220	17348	10105	56640	71
Spotřeba energie Ref. rok [kWh]	0	4552	15576	20440	11415	2566	54549	68

9. Data reálné spotřeby energie na klimatizaci budovy

Měření spotřeby energie na klimatizaci budovy probíhalo v období od 1.6. do 30.9. 2017. V roce 2018 proběhlo pouze částečné měření, za účelem porovnání dat reálné spotřeby v daném období.



Obr. 27 – Celková reálná spotřeba energie na klimatizaci budovy v období 1.6. – 30.9.2017

Celková spotřeba energie za měřené období na příkonu jednotek je **2 315,6 kWh**, v pracovní dobu je to **1 138,2 kWh**. Chceme-li tuto reálnou hodnotu spotřeby energie porovnávat s předpokládanou hodnotou spotřeby, je nutné ji pomocí chladicího faktoru zdroje chladu EER, převést na chladicí výkon jednotky.

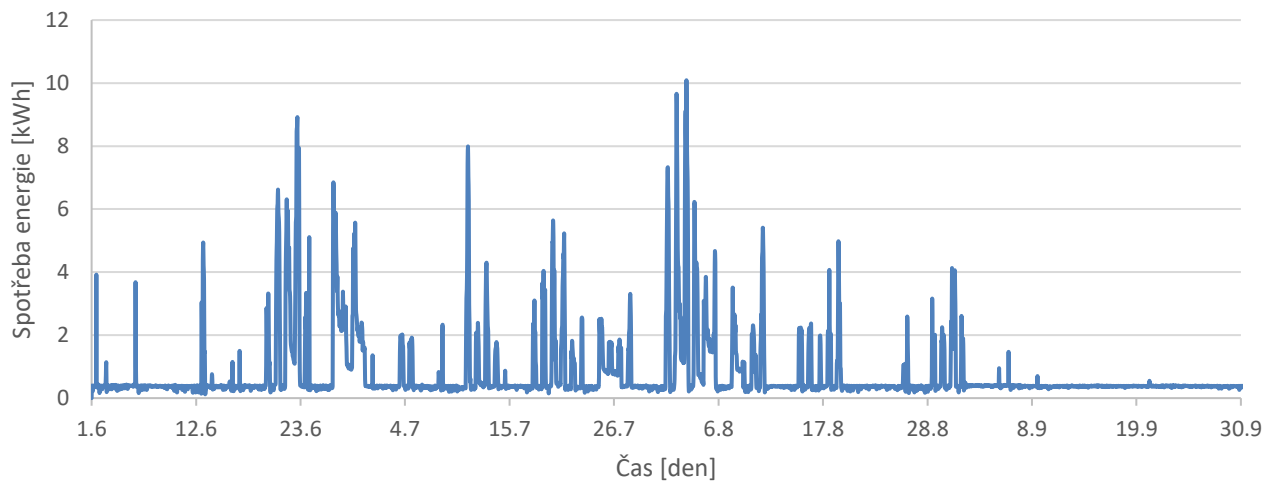
$$EER = 3,91$$

$$Q_{RS,P} = 1138,2 \text{ kWh}$$

$$Q_{RS} = EER \cdot Q_{RS,P} = 3,91 \cdot 1138,2 = \mathbf{4450,4 \text{ kWh}}$$

=> každý systém jel v průměru na **5,6 %**, což je oproti předpokládanému výkonu značný rozdíl.

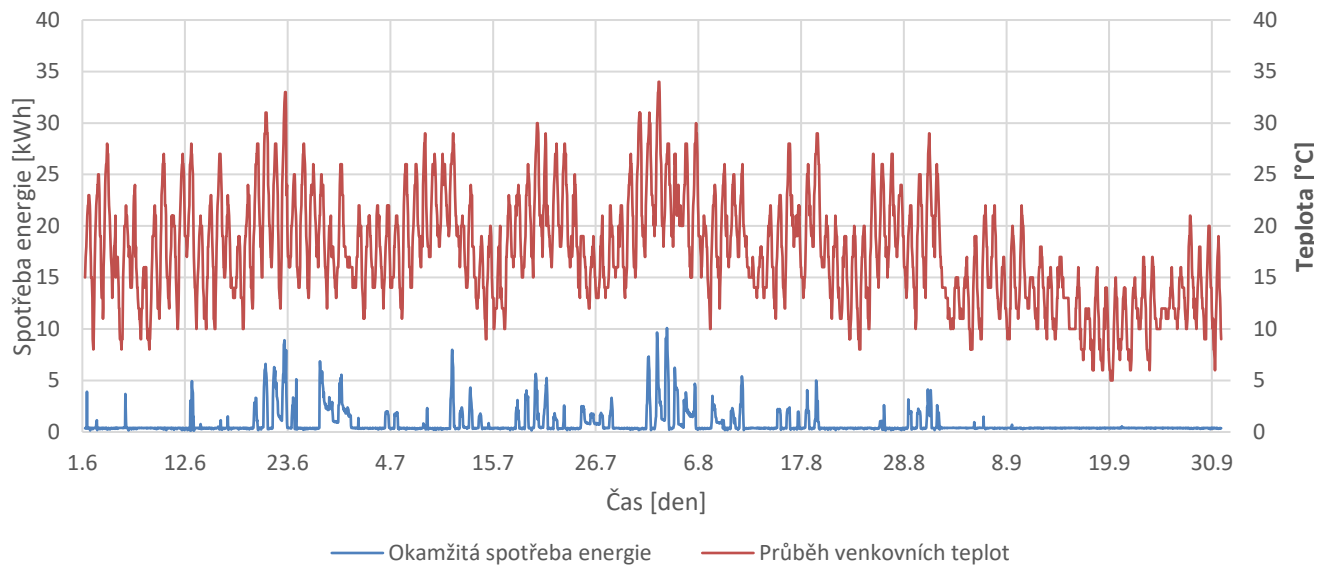
Okamžitá reálná spotřeba energie budovy v období 1.6.-30.9.2017



Obr. 28 – Okamžitá reálná spotřeba energie na klimatizaci budovy v období 1.6. – 30.9.2017

Na obr. 28 vidíme, že hodnoty okamžité reálné spotřeby dosahují nejvýše 10 kWh, což není ani polovina instalovaného výkonu.

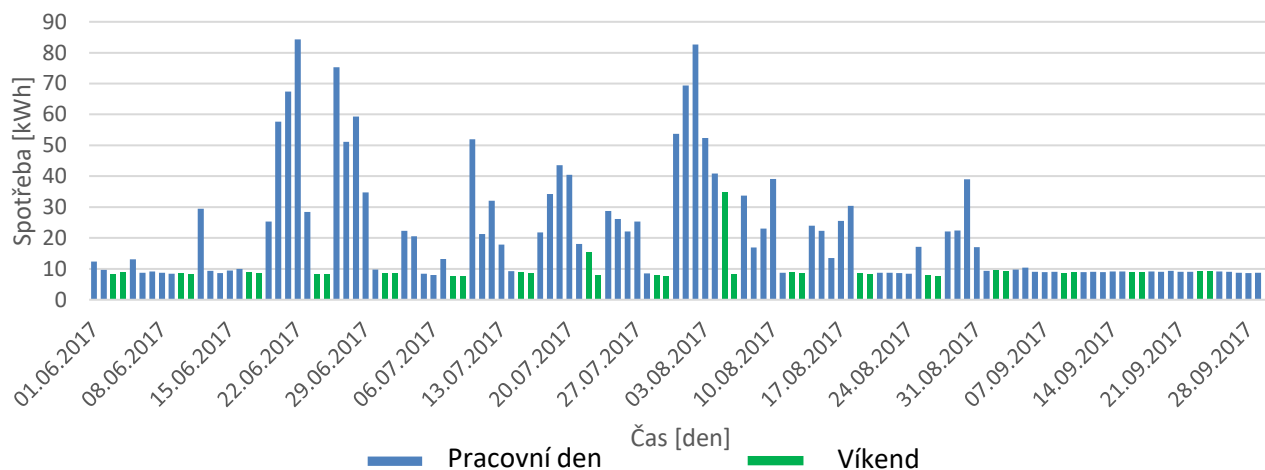
Porovnání okamžité spotřeby energie v závislosti na venkovní teplotě



Obr. 29 – Porovnání okamžité spotřeby energie v závislosti na venkovní teplotě v období 1.6. – 30.9.2017

Na grafu z obr. 29 je zřetelně vidět, jak roste okamžitá reálná spotřeba energie na klimatizaci budovy společně s venkovní teplotou. Jakmile venkovní teplota klesne pod 20 °C, spotřeba energie klesne na nutné minimum.

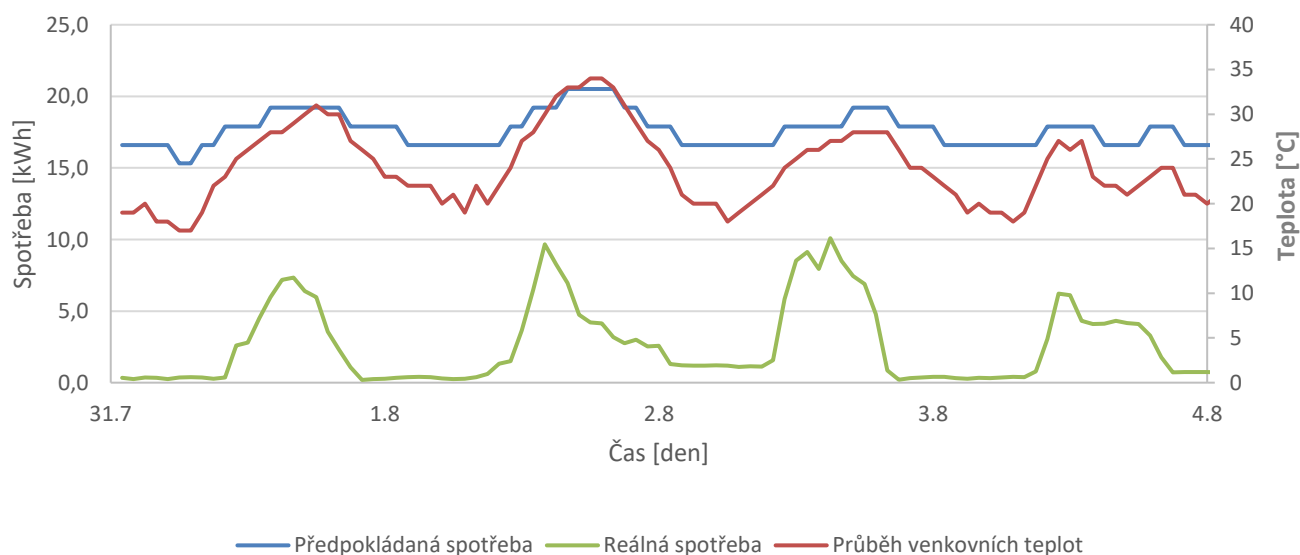
Reálná spotřeba kWh/den budovy v období 1.6.-30.9.2017



Obr. 30 – Reálná spotřeba kWh/den klimatizované budovy v období 1.6. – 30.9.2017

Na obr. 30 je znázorněna reálná denní spotřeba energie na klimatizaci budovy. Dle spotřeby jde vidět, že zaměstnanci chodí do práce pouze v pracovní dny a víkendové dny tak nemají téměř žádnou spotřebu energie.

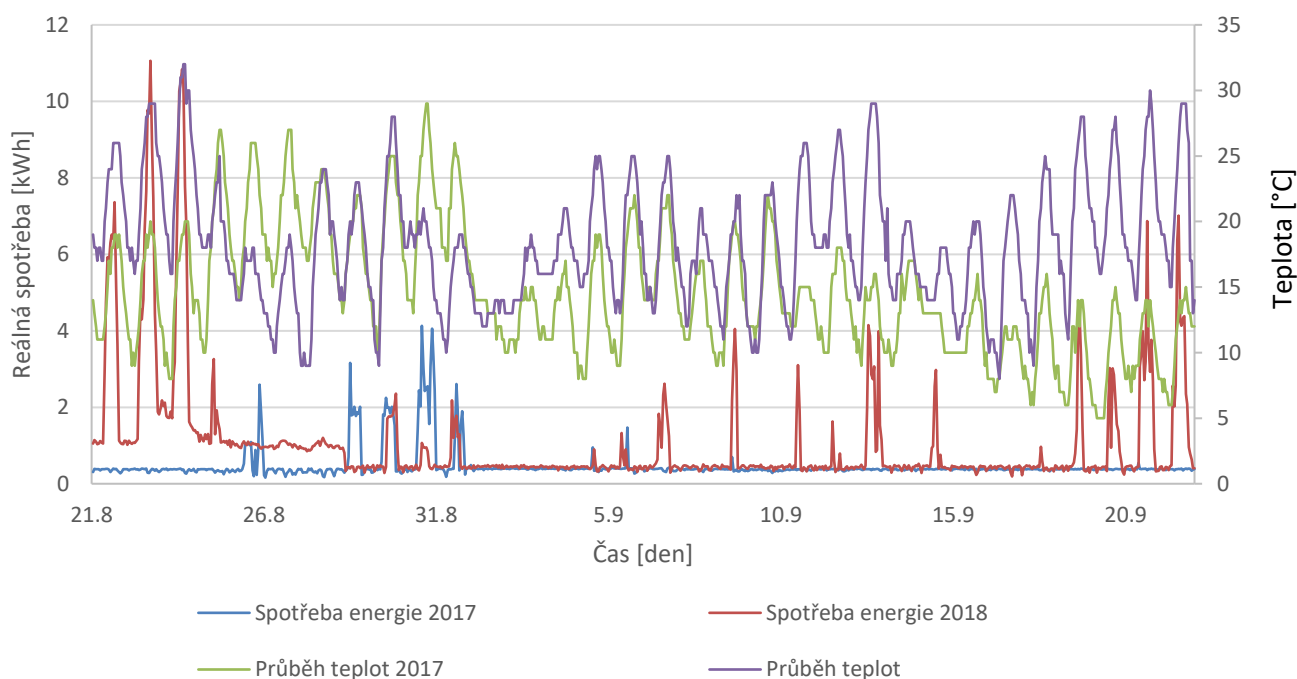
Porovnání reálné a předpokládané spotřeby s průběhem venkovní teploty



Obr. 31 – Porovnání reálné a předpokládané spotřeby energie v závislosti na venkovní teplotě pro pracovní dny v nejteplejším týdnu roku 2017

Na obr. 31 jsou znázorněny pracovní dny v týdnu 31.7.-4.8. 2017. Tento týden byl nejteplejší v roce, stejně tak reálná spotřeba za týden byla nejvyšší. Průběh křivek je téměř stejný, avšak maxima reálné spotřeby energie jsou posunuty o cca 3-4 hodiny. Poté co již spotřeba energie klesá, venkovní teplota ještě stále roste. Maximální teplota v tomto týdnu dosáhla hodnoty 34 °C a maximální okamžitá spotřeba 10,09 kWh, což je stále méně než polovina možného výkonu. Průměrná předpokládaná spotřeba se v tomto týdnu pohybuje okolo hodnoty 17 kWh.

Porovnání reálných spotřeb energie v období 21.8.-21.9. v letech 2017/2018



Obr. 32 – Porovnání reálných spotřeb energie v závislosti na venkovní teplotě pro období 21.8.-21.9. v letech 2017/2018

V září v letech 2017 a 2018 jsou vidět jasné rozdíly v průběhu teplot, stejně tomu odpovídá i průběh spotřeby energie. Rok 2017 v této době chladnější, a tak není potřeba chladit místnosti v budově.

10. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo spočítat předpokládanou spotřebu energie na klimatizaci administrativní budovy, naměřit reálné spotřeby energie, analyzovat tyto data a následně vyhodnotit reálné spotřeby energie na klimatizaci budovy.

Vypočítaná spotřeba energie intervalovou metodou se od reálné spotřeby značně liší. Režim užívání klimatizačního zařízení v dané budově je velmi úsporný a zařízení neběží na plný výkon. Naproti tomu intervalovou metou jsme spočítali velmi vysoké spotřeby na klimatizaci budovy.

Data reálné spotřeby jsou uvedené v kapitole 9. Zde je provedeno porovnání závislosti reálné spotřeby energie na klimatizaci budovy v závislosti na venkovní teplotě, či porovnání s předpokládanou spotřebou energie.

Z grafů je patrné i v úsporném režimu užívání klimatizace, že reálná spotřeba v podstatě kopíruje průběh venkovních teplot.

11. Zdroje

- [1] Klimatizační systémy a chlazení pro vzduchotechniku [online]. [cit. 11.1.2019]
Dostupné z:
https://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/A_VZT%2011_09.pdf
- [2] Kotásek P., Systémy chlazení a jejich řízení v kancelářských provozech: Bakalářská práce, VUT, Fakulta stavební, 2014, 143 s. [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=90565
- [3] Schiessl [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
<https://www.schiessl.cz/stranka-chladici-okruh-princip-funkce-118>
- [4] ACHS [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
<https://achs.cz/typy-klimatizace/>
- [5] ISSUU [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
https://issuu.com/anklima_samsung_cennik_2013/docs/samsung_cennik_2013_komplet/84
- [6] KMOKlima [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
http://www.kmoklima.cz/images/katalogy/Samsung_8_Controls.pdf
- [7] Vyhláška č.6/2003 Sb., ze dne 15. ledna 2003, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-6#p3>
- [8] Norma ČSN 73 0548. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha 1986
- [9] Chylský J. a kol.: Větrání a klimatizace. Vydání třetí. Vydalo nakladatelství BOLIT v roce 1993. 560s.
- [10] Zmrhal V., Výpočet tepelné zátěže, ČVUT, Fakulta strojní, 14 s. [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf
- [11] Počasí.divoch.net [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z:
<http://pocasi.divoch.cz/praha.php>

Obr. 6, obr. 7 – Dostupné z:

<https://www.toshiba-klima.at/cz/technicke-podrobnosti-vyroby-vrf.html>

Obr. 8 – Dostupné z:

<https://mapy.cz/zakladni?x=14.4476995&y=50.0760994&z=11>

Obr. 10 – Dostupné z:

http://www.kmoklima.cz/images/katalogy/Samsung_8_Controls.pdf

Obr. 11, obr. 13 – Dostupné z:

<https://www.samsung.com/common/files/techinfo/AC071FBNDEH/EU/52.pdf>

Obr. 12 – Dostupné z:

[https://www.dvmdownload.com/DVM-S-Series-\(VRF\)/DVM-S-Indoor-Units/Wall-Mount--%7C-Neo-Forte-With-EEV-%7C-AM0**HNQDCHAA](https://www.dvmdownload.com/DVM-S-Series-(VRF)/DVM-S-Indoor-Units/Wall-Mount--%7C-Neo-Forte-With-EEV-%7C-AM0**HNQDCHAA)

Obr. 14 – Dostupné z:

<http://www.samsungcentrum.eu/klimatizace-do-bytu-rodneho-domu/samsung-fjm-parapetni-klimatizace>

Obr. 15 – Dostupné z:

https://samsunghvac.com/products/dvm_s_heat_pump.html

Obr. 17 – Dostupné z:

http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf

Obr. 18 – Dostupné z:

https://www.cometsystem.cz/produkty/zaznamnik-s-citacim-a-binarnim-vstupem/reg-s7021#tab_download

Obr. 21 – Dostupné z:

<https://electrical-components.com/schneider/a9mem2010.html>

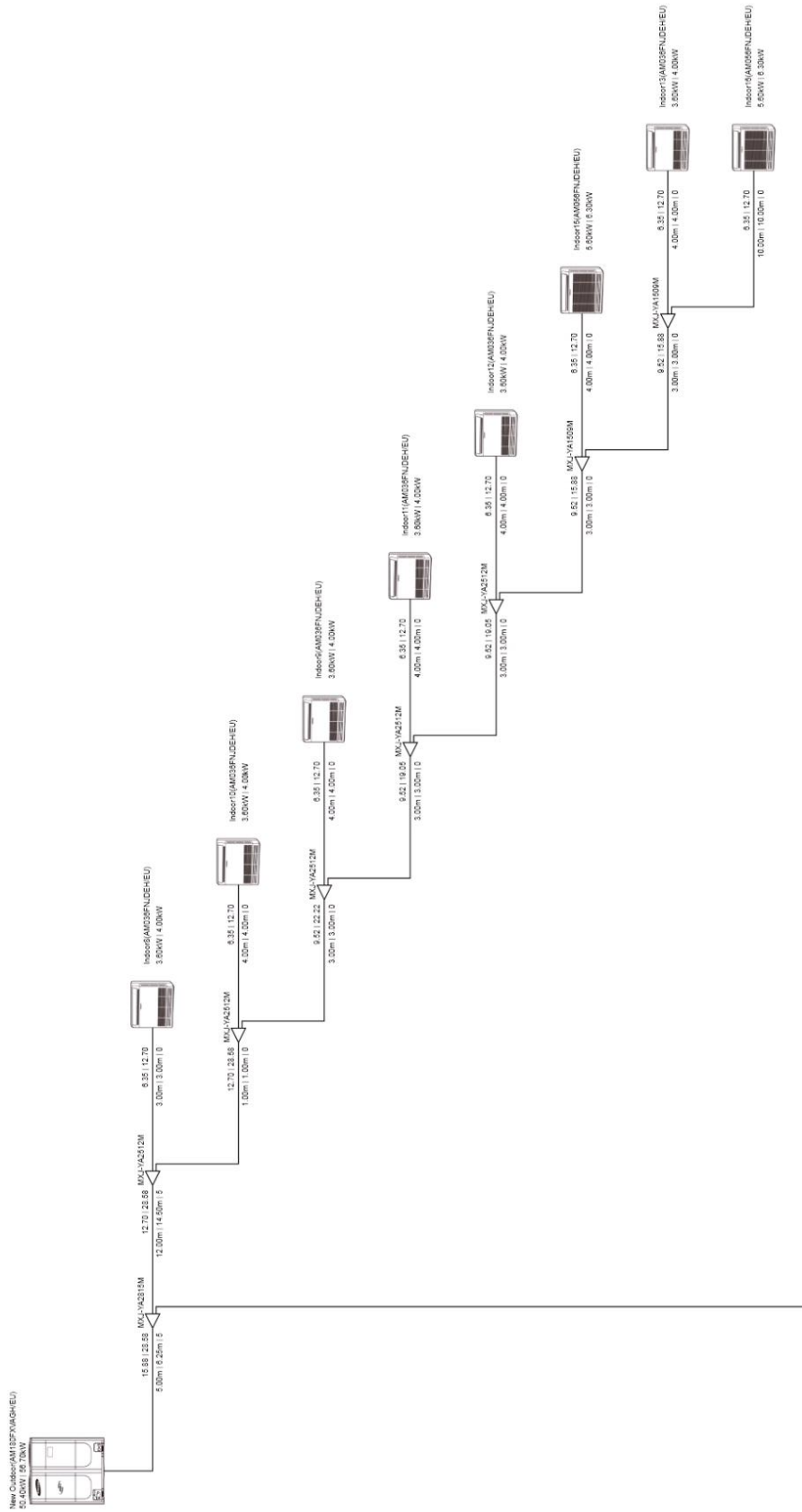
Obr. 22 – Dostupné z:

<https://www.metermarket.co.uk/product/iem-3110-3-phase-63a-din-pulse-output-energy-meter-a9mem3110/>

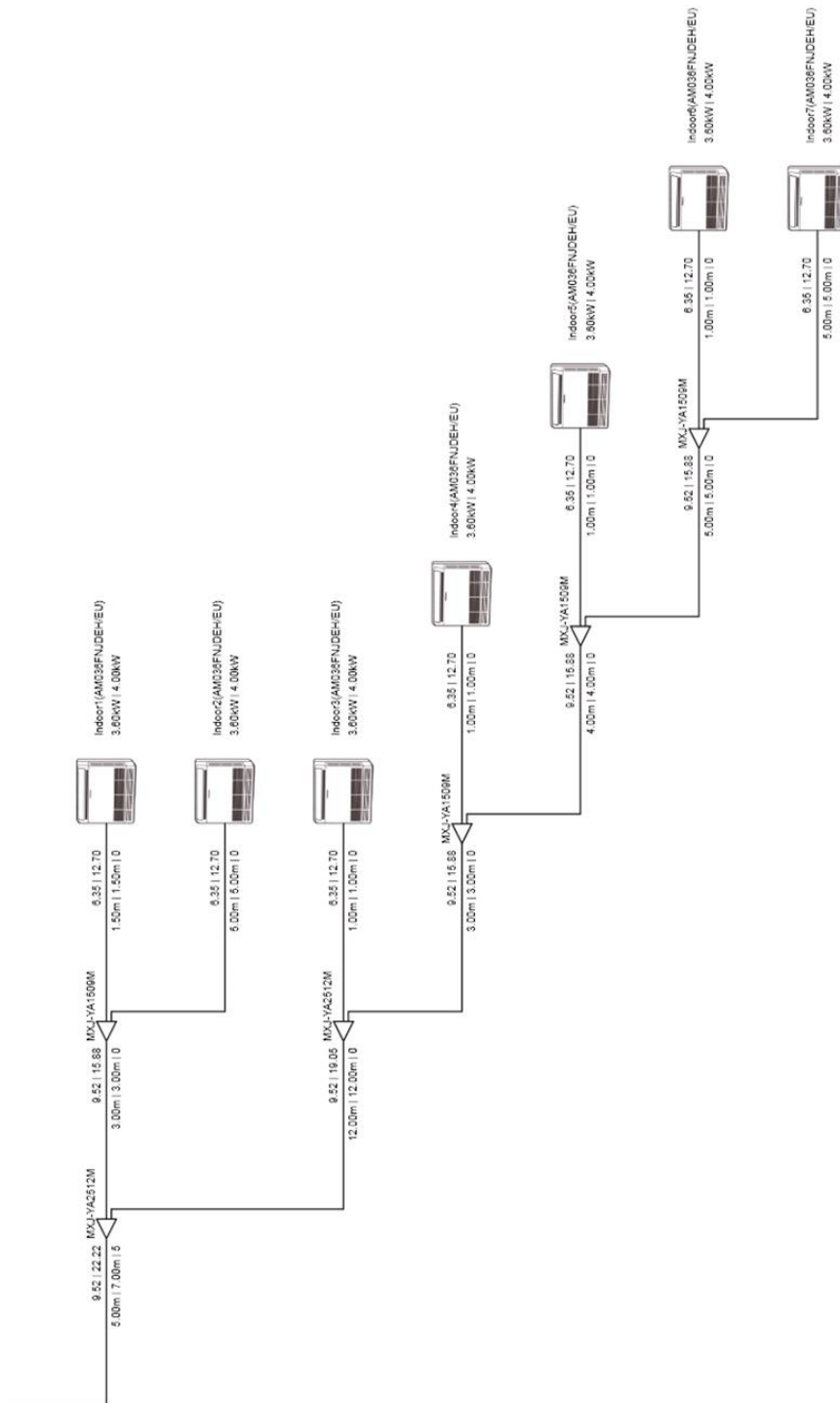
SEZNAM PŘÍLOH

- A.** Schéma zapojení klimatizačního systému pro 4. NP
- B.** Schéma zapojení klimatizačního systému pro 1. NP
- C.** Schéma zapojení klimatizačního systému pro 2.+3. NP (1.část)
- D.** Schéma zapojení klimatizačního systému pro 2.+3. NP (2.část)

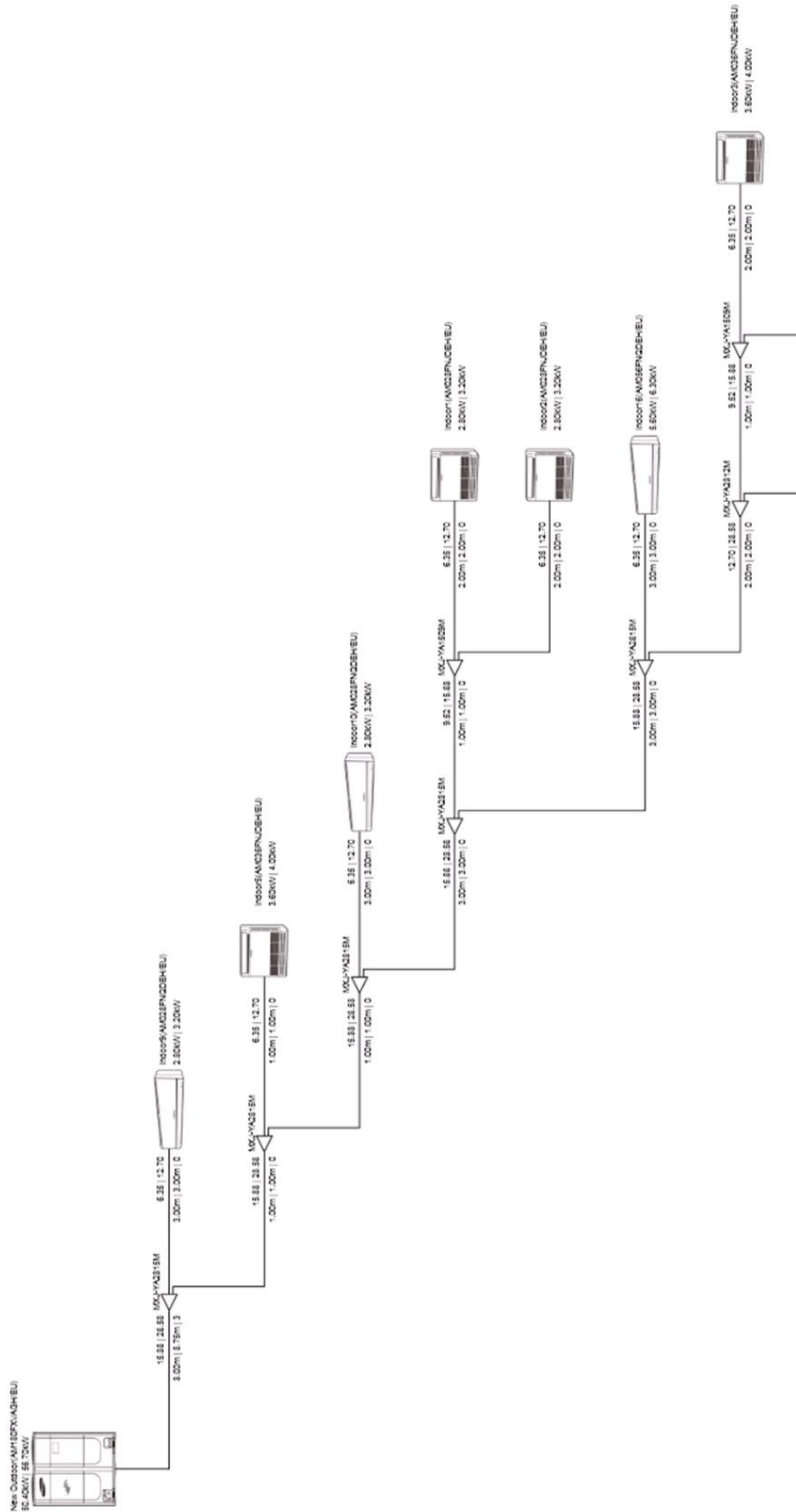
Příloha A – Schéma zapojení klimatizačního systému pro 4. NP



Příloha B – Schéma zapojení klimatizačního systému pro 1. NP



Příloha C – Schéma zapojení klimatizačního systému pro 2.+3. NP (1. část)



Příloha D – Schéma zapojení klimatizačního systému pro 2.+3. NP (2. část)

