Diplomová práce

Ústav techniky prostředí

České vysoké učení technické

Fakulta strojní

Název diplomové práce:

Provoz klimatizace administrativních budov

Vedoucí práce:

Ing. Miloš Lain, Ph.D.

Anotace:

Práce se zabývá analýzou dat spotřeb chlazení budov České pojišťovny a Generali na Pankráci, které jsou v závěru vyhodnocena a navržena úsporná opatření. V práci je také porovnána metoda návrhu klimatizačního systému se skutečným systémem.

Abstract:

The thesis deals with the analysis of the consumption data of cooling of the buildings of Česká pojišťovna and Generali in Pankrác, which in the end are evaluated and proposed austerity measures. The thesis also compares the design method of the air-conditioning system with the actual system.

1 Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ....

podpis

2 Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Miloši Lainovi, Ph. D. za věcné připomínky, rady a vstřícnost při konzultacích. Mé poděkování též patří panu Josefu Zítovi a jeho spolupracovníkům, za jeho čas a rady při návštěvách budov České pojišťovny a Generali na Pankráci.

3 Obsah

1 Prohlášení 3
2 Poděkování 4
3 Obsah 5
4 Seznam použitého značení 7
5 Úvod 8
6 Teoretický základ 9
6.1 Rozdělení klimatizačních systémů 9
6.2 Vodní klimatizační systém s ventilátorovými konvektory (Fan-Coil) 10
6.2.1 Princip fungování Fan-coilů: 10
6.2.2 Využití 11
6.3 Akumulace chladu 11
6.3.1 Výhody akumulace chladu: 12
6.3.2 Rozdělení akumulace chladu 13
6.3.3 Použití vody 13
6.3.4 Použití ledu 14
6.3.5 Použití PCM: 14
7 Popis budov 17
7.1 Budova Pankrác I 18
7.1.1 Chlazení / klimatizace 19
7.1.2 Distribuce a rozvod 20
7.2 Budova Pankrác II 23
7.2.1 Zdroje chlazení 25
7.2.2 Chladící věže 26
7.2.3 Ledobanka 27
7.2.4 Provoz chlazení 29
8 Výpočet tepelné zátěže 30
8.1 Výpočet venkovních tepelných zisků 31
8.1.1 Vlastnosti použitých konstrukcí 33
8.1.2 Denní průběh tepelné zátěže nejextrémnějšího dne: 34
8.2 Výpočet vnitřních tepelných zisků 37
8.2.1 Tepelné zisky od zaměstnanců 37
8.2.2 Tepelné zisky od osvětlení: 37

8.2.3 Tepelné zisky od technologií instalovaných v kancelářích 37
8.2.4 Tepelné zisky od kuchyně a kavárny 37
8.2.5 Tepelné zisky od serveroven 38
8.2.6 Tepelné „zisky" od ledobanky 38
8.2.7 Tepelné zisky větráním 38
9 Zpracování dat 40
10 Budova Pankrác II 44
10.1 Typický průběh spotřeb 44
10.1.1 Rozdělení spotřeb 44
10.1.2 Spotřeba zdrojů chladu 46
10.1.3 Freecooling - analýza a úspora 49
10.1.4 Spotřeba věží 52
10.1.5 Spotřeba čerpadel 53
10.1.6 Závislost spotřeby budovy na venkovní teplotě. 55
10.1.7 Nestandartní situace 57
10.1.8 Optimalizace systému 60
10.1.9 Porovnání zisků dle ČSN s reálnou spotřebou 61
11 Budova Pankrác I 64
11.1 Typický průběh spotřeb 64
11.2 Optimalizace systému 69
12 Závěr 72
13 Seznamy 73
13.1 Seznam obrázků 73
13.2 Seznam tabulek 73
13.3 Seznam grafů 74
13.4 Seznam příloh 76
13.5 Seznam zdrojů 76

4 Seznam použitého značení

Značení:	Veličina:	Jednotka:
c_v	Měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/Kg.K]
Q_K	Tepelná zátěž od kuchyně	[kW]
Q_L	Tepelná zátěž od lidí	[kW]
Q_{SV}	Tepelná zátěž od osvětlení	[kW]
Q_T	Tepelná zátěž od technologií	[kW]
Q_V	Tepelná zátěž od větrání	[kW]
Q_Z	Tepelná ztráta	[kW]
Q_{za}	Tepelná zátěž	[W]
ρ_v	Hustota vzduchu	[Kg/m^3]
S_{chk}	Plocha	[m^2]
S_p	Spotřeba energie	[kWh]
S_{vz}	Plocha	[m^2]
T	Teplota	[K]
t_e	Venkovní teplota	[°C]
t_i	Vnitřní teplota	[°C]
U	Součinitel prostupu tepla	[W/m^2.K]
V_{min}	Hygienicky minimální průtok vzduchu	[m^3/h]

5 Úvod

Motivací inovace většiny technologií zařízení budov je skutečnost, že člověk tráví většinu svého života ve vnitřním prostředí budov. Hygienické normy nás při dnešních možnostech nutí udržovat toto prostředí člověku čím dál víc příznivější, což se projevuje jak na finanční náročnosti pořízení, tak údržbě těchto technologií, technologií k úpravě vzduchu, systémům větrání a klimatizace.

Systém klimatizace budov je poměrně složitá záležitost, kde by člověk při jeho návrhu a provozu neměl nechat veškeré výpočty pouze na výpočtovém softwaru. Nad každým vypočteným číslem lze polemizovat, jestli je to opravdu hodnota, ke které se chceme dostat.

Správnými zásahy do návrhu systému a do jeho provozu mohou ve výsledku přinést výrazné úspory nákladů a energií. Je známo, že chlazení budov je přibližně třikrát dražší, než vytápění, což při optimalizaci potvrzuje možnosti velké finanční úspory. Po umocnění velikostí budovy se při vhodném měření a regulaci systému možnosti úspor zvyšují.

Stejně jako platí pro mnoho dalších odvětví, tak tady platí minimálně třikrát tolik: Peníze až na prvním místě.

6 Teoretický základ

6.1 Rozdělení klimatizačních systémů

Klimatizace je proces úpravy tepelného a vlhkostního stavu ovzduší, čistoty a proudění vzduchu pro obytné, společenské a průmyslové budovy, dopravní prostředky, technologické procesy. Proměnnost okrajových podmínek (venkovní klima, vnitřní tepelné a vlhkostní zátěž) vyžaduje převážně automatické řízení procesů úpravy vzduchu v závislosti na změnách venkovních i vnitřních podmínek. Klimatizace komfortní je vždy spojena s přívodem čerstvého venkovního vzduchu – větráním.[1]

Na samotné dělení klimatizačních systémů lze nahlížet z několika pohledů:

- **Dělení systémů podle látky, přenášející chlad (teplo)**
    - Vzduch
    - Voda
    - Kombinace (voda/vzduch)
    - Chladivo

Pomocí poměru tepelných kapacit lze výše zmíněné klimatizační systémy srovnat pomocí průřezů potrubí při zachování stejného chladícího výkonu. Rozdíly jsou tvořeny růzností fyzikálních vlastností teplonosných látek a jejich způsob sdílení tepla. Vzduch a voda přenáší teplo pouze v podobě citelného tepla. Chladivo přenáší teplo prostřednictvím tepla vázaného.

Porovnání se provádí při odvodu typické letní zátěže Q_{za} = 3 000 W. Při daných standartních podmínkách vychází průřez vzduchového vzduchovodu S_{vz} = 0,025 m^2, průřez vodního potrubí Sw = 0,00012 m^2 a průřez chladivového potrubí S_{chk} = 0,00002 m^2.

Z hlediska prostorových nároků jsou na tom samozřejmě nejhůře vzduchové systémy, nejlépe pak systémy chladivové. Výsledný poměr průřezů je 1/100/1000.[5]

- **Dělení systémů podle požadavků na upravovaný prostor a jeho rozmanitost, neboli počet zón, ve kterých dochází k individuálním změnám tepelné (vlhkostní) zátěže**
    - Jednozónové
    - Vícezónové
- **Hlavní typy klimatizačních systémů**
    - Vzduchové systémy jednozónové
    - Vzduchové systémy vícezónové
    - Vodní systémy vícezónové
    - Kombinovaný indukční systém vzduch – voda vícezónový
    - Chladivové systémy jedno i vícezónové

6.2 Vodní klimatizační systém s ventilátorovými konvektory (Fan-Coil)

6.2.1 Princip fungování Fan-coilů:

Čerstvý venkovní vzduch s průtokem dle hygienických požadavků se do klimatizované místnosti přivádí buď přímo přes ventilátorové konvektory, kde se směšuje se vzduchem oběhovým, nebo je do místnosti přiváděn samostatnými vyústkami.

Takto řešené klimatizované prostory se většinou řeší přetlakově, takže přivedený vzduch se vede přetlakem do chodeb, nebo se odsává přes hygienická zařízení.

Individuální úprava vzduchu probíhá ve ventilátorových konvektorech, kde vzduch prochází filtrem, ventilátorem a výměníkem. Energie potřebná pro úpravu vzduchu (teplo/chlad) je přiváděna vodou z centrálních zdrojů tepla/chladu.

Fan-coily se regulují kvalitativně řízením průtoku vody podle termostatu v místnosti – zóně. Další způsob regulace je pomocí změny otáček ventilátorů, což má za následek regulaci výkonu pomocí změny průtoku vzduchu.[5]

6.2.2 Využití

Fan-coily se používají pro komfortní klimatizaci objektů s místnostmi, u kterých se předpokládají odlišné (nikoliv však podstatné) požadavky na stav upravovaného vzduchu, především se jedná o kancelářské a hotelové objekty.

6.3 Akumulace chladu

Podobně, jako při vytápění navrhuji zdroj tepla (kotel, tepelné čerpadlo) pro budovy, dle tepelné ztráty objektu [kW] na nejméně příznivý den v roce, kdy vycházím z oblastní výpočtové teploty, navrhuji i zdroj chladu pro budovy, zatěžovány tepelnou zátěží. Výkon zdroje chladu se vždy navrhuje na nejméně příznivou hodinu v roce.

Teplo a „chlad".

Teplo je fyzikální jednotka přítomnosti tepelné energie v molekulách. Základní jednotkou je termodynamická teplota, jejíž jednotka je kelvin [K], ten má stejný rozměr, jako stupeň na Celsiově stupnici, ale liší se počátkem. Termodynamická teplota má nulovou hodnotu (zároveň se jedná o absolutní 0) při hodnotě -287,15°C. Z této problematiky taky pochází trochu zavádějící pojem "chlad", který vyjadřuje, že se v daném prostředí nachází méně tepla, než v okolí. Chlad tedy nelze odebrat ani přidat, ve všech fyzikálních operacích ohledně teploty se vždy bavíme jen o množství tepla v systému.

Pro letní provoz klimatizace, kdy potřebuji chladit vnitřní vzduch je potřeba do cyklu přidat chlad, tento „chlad". Chlad se může do systému dostávat různým způsobem.

Obecné rozdělení zdrojů chladu:

- Zdroje chladu založená na oběhu chladiva (kompresorová, absorpční)
- Termoelektrické zdroje (Petiérův článek)

- Aletrnativní zdroje chladu, využívající chlad z okolního prostředí (noční chlazení, zemní chlazení, adiabatické chlazení)

Zdroj chladu slouží k odstranění tepla z budovy většinou prostřednictvím kapaliny. Do kapaliny se teplo přenáší pomocí kompresního, nebo absorpčního chladícího cyklu. Tato kapalina pak může být cirkulována přes výměník tepla pro chlazení zařízení nebo jiného procesního proudu (jako je vzduch nebo procesní voda). Součástí tohoto procesu je vznik odpadního tepla, které musí být odvedeno do atmosféry, nebo lze v lepším případě využít pro vytápění.[2]

Zdroj chladu je dimenzován na základě výpočtu maximální tepelné zátěže budovy. První možnost návrhu zdroje chladu je vybrat a zakoupit zdroj chladu, s chladícím výkonem shodným (vyšším) než maximální tepelná zátěž budovy.
Když bychom se nad tím ale zamysleli z finančního hlediska, tak extrémní zátěž bude muset být hrazena pouze mizivou část roku a pouze část dne. Tato skutečnost vede k myšlence snížení výkonu zdroje chladu a k pokrytí případného špičkového výkonu jiným způsobem. Jeden z těchto způsobů je instalace akumulace chladu, jehož hlavní výhodou je právě snížení výkonu zdroje chladu, s tím však souvisí několik dalších výhod.

6.3.1 Výhody akumulace chladu:

- **Menší velikost zdroje chladu s nižším výkonem a s nižšími investičními náklady**

  Pořízením chladící jednotky s nižším výkonem, uspoříme nejen na nižší ceně zařízení, ale i na nižší spotřebě provozování jednotky, která pak není většinu roku zbytečně předimenzovaná. Rozdíl mezi chladícím výkonem a maximální hodnotou tepelné zátěže je hrazen z akumulace, která byla nashromážděna během období s nižší tepelnou zátěží.

- **Snížení energetických nákladů**

  Ideální období k akumulaci, je kombinace nutné nižší tepelné zátěže s obdobím s nižší cenou energií. Když se ceny za elektrickou

energii liší v průběhu dne, je možné v hodinách mimo špičku využít chladicí jednotku k produkci chladu a jeho akumulaci. Takto akumulovaný chlad je pak možné využít v hodinách, kdy jsou ceny za elektrickou energii vyšší. Ceny se liší v závislosti na smlouvě s dodavatelem energií.

- **Zvýšení flexibility**

  Klimatizační systémy s možností akumulace chladu mohou pracovat nezávisle na činnosti chladící jednotky, celá tato nezávislost je samozřejmě omezená velikostí akumulace chladu. Systém s akumulací chladu tak může v případě potřeby dodávat více chladu, než samotný zdroj chladu, případně poruchy může zdroj chladu i úplně nahradit.[2]

6.3.2 Rozdělení akumulace chladu

Systémy akumulace chladu mohou být rozděleny podobně, jako vzduchotechnické systémy podle tytu média, do kterého se teplo (chlad) ukládá. Jedná se nejčastěji o vodu, led, nebo materiály se změnou skupenství (Phase changing material), kam lze dle mého názoru zařadit i led. Jediný rozdíl mezi ledem a PCM je v možnosti posunu bodu změny skupenství a tím i teplotního rozsahu PCM. U ledu to bude vždy 0°C. Naopak velká výhoda ledu je ekologická nezávadnost a v případě havárie možnost vypuštění do kanalizace. Nevýhoda obou medií je objemový nárůst při změně teploty, se kterým je nutné při návrhu akumulačních nádrží počítat.

6.3.3 Použití vody

Největším problémem akumulace do vody je poměrně malá možnost akumulace z důvodu využití pouze citelného tepla tekutiny. Vodní akumulace chladu je jinak v principu jednoduchá. Máme nádobu s vodou, kterou v době přebytku chladícího výkonu, nebo levnější energie chladíme na teplotu cca 4-7°C. Tu pak v případě potřeby využíváme na chlazení výměníků stejně, jako bychom využívali zdroj chladu.

Problémem je při využívání chladu promíchávání nádrže. Pro potlačení tohoto problému se využívá tzv. stratifikace, neboli vertikální rozvrstvení akumulačního zásobníku v závislosti na teplotě vody. Nejchladnější voda (4°C) má největší hustotu a nachází se tedy v nejnižší části zásobníku. Voda, která předala chladící energii a vrací se zpět do zásobníku, může mít podle účinnosti výměníku teplotu až 18°C, z čehož vyplívá, že případné promíchávání zásobníku by využívání akumulace chladu velmi negativně ovlivnilo. Proto je studená voda při nabíjení zásobníku přiváděna difuzory u dna. Při vybíjení zásobníku je odčerpávána voda u dna nádrže a ohřátá voda se přivádí do horní části zásobníku.[3]

6.3.4 Použití ledu

Na rozdíl od akumulace do vody využíváme u akumulace do ledu kromě citelného tepla ještě jeho skupenské teplo (335 KJ/Kg), což je teplo potřebné ke změně skupenství vody z pevného na kapalné. V případě akumulace je to teplo, které lze do ledu uložit. Mimo výhody menší nádrže při stejném chladícím výkonu je díky menší ploše zásobníku také nižší tepelná ztráta do okolí.

K vybíjení chladu dochází buď statickým procesem, kde k přenosu tepla dochází pevným povrchem, nebo dynamickým procesem, kdy jsou teplonosná a akumulační látka v přímém kontaktu.

6.3.5 Použití PCM:

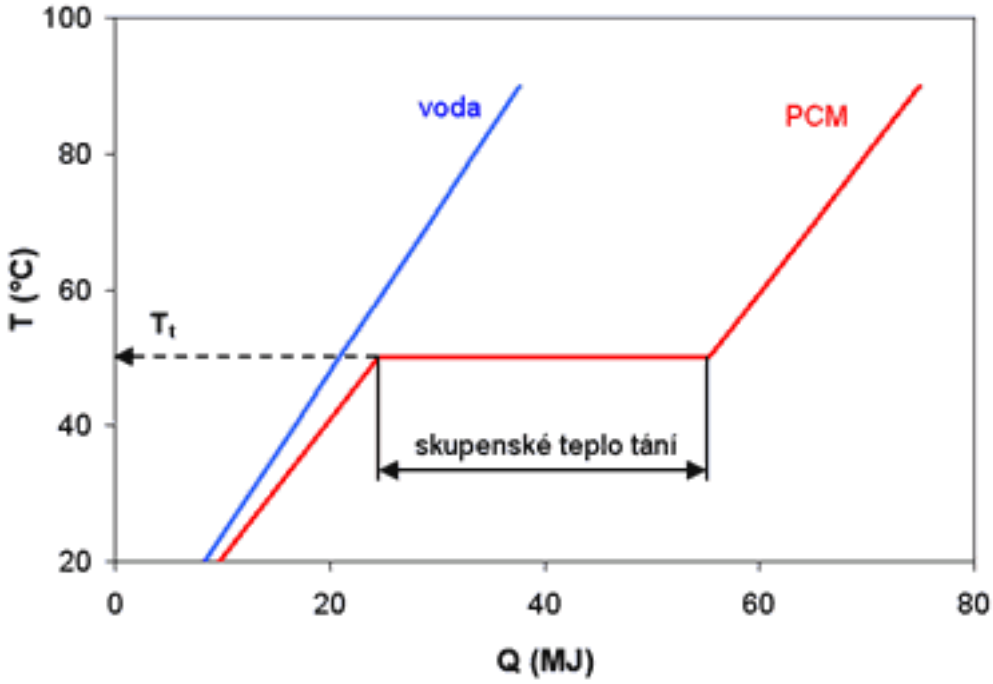
PCM fungují v principu stejně, jako akumulace do ledu. PCM jsou pro své použití vybírány na základě svých vlastností, které musí vyhovovat danému účelu. Při jejich volbě se pohlíží zejména na:

- **teplotu tání**
    - Je potřeba, aby bod tání PCM byl v oblasti rozsahu teplot použití.
- **skupenské teplo tání**
    - Skupenské teplo tání, také nazýváno jako entalpie tání nebo vázané teplo tání, je velmi důležitá vlastnost při výběru PCM. Udává, jaké množství tepelné energie musí materiál pohltit

nebo uvolnit, aby došlo ke změně skupenství z pevného na kapalné a naopak.

- **tepelnou kapacitu**
    - Čím má látka vetší tepelnou kapacitu, tím lépe v sobě udržuje teplo, ale pomaleji se ohřívá.
    - Velmi vysokou měrnou tepelnou kapacitu má voda, proto se používá v topných a chladicích systémech.
- **Hustotu**
    - Materiály s vyšší hustotou mají vyšší schopnost akumulovat tepelnou energii, ale většina z nich zaznamená pokles hustoty v kapalném skupenství. To je zapříčiněno zvětšením jejich objemu. Pokud je tedy materiál zapouzdřen v pevném stavu, je nutné, aby byl prostor pouzdra větší a aby jeho velikost odpovídala změně objemu materiálu. Z uvedeného vyplývá, že nejlepší materiál k akumulaci tepelné energie bude mít vysokou hustotu a zároveň malou změnu objemu při změně skupenství.
- **tepelnou vodivost**
    - Tepelná vodivost udává schopnost materiálu vést teplo.
- **kompatibilitu s materiálem zapouzdření**
- **degradaci vlivem vysokého počtu cyklů změny skupenství**
- **cenu**

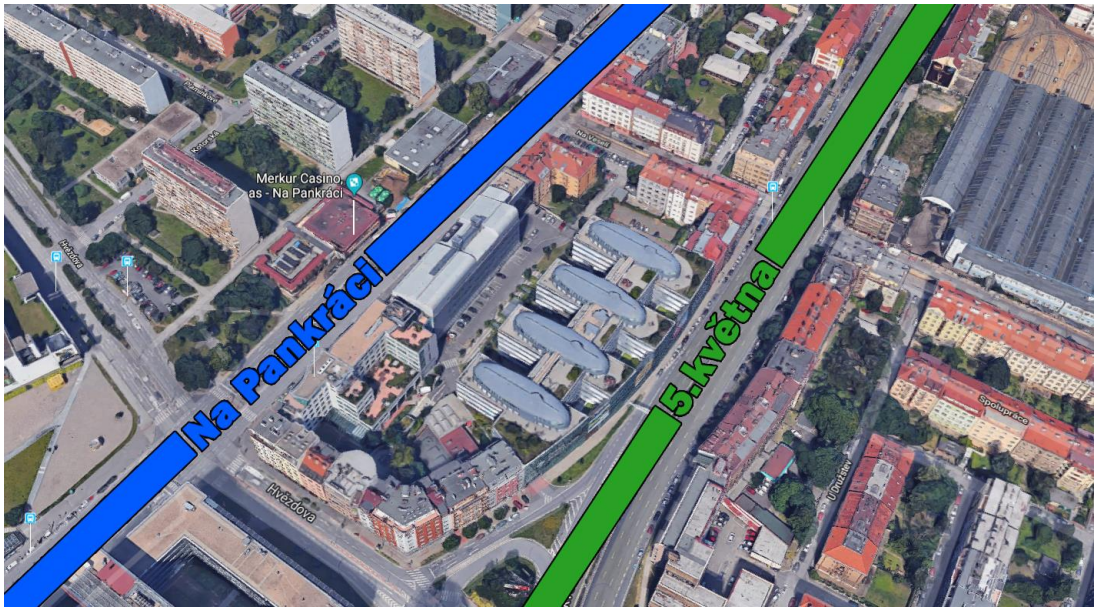
Způsob uložení energie neboli akumulace citelného a vázaného tepla:



Obrázek 1 – Porovnání akumulační kapacity zásobníku citelného tepla (vodní) a zásobníku tepla se změnou skupenství (PCM), [28]

7 Popis budov

V této práci bude provedena analýza spotřeb energií pro klimatizaci budov Česká pojišťovny a Generali na Pankráci. Jedná se o dvě administrativní budovy, které jsou součástí administrativního komplexu, rozkládajícího se mezi ulicí Na Pankráci a 5.května.



Obrázek 2 – Letecký pohled na komplex budov, Google Maps [4]

7.1 Budova Pankrác I

Obrázek 3 – Budova Pankrác I, pohled z ulice Na Pankráci, vlastní zdroj

Na Pankráci 1658/121

140 00 Praha – Nusle

Budova postavená pro ČKD v roce 1930-1932 byla rekonstruována v roce 1997-1998. V tomto roce také byla rozšířena původní část (B) o celoskleněnou část (A). Objekt má 1 podzemní a 5 nadzemních podlaží.

Počet zaměstnanců	380
Zastavěná plocha	8 821 m²
Provoz budovy	Po – Pá 7:00 – 18:00

Tabulka 1 – Základní informace o budově Pankrác I

7.1.1 Chlazení / klimatizace

Zařízení pro výrobu chladu jsou umístěna na střeše objektu, ve 4. a 5. NP objektu. Chlazení je zajišťováno vodním chladicím systémem se dvěma hlavními, blokovými jednotkami TRANE ERTAB 209, určenými pro vodní systém, každá o nominálním chladícím výkonu dle výrobce 227 kW a příkonu 73,4 kW. Tato zařízení jsou umístěna na terase v úrovni 5.NP, části budovy "B". Odvod otepleného vzduchu je do okolního prostředí. Obě zařízení jsou osazena šroubovými kompresory, které jsou chlazeny vzduchem pomocí axiálních ventilátorů. Jednotky TRANE jsou hlavně zdrojem chladu pro zařízení VZT a pouze pro část systému Fan-Coil (FCU).

Chlazení zbývající části soustavy FCU (hlavně podstropních) je zajišťováno vodním chladicím systémem se dvěma hlavními kompaktními jednotkami RC GROUP PIXYS U-54-P2SU1 o chl. výkonu 52, 7 kW a příkonu 16, 9 kW, RC GROUP UNICO AELN50Z1G4 o chl. výkonu 47,9 kW a příkonu 17,6 kW. Tyto jednotky jsou umístěny na střešní terase 4.NP, části budovy "A" a osazeny elektronickým řízením, šroubovými kompresory a axiálními ventilátory pro chlazení kompresoru.

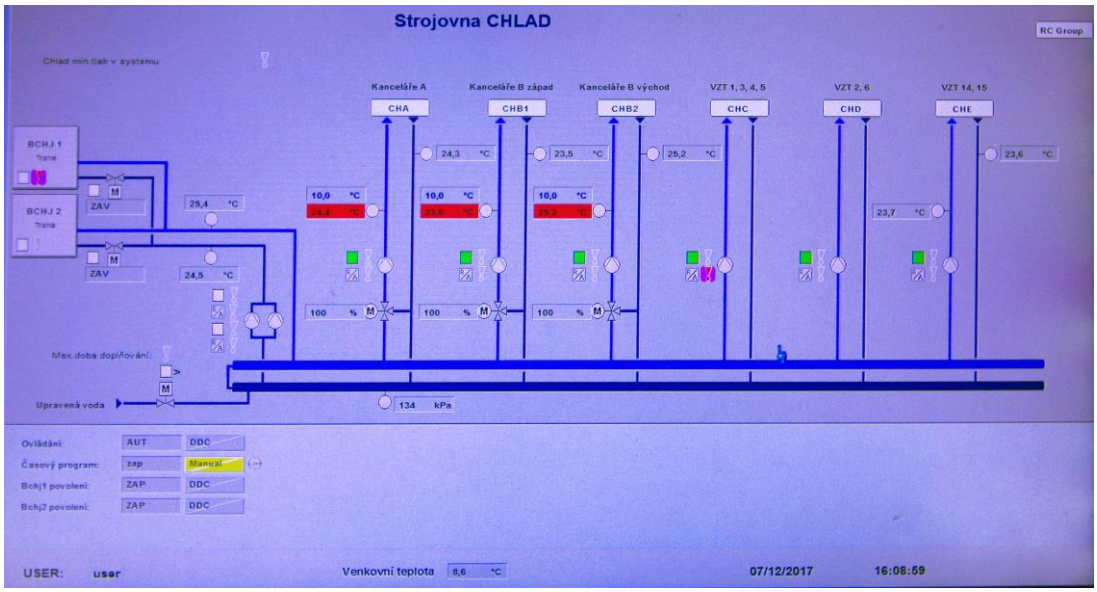
Tyto jednotky nejsou podrobeny odečtu spotřeby energií, v rámci práce tedy nemohu být analyzovány a možnosti analýzy spotřeb budou omezeny.

Odvod otepleného vzduchu je tedy opět do okolního prostředí. Všechna tato zařízení jsou ještě doplněna několika SPLIT klima jednotkami FUJITSU a DAIKIN, o celkovém chladícím výkonu cca 102 kW a příkonu cca 29 kW, které jsou využívány pouze v letním období pro chlazení některých prostor, např. větších zasedacích místností, kde nestačí kapacita chlazení pomocí jednotek FCU, anebo tam není jiné chlazení instalováno. Chlazena není kompletně celá budova, ale pouze některé její části. Suterén objektu není nijak klimatizovaný. Distribuci chladu zajišťují primárně hlavně již výše uvedené jednotky FCU, instalované jako podokenní, nebo podstropní zařízení. V případě požadavku je potřeba chladu vykrývána pomocí VZT. Tepelný spád chladící vody je zajišťován na 6°/12°C. Celková nominální chladící kapacita všech velkých instalovaných zařízení je dle dostupných podkladů 555 kW, při celkovém elektrickém příkonu cca 181 kW. Souhrnná chladicí kapacita pro objekt včetně jednotek SPLIT je 656 kW a příkon

cca 211 kW. Akumulace chladu není v objektu využívána. Skutečná spotřeba a skutečný výkon soustavy chlazení ale není přesně znám, vzhledem k tomu, že nejsou osazena podružná měřidla.

7.1.2 Distribuce a rozvod

Chladící jednotky jsou paralelně zapojeny do společného primárního okruhu. Nucený oběh je návrhově zajištěn zdvojeným primárním oběhovým čerpadlem. Každému chladícímu zařízení je vyhrazen provoz jen jednoho oběhového čerpadla, pokud tedy je provozně navolen průtok přes obě chladící jednotky, budou v provozu vždy obě čerpadla na zdvojeném primárním čerpadle. Ve strojovně VZT a Chlazení v 5.NP, v blízkosti chladícího zařízení je umístěn centrální rozdělovač a sběrač chladu. Na rozdělovač jsou instalovány tři teplotně regulované okruhy pro jednotky FCU, a tři teplotně neregulované okruhy pro jednotky VZT.



Obrázek 4 – Schéma rozvodů VZT v budově P1, vlastní zdroj

Chladící jednotky RC

Kompaktní chladící jednotky RC PIXYS a UNICO mají nucený oběh media zajištěný oběhovým čerpadlem, které je integrováno uvnitř v bloku každé chladící jednotky. Obě zařízení jsou připojena na společný okruh rozvodu, který je veden přímo ke spotřebičům Fan-Coil (hlavně podstropní FCU), vratná voda od spotřebičů FCU jde zpět do chladící jednotky. Chladící voda v okruhu má tepelný

spád 7/12°C. Regulace u spotřebičů je trojcestným ventilem s konstantním průtokem směrem k chladící jednotce.

Okruhy VZT

• Okruh pro VZT 1, 3, 4, 5 ; bez regulace, tepelný spád 6/12°C

• Okruh pro VZT 2, 6 ; bez regulace, tepelný spád 6/12°C

• Okruh pro VZT 14, 15 ; bez regulace, tepelný spád 6/12°C

Celková potřeba chladu pro jednotky VZT je v době provedení auditu cca 370 kW.

• Okruh pro část A, s regulací směšování, tepelný spád 14/18°C

• Okruh pro část B východ, s regulací směšování, tepelný spád 14/18°C

• Okruh pro část B západ, s regulací směšování, tepelný spád 14/18°C

Celková potřeba chladu pro jednotky FCU je v době provedení auditu cca 220 kW.

Chlazení budovy je řešeno v uvažovaných kancelářských modulech jednak za pomoci vestavěných podstropních klima jednotek Fan-Coil (FCU), jednak pomocí klimatizačních vzduchotechnických jednotek (AHU), které jsou pod stropem v podhledu. Každý modul má možnost jisté regulace prostorové teploty (zvyšováním nebo snižováním otáček ventilátoru a změnou průtoku vody fan-coilem). Chlazení má dle PD zajišťovat teplotu 24°C při venkovní teplotě 30°C. Podle hygienických standardů je maximální rozdíl mezi teplotou uvnitř a venku 6°C. Tedy při vnější teplotě 36°C nebude uvnitř chladněji než 30°C. Fan-coily prohánějí ventilátorem vzduch z kanceláří přes chladič, chladí ho a vyfukují zpět do místnosti. Do vyfukovaného chladného vzduchu je přimícháván ještě čerstvý venkovní vzduch. [5]

Obrázek 5 – Letecký pohled na budovu P1, Google Maps [4]

7.2 Budova Pankrác II

Obrázek 6 - Budova Pankrác II, vlastní zdroj

Na Pankráci 1720/123

140 00 Praha – Nusle

Budova byla postavena ve standardu pro udržitelnou výstavbu a úspory energií v letech 2007 – 2008. Objekt má 3 podzemní a 7 nadzemních podlaží. Jedná se o velmi rozsáhlý administrativní a komerční projekt funkcionalistické povahy s cca 25 000 m² kancelářských ploch.

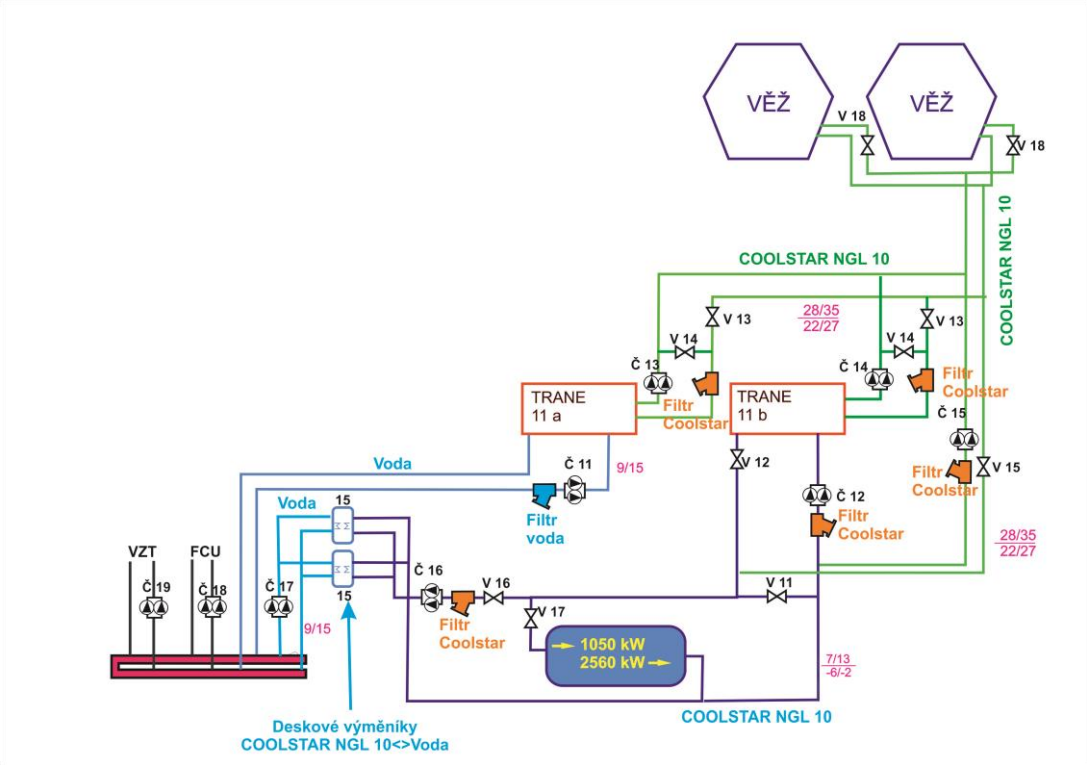
Počet zaměstnanců	2 000
Zastavěná plocha	32 761 m²
Provoz budovy	Po – Pá 7:00 – 18:00

Tabulka 2 - Základní údaje o budově Pankrác II

Zařízení pro výrobu chladu se nacházejí v nejnižších suterénních podlažích objektu v technickém zázemí. Ve 3.PP jsou v centrální strojovně chlazení instalované dva hlavní chladící stroje, kompaktní jednotky TRANE RTHD, dále označovány jako TRANE 1 a TRANE 2.Na úrovni 2.PP jsou umístěny dvě uzavřené chladící věže se

sprchovanými výměníky, přívod čerstvého venkovního vzduchu je k věžím přiváděn ze dvora přes buňkové tlumiče hluku. Chlazení objektu je zajišťováno na sekundárním okruhu vodním chladícím systémem. Kondenzátory jsou součástí obou chladících jednotek a jejich chlazení je zajištěno okruhem hybridních chladících věží VĚŽ 1 a Věž 2, jako medium je použita nemrznoucí směs COOLSTAR NGL 10, což je chladivo HFC134a.

Tato zařízení doplňuje ještě akumulační nádrž chladu, označovaná jako LEDOBANKA, která je primárně variabilně připojena na chladící jednotku TRANE 2.



Obrázek 7 – Schéma zapojení systému v budově Pankrác II

Celková maximální chladící kapacita dvou chladících strojů je dle specifikace výrobce 2 684 kW, s příkonem 558 KW, Evropský sezonní energetický faktor zdrojů chladu je 4,91.

Při celoročním provozu těchto systémů však mohou nastávat podstatné změny zatížení, nebo teplot v okolí. Výkon chladících věží se podstatně mění při změnách teploty vlhkého teploměru. Když se požaduje v rozumných mezích konstantní teplota výstupní vody, je nutné použít v období sníženého výkonu anebo nízké teploty okolí odpovídající formy regulace výkonu.

Těmito a podobnými změnami provozních charakteristik systému se také budu v následující části práce zabývat.

Elektroměr č.	Zařízení	Schema	Popis
1	Trane 1	11 a	Kompresor Tranu 1
10	Trane 2	11 b	Kompresor Tranu 2
9	Čerpadla 1		
14	Čerpadla 2		
11	Čerpadlo 1	Č. 13	Čerpadlo chladiva
15	Čerpadlo 2	Č. 14	Čerpadlo chladive
7	Věž 1	VĚŽ	Ventilátor chladící věže
16	Věž 2	VĚŽ	Ventilátor chladící věže

Tabulka 3 - Popis elektroměrů v budově Pankrác II

7.2.1 Zdroje chlazení

Trane 1 – Stroj TRANE RTHD D3G3 – EKP4208

Tato kompaktní jednotka je provozována v běžném režimu chlazení a dosahuje chladícího výkonu 1 342 kW s příkonem 279 kW a zajišťuje chlazení vody o teplotním spádu 9/15°C. Okruh chlazené vody je připojen na centrální rozdělovač a sběrač chladícího média, tedy vody v budově, nucený oběh vody mezi jednotkou a rozdělovačem a sběračem je zajišťován čerpadlem chlazení č.11.

Trane 2 – stroj TRANE RTHD D3G3 – EKP4287:

Tato kompaktní jednotka může být používána variabilně dle požadavků provozu a to buď v běžném režimu dodávky chlazení, nebo v režimu mrazení se sníženým teplotním spádem, kdy je požadováno ukládání chladu do akumulační nádrže.

a) Chladící režim – zajišťuje chlazení nemrznoucí kapaliny o teplotním spádu 7/13°C a dosahuje chladícího výkonu 1 342 kW s příkonem 279 kW. V tomto režimu je okruh chladící jednotky a oběhového čerpadla č.12 hydraulicky zkratován otevřením ELM ventilu, chlad je odebírán do zdvojeného deskového výměníku tepla cirkulací čerpadlem č.16 , které má řízené

otáčky frekvenčním měničem v závislosti na teplotě výstupní sekundární chlazené vody za výměníky.

b) Mrazící režim – zajišťuje chlazení nemrznoucí kapaliny a teplotním spádu okruhu -2/-6°C s výkonem 949 kW a ukládáním energie chladu v akumulační nádrži (ledobance), oběh nemrznoucí směsi chladící jednotky nyní zajišťuje čerpadlo č.12. Uvnitř akumulační nádoby chladu jsou váčky typu PCM obsahující speciální kapalinu s bodem tuhnutí při 0°C, která sdílením tepla do nemrznoucí kapaliny okruhu chladícího stroje změní své skupenství na pevné.

7.2.2 Chladící věže

Instalované zařízení jsou dvě uzavřené hybridní chladící věže se sprchovanými výměníky rozprášenou vodou, které jsou osazené ventilátory rozdílného výkonu. Pomocí těchto podzemních věží je odnímané teplo z budovy odváděno chladivovým okruhem dále do vzduchu v exteriéru. Chladivový okruh slouží jako zdroj chladu oběma okruhům. (Trane 1 a Trane 2) Věže jsou zapojeny v komplexním systému chlazení a propojeny s jednotkami TRANE 1 a TRANE 2. Kapalinou pro přenos tepla ze strojů TRANE do chladících věží je nemrznoucí směs.

Režim provozu věží

Léto/den: ve dne při výpočtových parametrech venkovního vzduchu dvojice věží chladí nemrznoucí kapalinu ve vztahu k jejímu návrhovému průtoku při teplotním spádu 35/28°C s výkonem 2 718 kW. Tento výkon věží by měl ve dne umožnit provoz stroje TRANE 1 na plný výkon + provoz stroje TRANE 2 na 55% výkonu. Tento režim provozu ale v budově nenastává a zdroje chladu fungují vždy samostatně, nikdy zároveň. Tato teorie úspory bude rozvedena v dalších částech práce. (viz. 10.1.7)

Léto/noc: v noci, kdy se předpokládá pouze mrazící režim stroje TRANE 2 chladí věže nemrznoucí kapalinu ve vztahu k jejímu navrhovanému

průtoku při teplotním spádu 27/22°C s výkonem 1 862 kW Tento výkon v noci může zajistit plný výkon stroje TRANE 2 v mrazícím režimu a dále 40% výkonu stroje TRANE 1 v případě potřeby provozu.

7.2.3 Ledobanka

Pro akumulaci chladu je v budově instalována objemná akumulační nádrž chladu ledobanka, která postupně přes noc nastřádá zásobu chladu vyrobenou chladícím strojem Trane 2 pro denní použití a tak snižuje denní elektrickou spotřebu objektu. Ledobanka má návrhově sloužit k pokrytí špičkového odběru chladu během dne, pokud ho nestačí pokrýt výkon pouze chladícího stroje Trane 1. Nejedná se tedy o zařízení, které by samo vyrábělo chlad.

Uvnitř akumulační nádoby chladu jsou váčky typu PCM, a ty obsahují speciální kapalinu s bodem tuhnutí při teplotě 0°C, která sdílením tepla do nemrznoucí kapaliny okruhu chladícího stroje změní své skupenství na pevné a dojde zde tedy k akumulaci energie chladu.

Celkový objem nádrže je 136 m^3 a celková kapacita uložené energie je dle PD min. 8330 kWh, nabíjecí výkon 1050kW, vybíjecí max. výkon 2560kW.

Odběr chladu z ledobanky je realizován pomocí oběhového čerpadla č. 16, které dopravuje ochlazenou nemrznoucí směs z akumulátoru chladu do dvojice deskových výměníků. V nich připravována sekundární chlazená voda o teplotním spádu 9/15°C. Čerpadlo č. 16 má elektronicky řízené otáčky v závislosti na dosažené teplotě výstupu sekundární chlazené vody z výměníků.
Toto čerpadlo bohužel nespadá pod čerpadla s monitorovanou spotřebou, takže není možné přímou metodou zjistit, kdy dochází k používání chladu z ledobanky. Tato situace lze pouze odhadnou na základě celoročního monitoringu spotřeby Tranu 2. Absence využití akumulace chladu byla zjištěna od odborníků, spravujících provoz budovy, nikoliv z analýzy dat.

Pokud bude chladící stroj Trane 1 mimo provoz (servis a jiné), denní potřeby chladu bude zajištovat stroj Trane 2 v chladícím režimu, budou kromě odběrových čerpadel C18 a C19 v provozu rovněž čerpadla C12, C14, C16 a C17, otevřeny budou ventily V12 (chladící stroj) a V11 (zkrat okruhu chladícího stroje).
(viz 10.1.7)

Volné chlazení v zimním období (freecooling)

Volné chlazení snižuje náklady na provoz chlazení budovy ve chvíli, kdy je venkovní teplota dostatečně nízká, abych dokázala odvézt kondenzační teplo bez nutnosti použití kompresorů zdrojů chladu. Při tomto druhu chlazení fungují pouze ventilátory, které nasávají vzduch skrz lamelový výměník s nemrznoucí kapalinou, ta své teplo odevzdává do vzduchu a tím se ochlazuje. Freecooling lze využívat již v přechodovém období, od teplot cca 10°C.
Oběh nemrznoucí kapaliny mezi věžemi a akumulačním zásobníkem zajištuje čerpadlo C15. Odběr chladu z ledobanky je pak zajištěn výše popsaným způsobem (C16 a C17 a deskovými výměníky do sekundární chlazené vody). Analýza freecoolingu (viz 10.1.3).

MaR:

Všechna klíčová zařízení TZB jsou začleněna do komplexního systému měření a regulace, a jsou ovládána přes řídící procesní stanice typu PLC/DDC a to na základě prostorové teploty, EQ křivky a dle požadavků nadřazeného pracoviště dispečinku. Zařízení jsou také ovládána na základě teplotních
dat příslušného prostoru a místního nastavení. Ovládání jednotek Fan-coil, VZT AHU, ale i otopné soustavy má vazbu také na stav otevíratelných oken v kancelářích, respektive na snímač otevření každého okna.

Chladicí jednotky jsou zahrnuty pod regulaci řídicího systému jen částečně, lze je aktivovat, zapínat a vypínat a zadávat žádanou výstupní teplotu chladící vody. Jsou monitorovány a signalizovány stavy a vypínat a zadávat žádanou výstupní teplotu chladící vody. Jsou monitorovány a signalizovány stavy a poruchy zařízení. Jednotky mají vlastní autonomní řídící sytém (PLC) a jsou vybavené pokročilými

autoadaptivními funkcemi.

Regulace výkonu chladících věží je řešena spínáním ventilátorů systémem MaR v závislosti na teplotě chlazené kapaliny (dále také řízeným bypasem jednoho ze dvou výměníků věže).

7.2.4 Provoz chlazení

Chlazení budovy je řešeno jednak pomocí klimatizačních vzduchotechnických jednotek (AHU) a v uvažovaných kancelářských modulech je také za pomoci vestavěných stropních fan-coilů. Každý modul má možnost jisté regulace prostorové teploty (zvyšováním nebo snižováním otáček ventilátoru a změnou průtoku vody fan-coilem). Chlazení má dle PD zajišťovat teplotu 24°C při venkovní teplotě 30°C. Podle hygienických standardů je maximální rozdíl mezi teplotou uvnitř a venku 6°C. Tedy při vnější teplotě 36°C nebude uvnitř chladněji než 30°C.

Fan-coily prohánějí ventilátorem vzduch z kanceláří přes chladič, chladí ho a vyfukují zpět do místnosti. Do vyfukovaného chladného vzduchu je přimícháván ještě čerstvý venkovní vzduch.[6]

Obrázek 8 – letecký pohled na budovu PII, Google Maps [4]

8 Výpočet tepelné zátěže

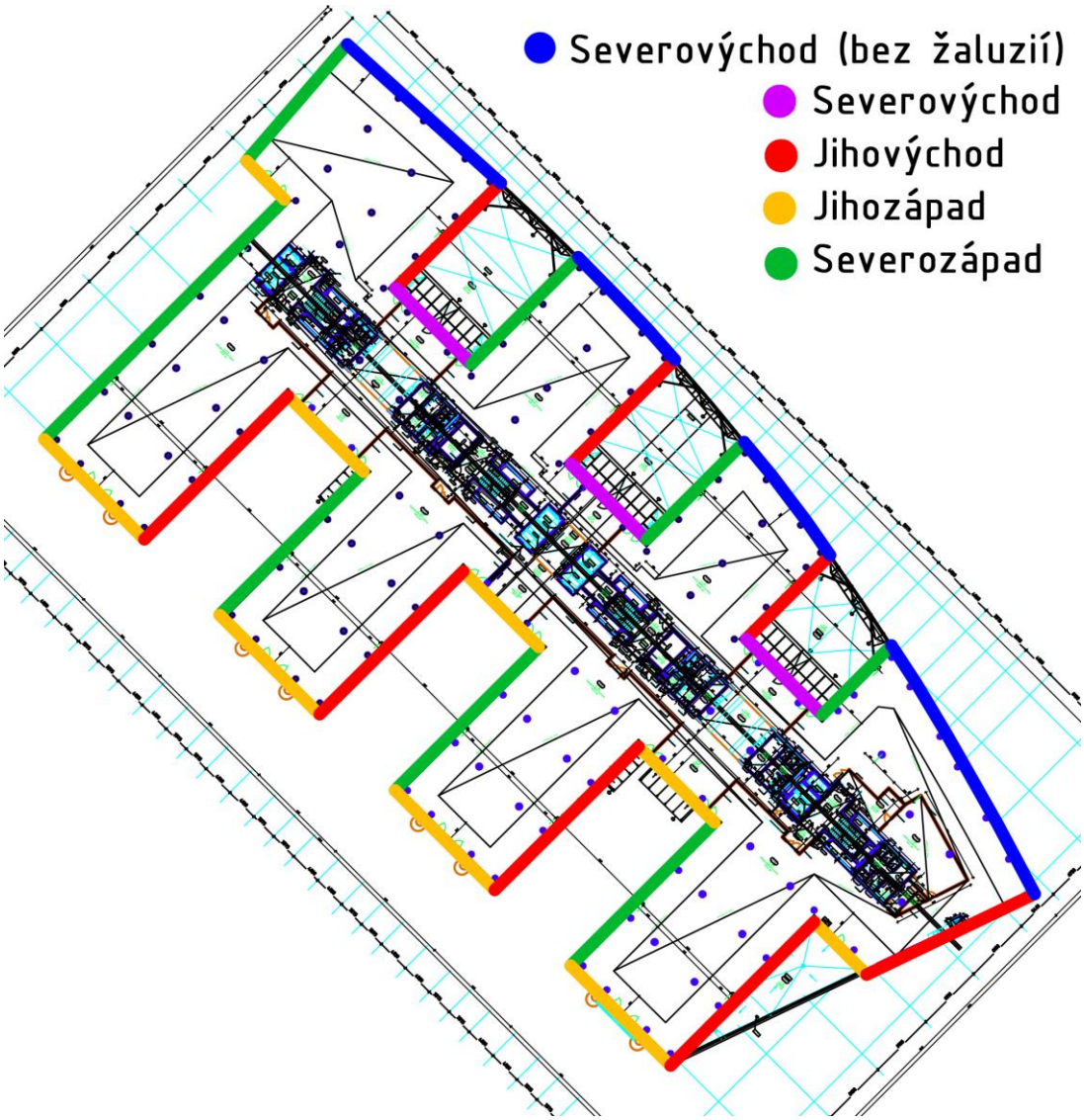
Z důvodu nedostatku podkladů k budově P1, bylo ověřeno dimenzování zdroje chladu pouze pro budovu P2. Výpočet tepelné zátěže byl prováděn dle normy ČSN 73 0548 - Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor. [7]

Výpočet byl proveden za účelem následného porovnání tepelných zisků při maximální zátěži se skutečným navrženým zdrojem chladu v budově P2.

Obrázek 9 – Pohled na budovu P2, Google Maps [4]

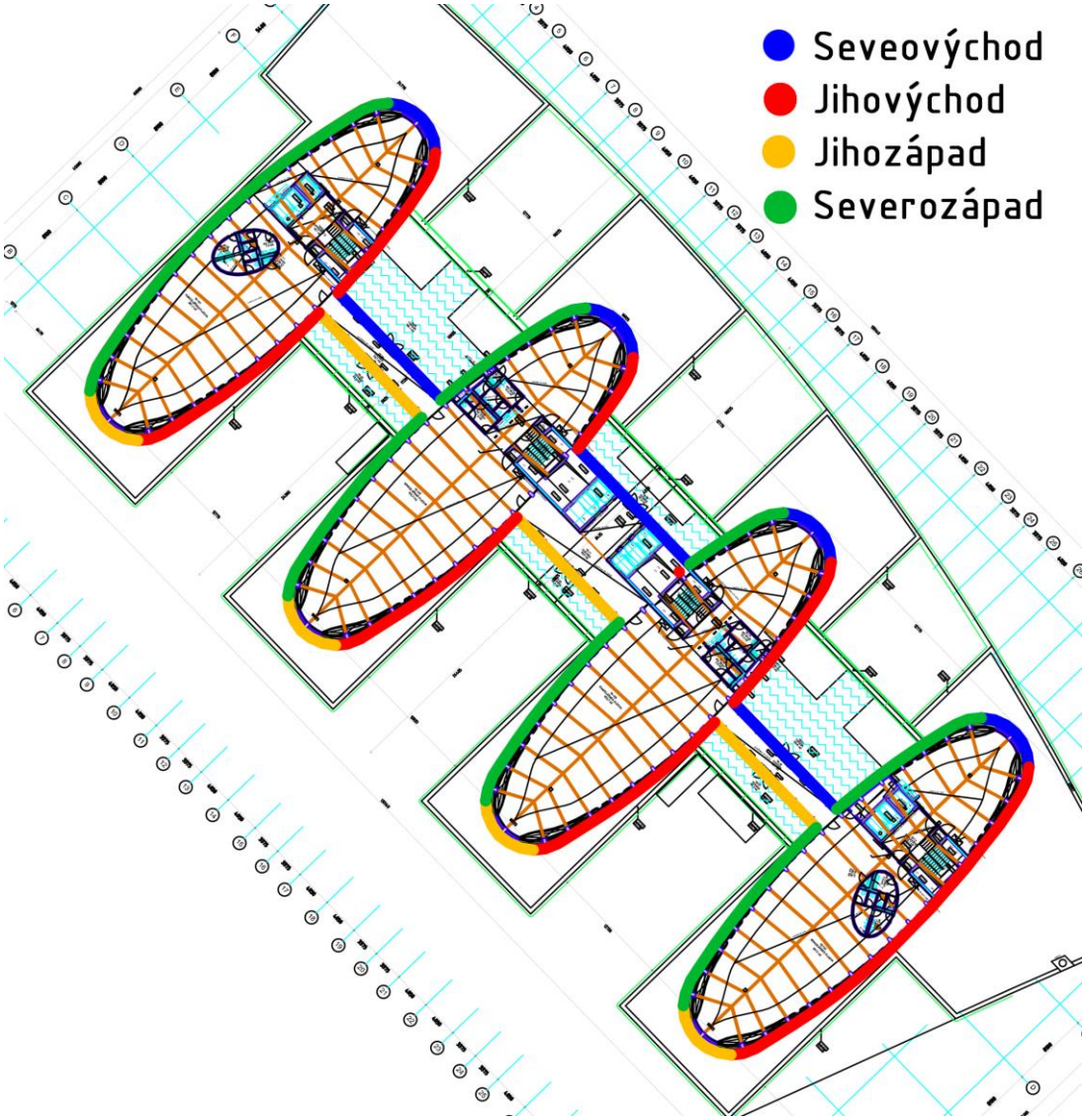
8.1 Výpočet venkovních tepelných zisků

Podklady byly získány přímo od zaměstnanců České Pojišťovny ve formátu AutoCAD. Budova byla rozdělena podle světových stran na 4 fasády a střechu. Severovýchodní fasádu bylo nutno rozdělit na dvě části. Jsou na ní totiž použity dva typy fasád s podstatně odlišnými vlastnostmi. Fasáda, která přímo sousedí s ulicí 5.května, není na rozdíl od zbytku budovy vybavena vnějšími žaluziemi, které snižují radiační složku tepelných zisků budovy.



Obrázek 10 – Rozdělení fasád dle půdorysu budovy P2, vlastní zdroj

Stejně jako půdorys budovy bylo nutné rozdělit i střešní nástavbu, čtyři dvoupatrové „lodě", nacházející se na střeše objektu.



Obrázek 11 – Rozdělení fasád na střeše budovy P2, vlastní zdroj

Velké ulehčení při identifikaci oken a žaluzií poskytl 3-D model budovy na google mapách, kde je zároveň vidět použití vnějších žaluzií.

8.1.1 Vlastnosti použitých konstrukcí

Součinitel prostupu tepla stěnou: 0,4 W/m2K

Součinitel prostupu tepla stěnou (fasáda k ulici 5.května): 0,5 W/m2K

Tloušťka stěny: 0,3 m

Součinitel prostupu tepla oknem: 1,7 W/m2K

Stínící součinitele (okna se žaluziemi) 0,15

Stínící součinitele (okna bez žaluzií) 0,37

Součinitel poměrné tepelné pohltivosti ε: 0,7

Vlastnosti fasád:

číslo fasády	Orientace	azimut stěny [°]	Sklon [°]	Plocha okna [m^2]	Stínicí součinitel	Souč. prostupu tepla oknem [W/m^2K]	Tloušťka stěny [m]	Plocha stěny [m^2]	Souč. prostupu tepla stěnou [W/m^2K]
		γ	α	Sok	s	Uok	d	Ss	Us
1	SV - žaluzie	46	90	429,2	0,15	1,7	0,3	550,1	0,4
2	SV - bez žaluzií	46	90	1283,7	0,37	1,7	0,3	578,3	0,5
3	JV	136	90	1876,3	0,15	1,7	0,3	954,6	0,4
4	JZ	226	90	1421,2	0,15	1,7	0,3	956,4	0,4
5	SZ	316	90	1800,5	0,15	1,7	0,3	1380	0,4
6	Střecha	0	0	159,6	0,37	1,7	0,3	4877,6	0,4

Tabulka 4 – Vstupní údaje výpočtu zisků fasád

Při výpočtu bylo postupováno podle normy.[7]

Den s maximální vnější tepelnou zátěží vyšel v červenci, v 15:00 (norma nepočítá s letním časem, takže v ČR to bude 16:00) s hodnotou 394 kW.

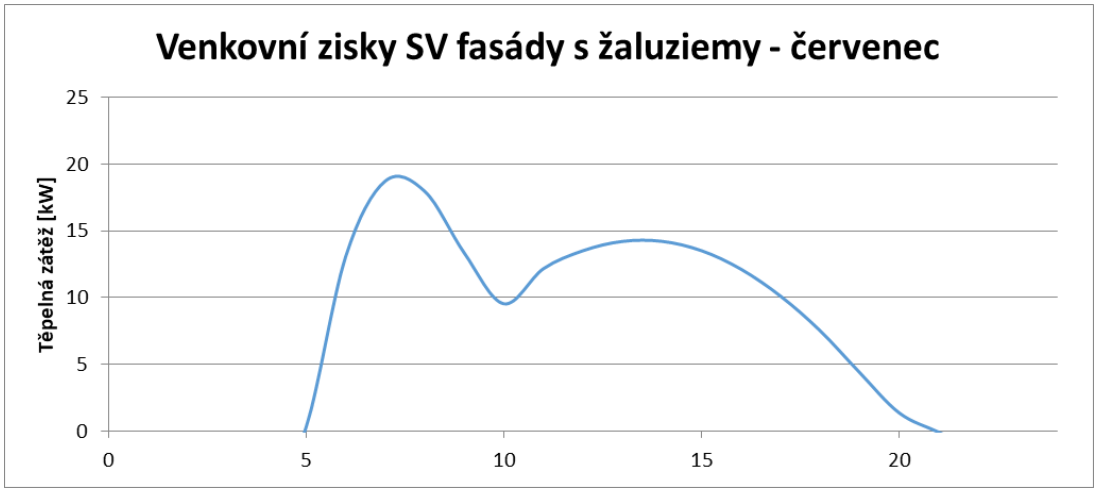
Nejvyšší vliv na výslednou zátěž má podle očekávání SV fasáda bez venkovních žaluzií (141 kW).

8.1.2 Denní průběh tepelné zátěže nejextrémnějšího dne:

Graf 1 – Vnější tepelná zátěž budovy v nejextrémnějším měsíci

Vyšel typický tvar pro vysoké prosklené budovy s poměrně dlouhou denní dobou zátěže blízké maximální zátěži.

Venkovní zisky budovy jednotlivých fasád:



Graf 2 – Vnější tepelná zátěž SV fasády se žaluziemi v nejextrémnějším měsíci

Graf 3 – Vnější tepelná zátěž SV fasády bez žaluzií v nejextrémnějším měsíci

Graf 4 – Vnější tepelná zátěž JV fasády v nejextrémnějším měsíci

Graf 5 – Vnější tepelná zátěž JZ fasády v nejextrémnějším měsíci

Graf 6 – Vnější tepelná zátěž SZ fasády v nejextrémnějším měsíci

Graf 7 – Vnější tepelná zátěž střechy v nejextrémnějším měsíci

8.2 Výpočet vnitřních tepelných zisků

Vstupní údaje mají na výslednou zátěž samozřejmě velký vliv, některé údaje jsou dostupné a mohu je považovat za správné:

Počet zaměstnanců:	2 000
Pracovní doba:	7.00 hod – 18.00 hod
Vnitřní výpočtová teplota:	24 °C

Nicméně ne všechny údaje lze přesně určit, takže některé z nich musely být odhadnuty. Například tepelná zátěž kuchyně a kavárny, počet počítačů, tiskáren, zátěž od osvětlení je potřeba odhadnout.

8.2.1 Tepelné zisky od zaměstnanců

$$Q_L = 6{,}2\,.\,n_L.\,(36 - t_i) = 6{,}2\,.\,2000\,.\,(36 - 24) = 148{,}8\ kW$$

8.2.2 Tepelné zisky od osvětlení:

Tepelné zisky od osvětlení vypočítám z tepelné zátěže osvětlení na m² a ze znalosti velikosti kancelářské plochy.

Plocha kancelářských ploch 25 000 m2

Produkce tepla od osvětlení 12 W/m2

$$Q_{SV} = S_{OSV}.\,q_{SV} = 25\,000\,.\,12 = 300\ kW$$

8.2.3 Tepelné zisky od technologií instalovaných v kancelářích

Do tohoto výpočtu zahrnuji hlavně PC a tiskárny.

Tepelná zátěž: 250 w/osoba

$$Q_T = 2000\,.\,250 = 500\ kW$$

8.2.4 Tepelné zisky od kuchyně a kavárny

Zde se jedná o odhad

$$Q_K = 20\ kW$$

8.2.5 Tepelné zisky od serveroven

Podle PD slouží k chlazení části serveroven samostatný chladivový SPLIT systém, který v rámci této práce není řešen a zdroj chladu, který chladí konstantní tepelnou zátěž.

$$Q_s = 100\ kW$$

8.2.6 Tepelné „zisky" od ledobanky

Tepelná ztráta ledobanky by se dala brát také jako vnitřní permanentní „zisk":

Teplotu ve strojovně uvažuji 15°C a teplotu PCM 0°C.

Objem nádrže: 136 m3

Průměr válcové nádrže: 4,5 m

Délka válcové nádrže: 8,55 m

Plocha válcové nádrže: 152,7 m2

Tloušťka izolace: 4 cm, λ = 0,04 W/mK

Součinitel přestupu tepla: 8 W/(m^2.K)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\delta}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0{,}04}{0{,}04}} = 0{,}89\ W/m^2K$$

$$Q_z = U.S.\Delta T = 0{,}89\ .\ 152{,}7\ .\ (15 - 0) = 2\ kW$$

Tepelná ztráta ledobanky je tedy v našich výpočtech poměrně malá a lze ji zanedbat.

8.2.7 Tepelné zisky větráním

Uvažuji hygienické minimum 50 m^3/h na člověka:

$$Q_v = n_L.\frac{V_{min}}{3600}.\rho_v.c_v.\Delta T = 2000\ .\frac{50}{3600}.\ 1{,}2.1010.(30 - 24) = 202\ kW$$

Maximální tepelná zátěž budovy:

Příčina zisků	Zisky [kW]
Venkovní	396
Zaměstnanci	150

Osvětlení	300
Technologie	500
Kuchyně a kavárna	20
Serverovny	100
Větrání	202
Celkem	1 667

Tabulka 5 – Maximální tepelná zátěž budovy P2

Maximální denní chladící výkon budovy P2 je jen 1 342 kW. Po získání informace o absenci využívání akumulace chladu byl odhad na vnitřní zisky přepracován (viz 10.1.9).

9 Zpracování dat

Hlavním cílem této práce je analýza dat, odečtených z 18 elektroměrů spotřeb budov.

Ukázka tabulky stavu elektroměrů:

ID	Datum	MB01	MB02	MB03	MB04	MB05	MB06
5351	6.5.16 8:15	156 937,00	6 589,33	91 767,40	242 882,00	8 938,63	41 164,00
5352	6.5.16 8:30	156 942,00	6 589,81	91 772,91	242 895,00	8 938,67	41 164,00
5353	6.5.16 8:45	156 963,00	6 590,29	91 778,39	242 909,00	8 938,72	41 164,00
5354	6.5.16 9:00	156 983,00	6 590,78	91 783,88	242 922,00	8 938,76	41 164,00
5355	6.5.16 9:15	157 003,00	6 591,26	91 789,44	242 936,00	8 938,81	41 164,00

Tabulka 6 – Náhled tabulky záznamu spotřeb

Tyto odečty byly do excelu importovány z jednotlivých excelů, které mají informaci o aktuálním stavu všech elektroměrů. Odečet se automaticky provádí každých 15 minut.

Druhý krok je stanovení spotřeby energie rozdílem řádků.

ID	Datum	MB01	MB02	MB03	MB04	MB05	MB06
5351	6.5.16 8:15	5,00	0,48	5,51	13,00	0,04	0,00
5352	6.5.16 8:30	21,00	0,48	5,48	14,00	0,05	0,00
5353	6.5.16 8:45	20,00	0,49	5,49	13,00	0,04	0,00
5354	6.5.16 9:00	20,00	0,48	5,56	14,00	0,05	0,00
5355	6.5.16 9:15	20,00	0,47	5,42	14,00	0,04	0,00

Tabulka 7 – Náhled tabulky odečtu spotřeb

Tento krok s sebou nese riziko vzniku chyb odečtů spotřeb při situacích, kdy systém neodečítá spotřeby. Po výpočtu rozdílů řádků tedy bylo proto nutné z dat vyselektovat a opravit chyby, které tímto způsobem vznikly. Chybných odečtů je za celé období do 4%. Tyto chyby mají vliv pouze na dynamické grafy, kde se řeší příkon, nebo spotřeba technologií na časové ose. Tam při přerušení odečtu nelze sledovat průběh, což je chyba s ohledem na poměr mezi chybnými a správnými naměřenými časovými úseky přijatelná. Navíc při celkových sumách spotřeb a příkonů technologií se chybné úseky stávají správnými, protože z rozdílu odečtu elektroměrů před a po chybě se dá odečíst spotřeba, kterou technologie odebrala během času, kdy se data neodečítala.

ID	Datum	MB01	MB02	MB03	MB04	MB05	MB06
2 338	25.5.16 8:15	2,00	0,47	5,46	13,00	0,05	0,00
2 339	25.5.16 8:30	79,00	2,30	27,40	69,00	0,25	0,00
2 340	25.5.16 9:45	0,00	0,46	5,55	13,00	0,01	0,00

Tabulka 8 – Náhled tabulky odečtu spotřeb při chybném odečtu

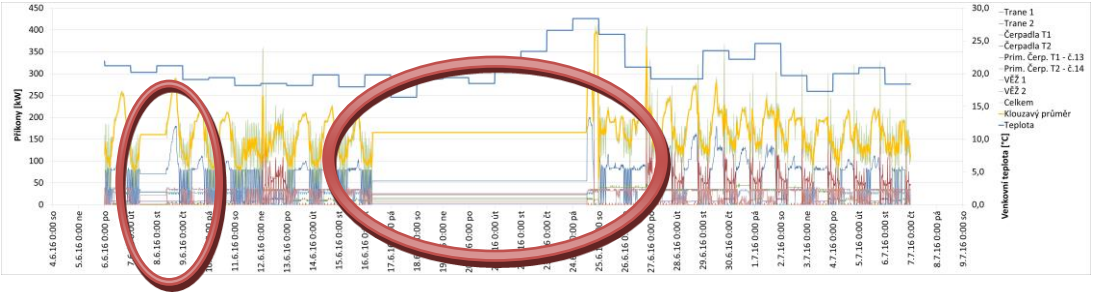
Chyby byly vyřešeny tak, že hodnotu rozdílu řádků byla vydělena počtem chybějících řádků, tím byly zaplněny chybějící řádky spotřeb průměrnou spotřebou energie za dobu absence odečtu.

Období, s chybným odečtem spotřeb:

Od		Do		Trvání chyby (x15 min)
25.5.16	8:45	25.5.16	9:45	5
7.6.16	9:00	8.6.16	8:45	95
9.6.16	11:15	9.6.16	13:30	10
16.6.16	7:00	24.6.16	13:00	792
28.6.16	11:00	28.6.16	13:15	10
26.7.16	12:45	30.7.16	16:30	399
5.8.16	12:15	5.8.16	12:30	2
5.8.16	13:00	8.8.16	6:30	262
8.8.16	6:45	8.8.16	10:45	17
8.8.16	13:00	9.8.16	7:30	74
12.8.16	14:15	15.8.16	8:45	266
15.8.16	9:00	15.8.16	11:00	9
23.9.16	18:45	23.9.16	19:15	3
30.9.16	12:15	30.9.16	13:00	4
25.10.16	10:45	25.10.16	12:45	9
30.10.16	1:45	30.10.16	1:45	1
3.12.16	19:30	5.12.16	6:45	141
7.12.16	13:00	7.12.16	14:00	5
9.12.16	9:15	9.12.16	9:30	2
18.4.16	11.15	18.4.16	14:00	12

Tabulka 9 – Soupis chybných období při odečtu spotřeb

Ukázka chyb v grafu příkonů (chyba 7.6.16 – 8.6.16 a chyba 16.6.16 – 24.6.16):



Graf 8 - Ukázka chyb při odečtu spotřeb

Data spotřeb byla zkombinována s daty českého hydrometeorologického ústavu, kde jsem použil průměrné denní teploty naměřené v Klementinu.[20] Teploty mohou být odlišné od skutečných teplot, které byly během měřeného období na Pankráci, nicméně pro účely vyžadované v této práci jsou teploty vystačující.

V první kroku bylo potřeba všech 18 zdrojů dat rozklíčovat a spotřeby přiřadit k technologiím. V této činnosti mi výrazně pomohl p. Josef Zíta a p. Pavel Binder.

Některá data lze považovat za přesnější, jiné jsou bohužel například kvůli obecnějšímu způsobu odečtu méně přesná. Tato problematika se týká například spotřeb VZT jednotek, u kterých je započítán mimo spotřebu na chlazení i spotřeba energie na vlhčení.

Není-li uvedeno jinak, měřené období, na které bude ve zbytku práce odkazováno je 1.5.2016 – 7.12.2016. V některých grafech se pro přesnost zanedbávají dvě období, který měla výrazně odlišný režim provozu. Někdy se pro přesnost zanedbávají i víkendové provozy.

Období střídavého používání zdrojů chladu v režimu týden/víkend.

(1.5.2016 - 27.6.2016)

Zdroje chladu pracovaly do 26.6. (od 16. do 26.6. nejsou z důvodu výše zmíněných chyb k dispozici detailní data) systémem týdenního střídání kompresorů:

Trane 1 pracoval přes týden

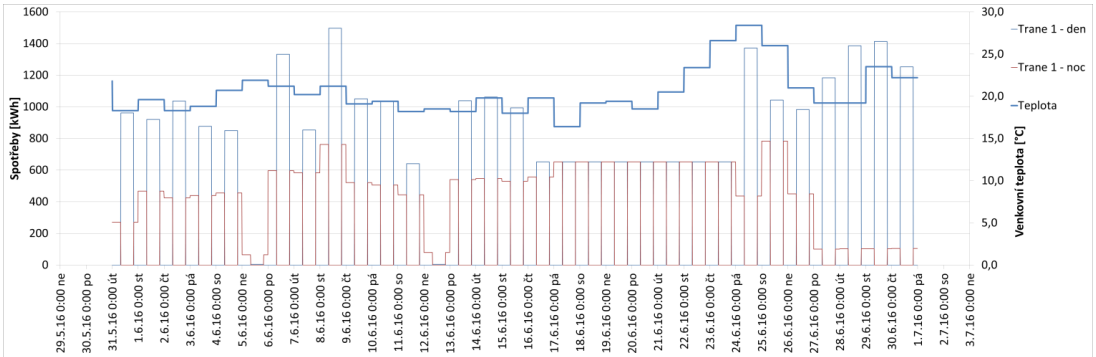
Trane 2 pracoval o víkendech

Od 26.6. už kompresory zdrojů chladu pracují systémem střídání během dne:

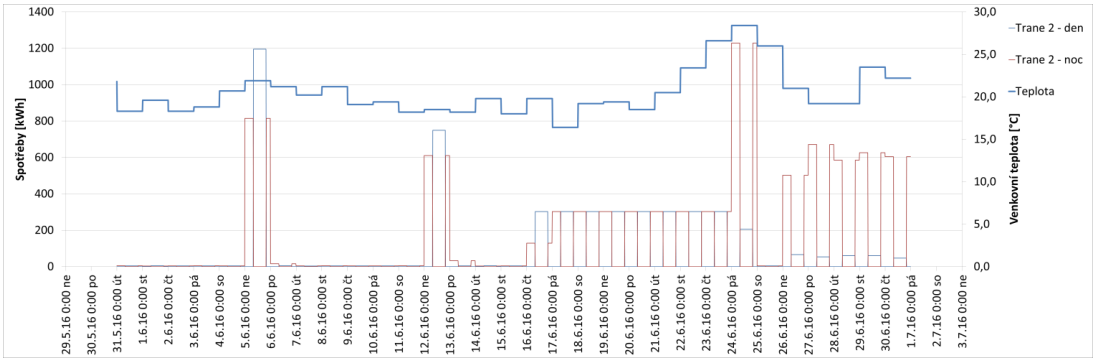
Trane 1 pracuje během dne

Trane 2 pracuje během noci

Stejný průběh spotřeb energie, jako u zdrojů chladu je možné sledovat také u čerpadel chladiva Tranu 1 (čerpadlo č.13) a u čerpadel chladiva Tranu 2 (čerpadlo č.14).



Graf 9 – Trane 1 před 27.6.2016



Graf 10 – Trane 2 před 27.6.2016

Období po vyhoření přípojnicového systému.

(19.9.2017 – 30.11.2017)

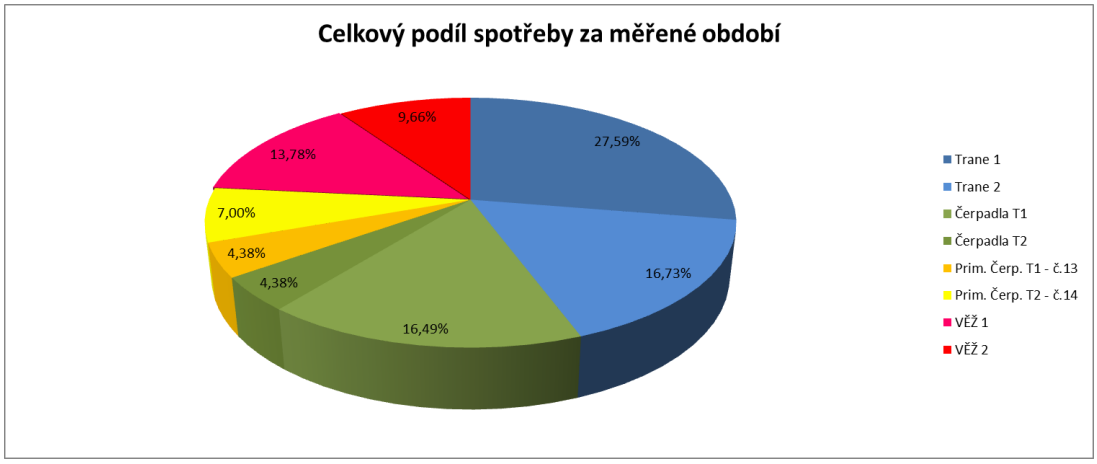
19.9. došlo v budově k vyhoření přípojnicového systému, sloužícímu k ukládání dat spotřeb, který se musel následně celý vyměnit. Výluka systému se protáhla až do konce listopadu, kdy byl systém znovu spuštěn.

10 Budova Pankrác II

10.1 Typický průběh spotřeb

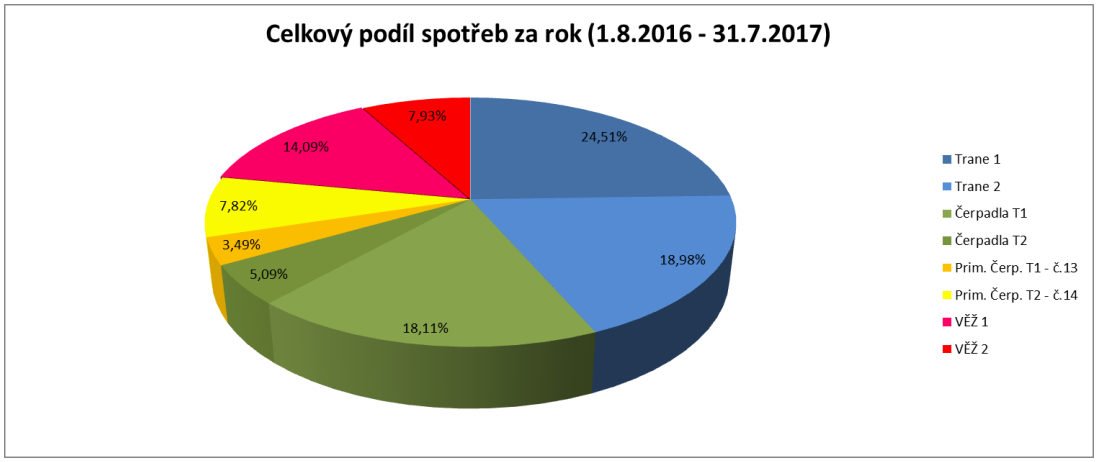
10.1.1 Rozdělení spotřeb

Celková spotřeba budovy na klimatizaci za měřené období je 1 324 MWh. Z takového čísla nám moc užitečných informací neplyne. V první řadě tedy byla celková spotřeba rozdělena na spotřeby jednotlivých technologií.



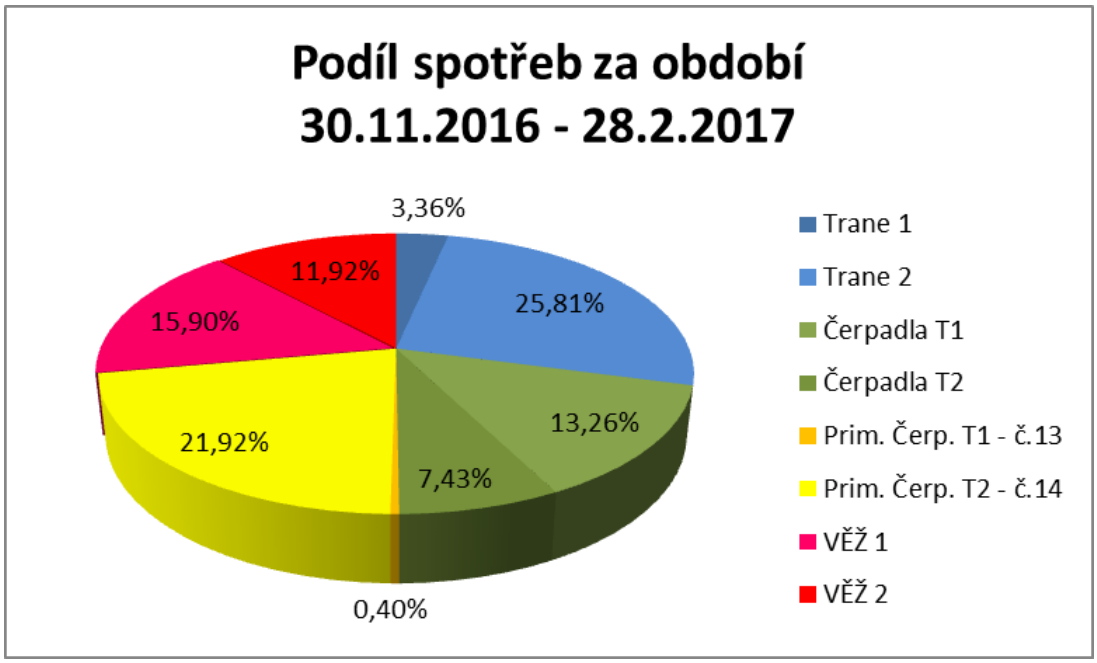
Graf 11 - Podíl spotřeb za měřené období, P2

Tento podíl spotřeb sice obsahuje maximální množství dat, ale může být trochu zavádějící z důvodu nerovnoměrného rozložení spotřeb podle ročního období. Celkový podíl spotřeb by měl být ideálně odečítán z celých roků. Ten je k dispozici pouze jeden, zvolil jsem období 1.8.2016 – 31.7.2017.

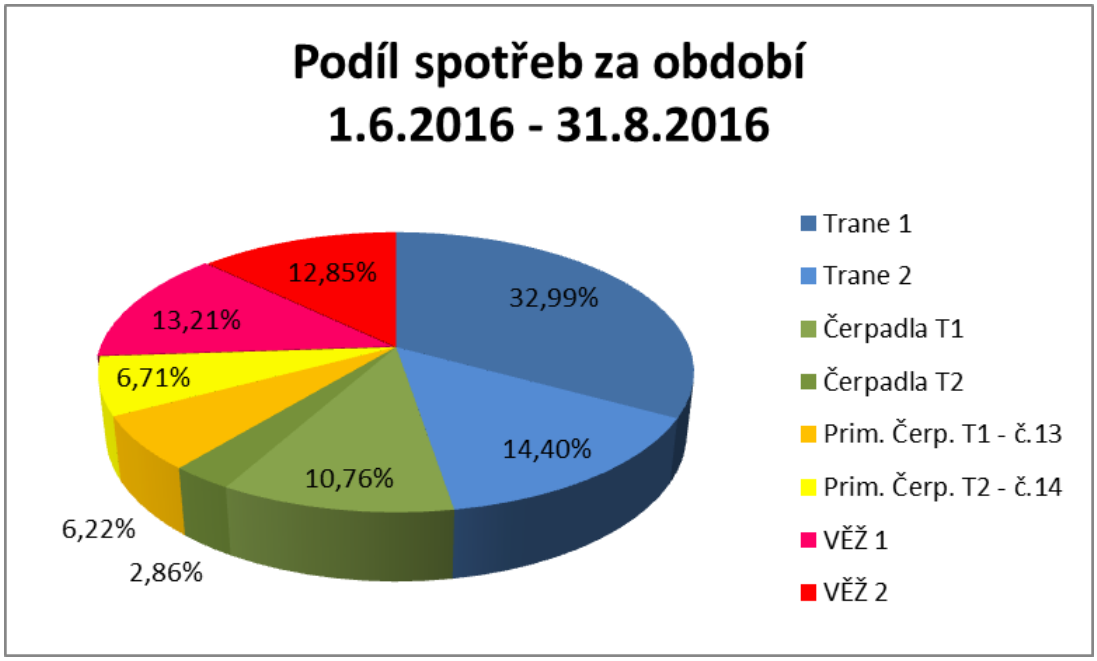


Graf 12 – Roční podíl spotřeb, P2

Podíl spotřeb se (ač nepatrně) změnil. Z toho plyne, že vliv na tuto změnu bude mít mimo jiných vlivů hlavně rozdíl spotřeb v letním a v zimním období.



Graf 13 – Zimní podíl spotřeb, P2

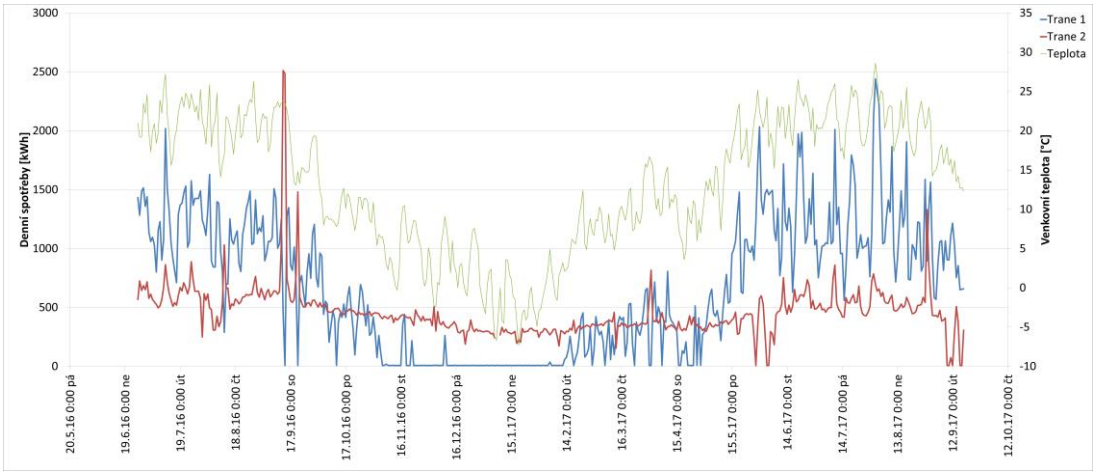


Graf 14 – Letní podíl spotřeb, P2

Z rozdílu těchto podílů spotřeb a jejich analýzy lze vyvodit jednotlivé závěry.

10.1.2 Spotřeba zdrojů chladu

Výrazný rozdíl mezi letním a zimním obdobím je v poměru spotřeb zdrojů chladu, což potvrzuje i dynamický graf závislostí spotřeb zdrojů chladu a teploty v průběhu měření. Z toho lze vyvodit několik příčin.



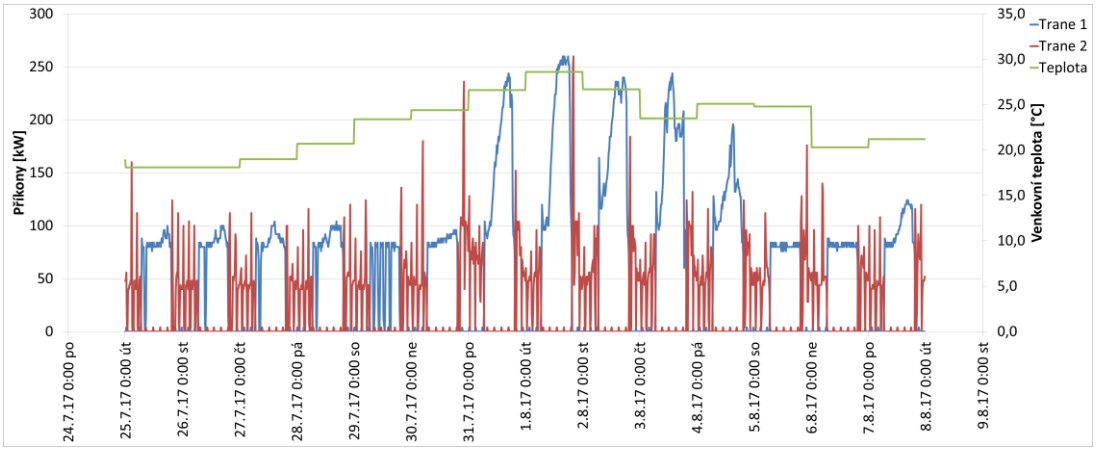
Graf 15 – Průběh denních spotřeb zdrojů chladu a teplot během roku, P2

Provoz zdrojů chladu byl původně kvůli omezení příkonu od dodavatele energií plánován tak, aby Trane 1 pokrýval většinu denních zisků s možností využití

akumulace chladu, nachlazené Tranem 2 přes noc. Zdroje chladu nejsou nikdy spuštěny současně, takže akumulace by byla jediná možnost, jak pokrýt nadbytečnou zátěž během teplých dní.

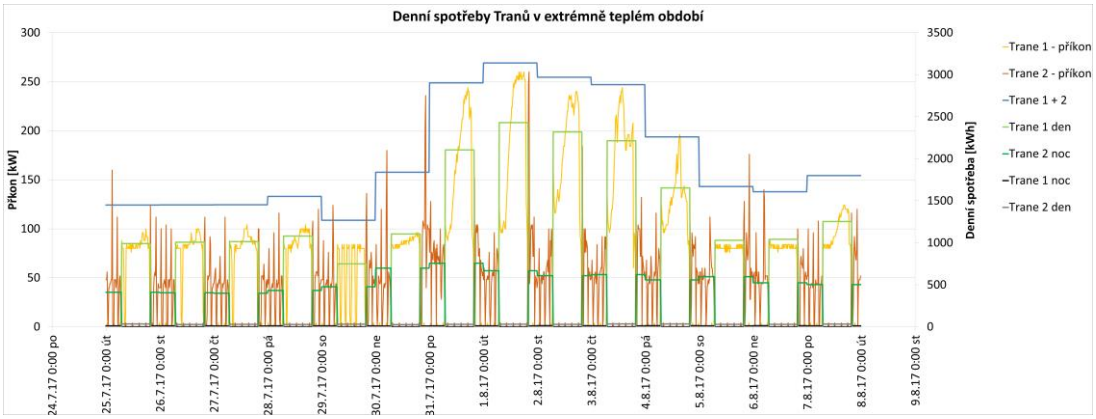
Po spuštění systému se ale zjistilo, že Trane 1 stačí na pokrytí 100% zisků i bez využití akumulace. V současnosti tedy Trane 1 zvládne pokrýt denní zisky během celého roku. Trane 2 pokrývá noční zisky budovy, převážně zisky serverovny. Při poklesu venkovní teploty na 9°C se začíná místo kompresorových zdrojů chladu využívat systému volného chlazení.

Na následujícím grafu jsou letní příkony zdrojů chladu a venkovní teplota během nejteplejšího období měření. Z grafu lze vyčíst například již zmiňovaný střídavý provoz zdrojů chladu, nebo průběh příkonů. Zdroje chladu cyklují do spotřeby cca 80 kW a od 80 kW už lze pozorovat modulaci výkonu.



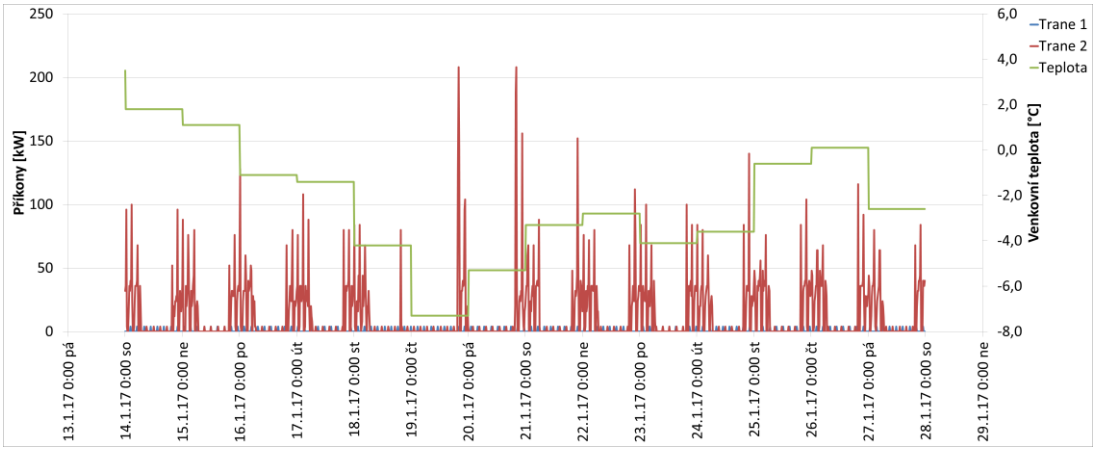
Graf 16 – Letní provoz zdrojů chladu, P2

Na dalším grafu lze vidět i mimo 15-minutových příkonů i celkové denní spotřeby zdrojů chladu. Je tu vidět i poměr denních spotřeb, nočních spotřeb a potvrzení o téměř nulové spotřebě Tranu 1 přes noc a Tranu 2 přes den. Dále si lze všimnout nárůstu noční spotřeby Tranu 2 což by mohlo znamenat nutnost nočního dochlazování budovy při vysoké denní zátěži. Je ale také možné, že v tomto ohledu se při absenci využití akumulace chladu jedná o zbytečnou energii, kterou budova přes noc nevyužije.



Graf 17 – Letní provoz zdrojů chladu – denní spotřeby, P2

Ze zimního provozu lze už jednoznačně učinit závěr, že každodenní frekvence nachlazování ledobanky je opravdu zbytečná a nehospodárná. Jak lze pozorovat v tomto období je jasně patrná úspora pomocí freecoolingu, který nahrazuje výkon Tranu 1 a jistě i noční zátěž serverovny. Trane 2 tedy spíná pouze kvůli nachlazování odstavené ledobanky, které by minimálně v tomto období jistě stačila nižší frekvence.



Graf 18 – Zimní provoz zdrojů chladu – denní spotřeby, P2

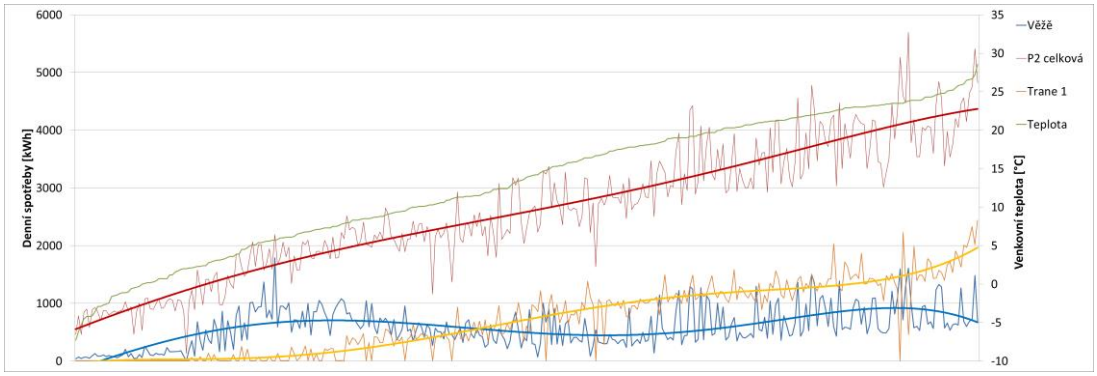
Na základě analýzy těchto dat došlou od 1.12.2017 ke změně provozu, kdy se omezil provoz Tranu 2 z každodenní činnosti na provoz, kdy nachlazuje ledobanku 3x za týden.

Letní pokrytí spotřeby serverovny tímto režimem provozu zatím není známé, ale dala by se očekávat kombinace mrazícího režimu + chlazení serverovny v těchto třech dnech a pouze chlazení serverovny ve zbylých dnech týdne.

10.1.3 Freecooling - analýza a úspora

Trane 1 – spotřeba kompresoru

Kompresor Tranu 1 má nejvyšší spotřebu v letním období, v zimně má spotřebu téměř zanedbatelnou. Jednoznačná příčina je zimní pokles vnějších zisků budovy, ten by ale neměl být takto výrazný, neboť zimní a letní poměr vnějších zisků vzhledem k celkovým ziskům tak výrazný není (vychází z poměru vnitřních a vnějších zisků). Další příčinou by mohlo být využívání freecoolingu. V budově P2 bohužel není měřeno čerpadlo č.15, které by jeho využívání potvrzovalo. Dle informací zaměstnanců budova začíná využívat freecooling při teplotách pod 9°C.Tato informace se potvrdila mimo jiné i z následujícího grafu, kde je znázorněna závislost denních spotřeb Tranu 1 na ventilátorech věží v závislosti na venkovní teplotě. Z naměřených dat je pro tento graf pro přesnost odstraněny již zmiňovaná období a víkendy, což jsou období s odlišným režimem provozu.

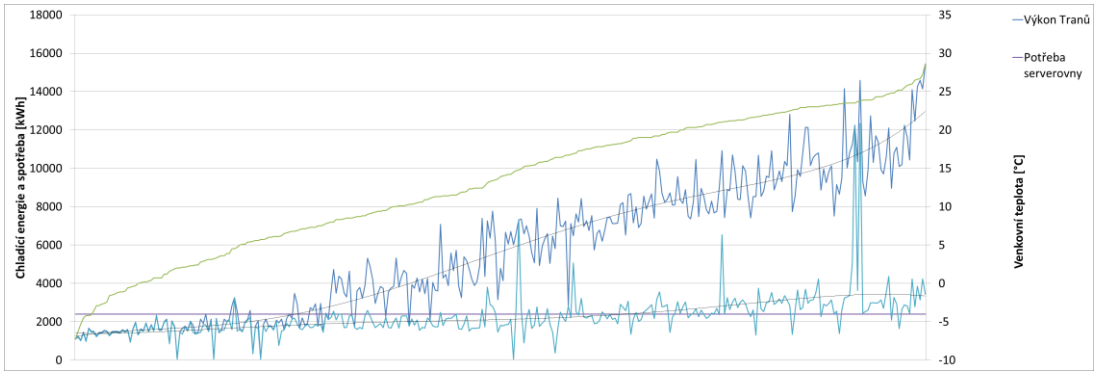


Graf 19 – Závislost spotřeby věží a Tranu 1 na venkovní teplotě – analýza výskytu freecoolingu

Z grafu je zřejmá změna poměru spotřeby Trane 1 a ventilátorů věží při venkovní teplotě cca 10°C.

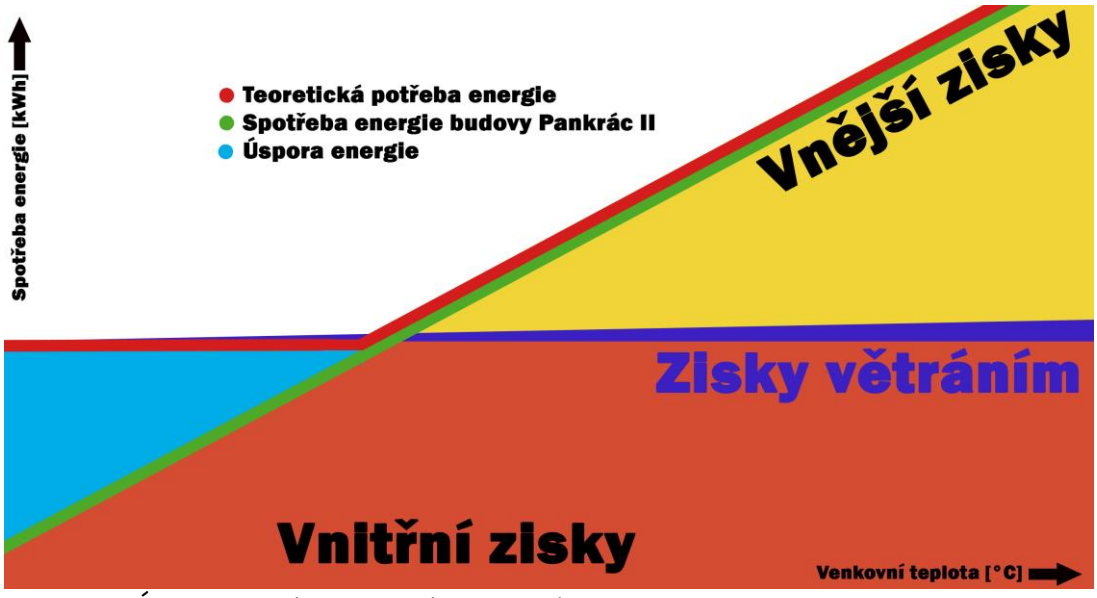
Trane 2 – spotřeba kompresoru

Trane 2 má také vyšší spotřebu v létě, ale rozdíl mezi létem a zimou už není tak výrazný. Vzhledem k tomu, že zdroj chladu není využíván, je tento rozdíl způsoben využitím freecoolingu při chlazení serverovny a částečně také možným letním večerním dochlazováním budovy. V létě tvoří potřeba chladu serverovny cca 25-30% chladícího výkonu budovy v zimě už je potřeba chladu serverovny o 50% vyšší, než výkon zdroje chladu, což lze pozorovat i na dalším grafu, kde je porovnána závislost chladících výkonů zdrojů chladu a konstantní zátěž serverovny na venkovní teplotě. I z tohoto grafu je evidentní, že serverovna je při nižších teplotách chlazena freecoolingem.



Graf 20 – Závislost výkonu zdrojů chladu a potřeby chladu serverovny v závislosti na venkovní teplotě – analýza výskytu freecoolingu

Samotnou úsporu lze sledovat na následujícím ilustračním grafu, kde je vyznačena energie, která by se dle poměru vnějších zisků, vnitřních zisků a jejich průběhů dala očekávat v průběhu roku. V našem případě je pro názornost vypuštěno řazení dle data, ale celý graf je stejně jako graf 20 řazen podle venkovní teploty. K této předpokládané spotřebě je přiřazena skutečná spotřeba.



Graf 21 – Úspora volným chlazením, vlastní zdroj

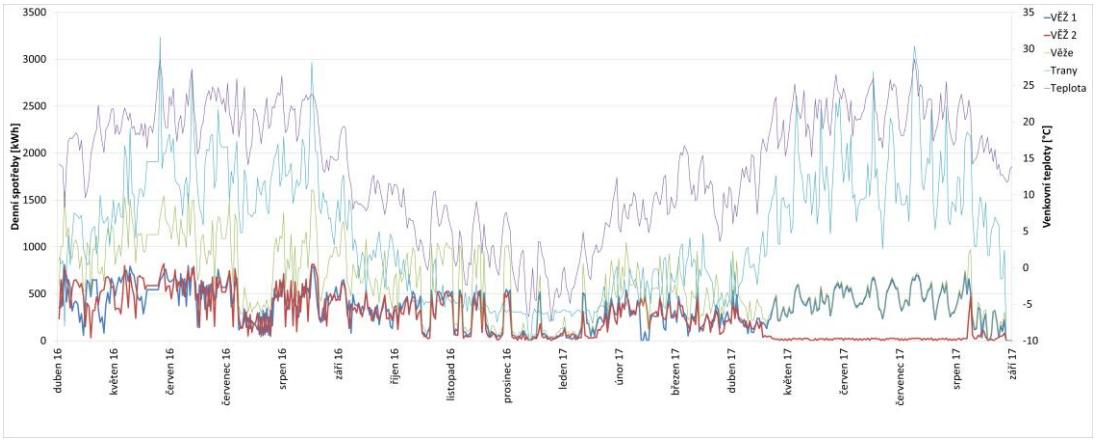
Graf je použit pouze pro názornost, nelze z něj vyčíst žádné konkrétní informace.

Průměrná spotřeba energie Tranu 2 v zimních měsících je 9 130 kWh, v letních 16 430 kWh.

+Trane 1

10.1.4 Spotřeba věží

Poměr spotřeb věží je v letním i zimním období téměř shodný. To potvrzuje paralelní provoz ventilátorů, kdy pracují oba s podobným výkonem během celého roku.

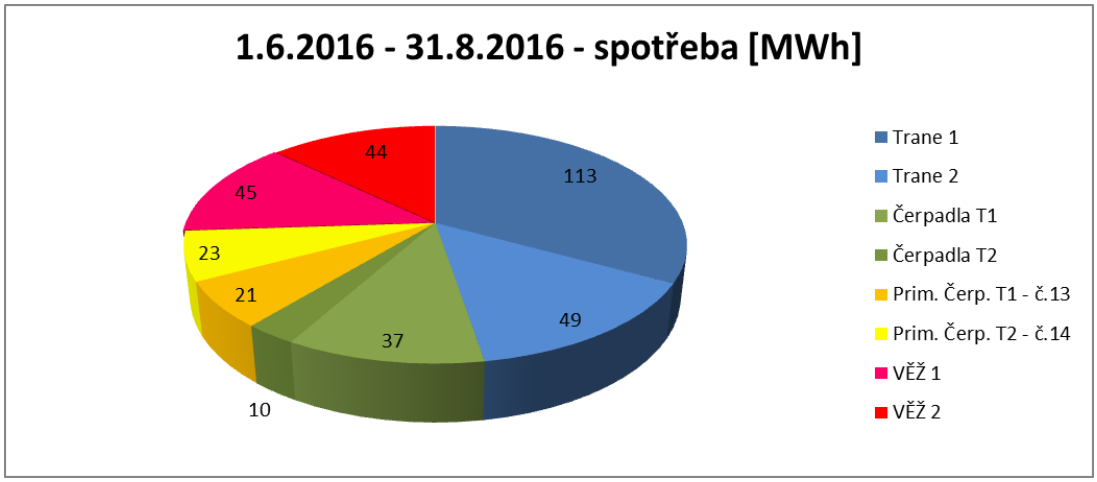


Graf 22 – Spotřeba věží a zdrojů chladu, P2

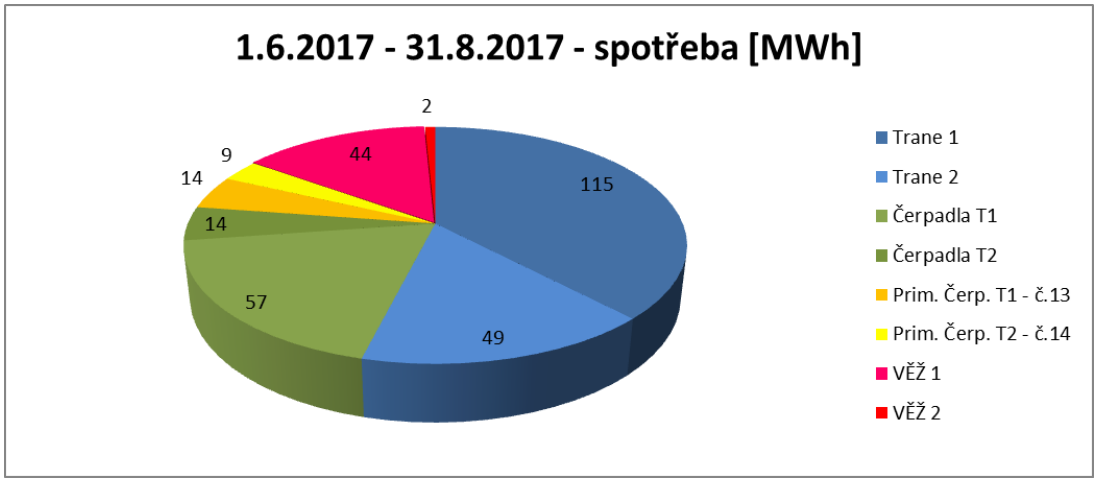
V průběhu měření došlo v souvislosti se spotřebami věží ke dvěma nestandartním situacím. První proběhla v červenci 2016, kde je patrný výrazný pokles spotřeb věží. Pokles je to vzhledem k letním teplotám poměrně nečekaný. Vysvětlení k němu ale nebylo z důvodu stáří data období získána.

Ještě výraznější období je téměř celé léto 2017, kdy došlo k odstavení jednoho z ventilátorů. Od obsluhy budovy bylo zjištěno, že se jednalo o poruchu a výměnu jednoho z ventilátorů. Zajímavé na tomto období ovšem je, že ačkoliv se nezvýšila spotřeba druhé věže, její výkon a tudíž ani výkon zdrojů chladu, zůstala vzhledem k létu 2016 při podobných teplotách srovnatelná, jedna věž tedy stačila k odvedení tepla z obou zdrojů chladu.

Úspora jedné z věží při zachování stejného výkonu zdrojů chladu je patrná i z následujícího srovnání léta 2016 a 2017, kdy bylo je mimo stejného ročního období téměř shodná i průměrná teplota (21°C a 21,7°C).



Graf 23 – Letní rozdělení spotřeb v roce 2016, P2



Graf 24 – Letní rozdělení spotřeb v roce 2017, P2

Po této zkušenosti by tedy jistě nebylo od věci prodiskutovat možnost úspory energie prostřednictvím například střídavého provozu ventilátorů věží.

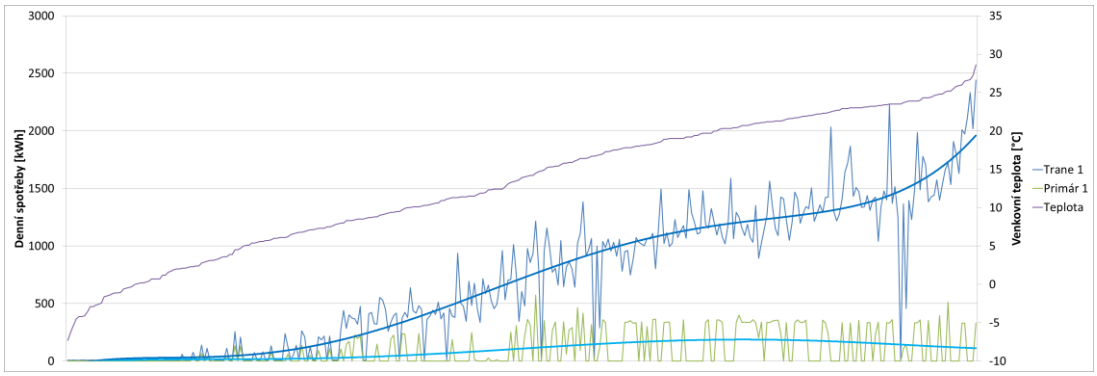
10.1.5 Spotřeba čerpadel

U spotřeby čerpadel je situace složitější, skupiny měřených čerpadel se bohužel nepodařilo identifikovat. Jejich průběh tak nemůže být podroben analýze.

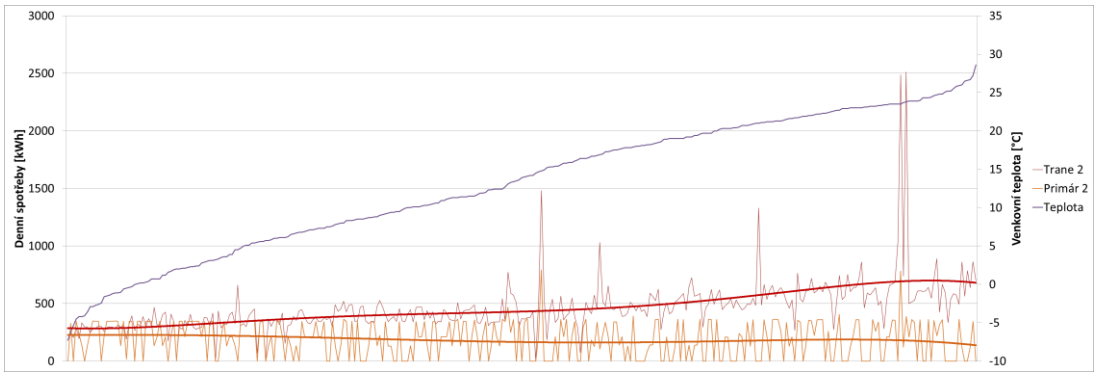
Čerpadla, která odvádí kondenzační teplo od zdrojů chladu k věžím, (č.13 a č.14) sice měřena jsou, ale výsledky odečtu nedávají výsledky, které by odpovídali provozování čerpadel.

Tyto odečty by proto bylo nutné podrobit analýze zapojení měřících členů. Další možnost, proč by tyto spotřeby mohli být odlišné od skutečnosti je odečítání spotřeb mimo samotných čerpadel ještě jiných, nepřiznaných zařízení.

Z dlouhodobějších závislostí sice vypadají závislosti čerpadel chladiva a kompresorů zdrojů chladu v závislosti na teplotě podobně.

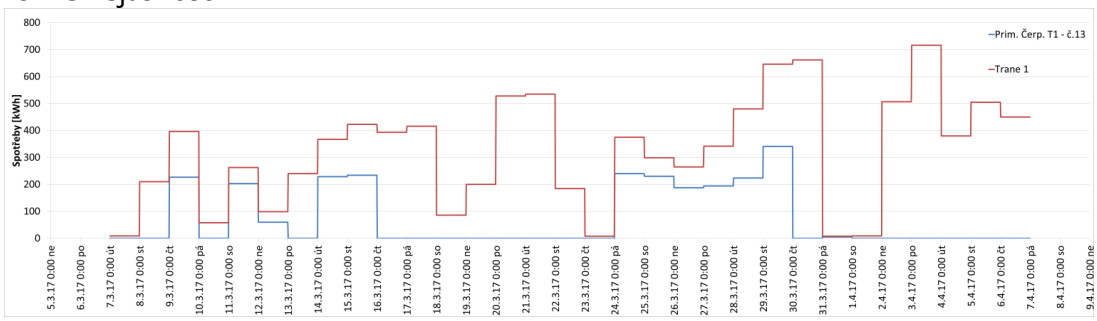


Graf 25 – Závislost Tranu 1 a čerpadla chladiva k Tranu 1 na venkovní teplotě, P2

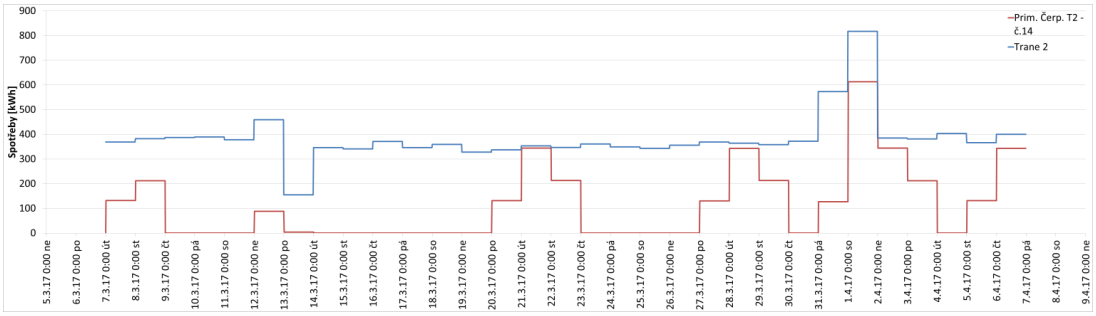


Graf 26 – Závislost Tranu 2 a čerpadla chladiva k Tranu 2 na venkovní teplotě, P2

Z detailního pohledu je ale vidět, že v jejich vzájemných srovnáních se vyskytují různé nejasnosti.



Graf 27 – Závislost spotřeby Tranu 1 na čerpadle chladiva k Tranu 1, P2

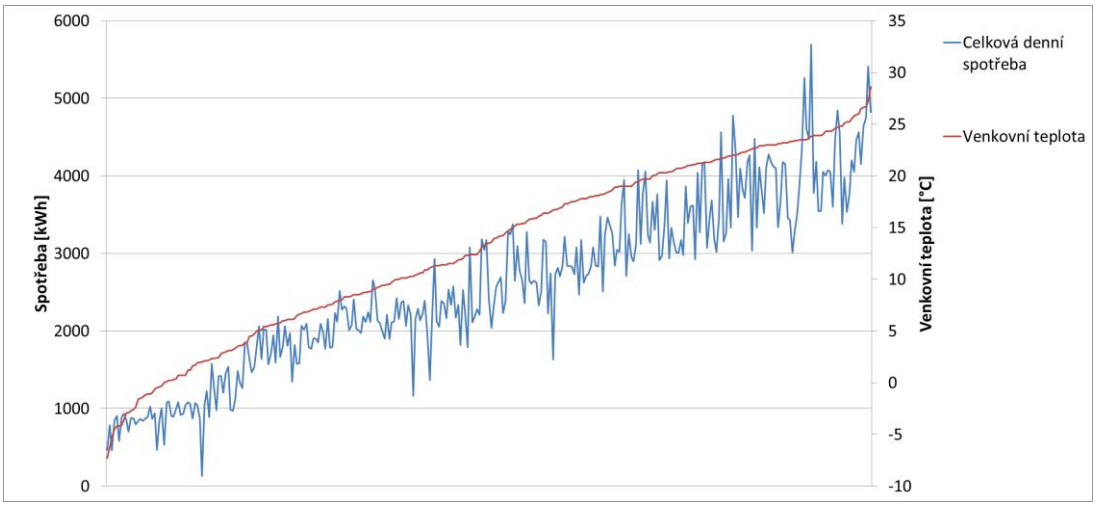


Graf 28 – Závislost spotřeby Tranu 2 na čerpadle chladiva k Tranu 2, P2

Dle informací obsluhy budovy by měl být výkon Tranu modulován pouze kompresorem a čerpadlo chladiva by mělo odvádět tepelnou zátěž konstantním výkonem.

10.1.6 Závislost spotřeby budovy na venkovní teplotě.

Ačkoli se nepodařilo rozklíčovat všechny odečty, budeme i přesto uvažovat, že měřené spotřeby jsou energie, využívané na chlazení budovy. Po odečtení víkendů, a dvou výše zmíněných období byla vytvořena závislost venkovní teploty na celkové spotřebě energie budovy Pankrác II.

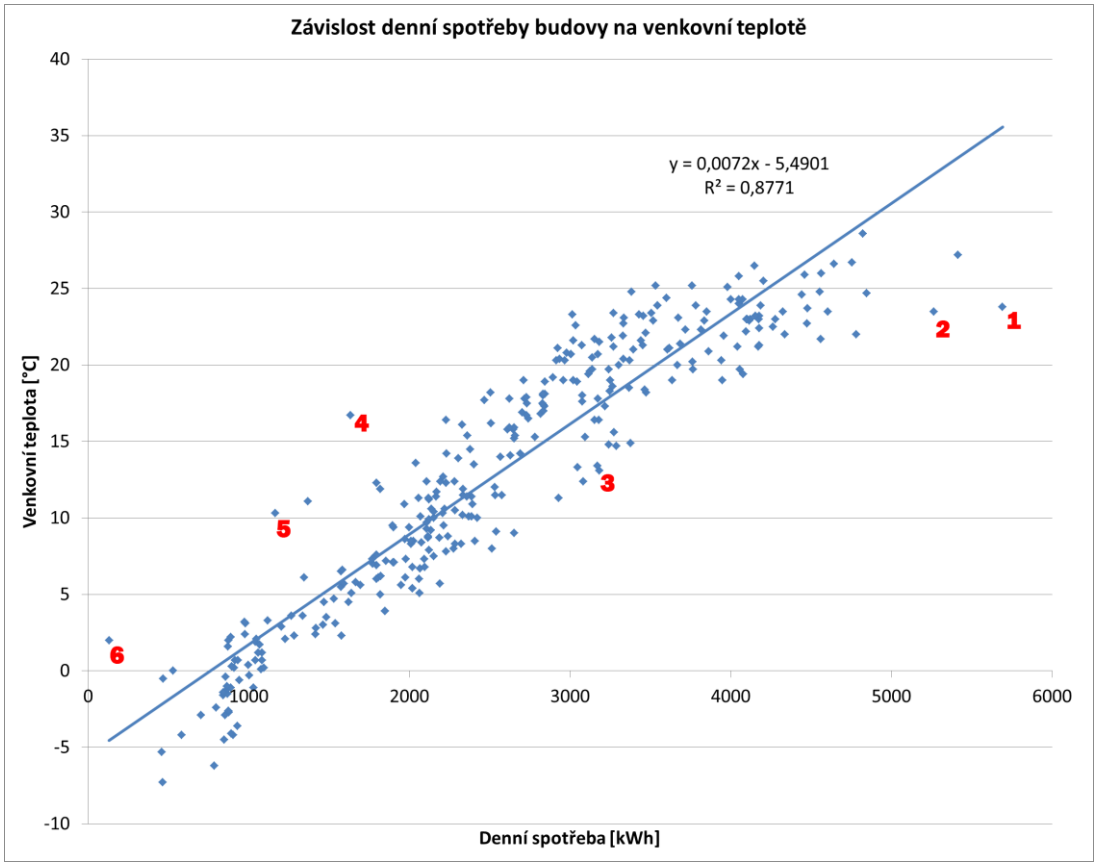


Graf 29 – Závislost celkové spotřeby P2 na venkovní teplotě

Z těchto křivek lze celkem jednoznačně určit, že spotřeba budovy přímo závisí na venkovní teplotě. Po úpravě grafu lze dokonce denní spotřebu budovy určit pomocí průměrné venkovní teploty s až 88% spolehlivostí ze vztahu:

$$Sp = \frac{t_e + 5{,}4901}{0{,}0072} [kWh]$$

Pásmo hodnot by se dalo proložit i polynomem, podle kterého by se výsledky daly určovat až s 90% spolehlivostí, což je spolehlivost poměrně velká, po analýze extrémních dat by se ale dala ještě zvýšit.



Graf 30- Závislost celkové spotřeby P2 na venkovní teplotě, bodový graf

Během období sběru dat totiž vzniklo několik situací, které jednoznačně vybočovali z typického i extrémního průběhu spotřeb. Jedna z možností, jak tyto situace vyhledat je právě výše zobrazený graf denní spotřeby na venkovní teplotě. Na grafu lze pozorovat pásmo, obklopující lineární spojnici, což jsou body, které se dají považovat za standartní. Analýzou vzdálenějších bodů se lze dopracovat k nestandartním situacím, které během provozu chlazení nastaly. Obecně vzdálenější body nad spojnicí jsou body s podezřele nízkou spotřebou a body pod s podezřele vysokou spotřebou. Tyto situace byly očíslovány a byly k nim přiřazeny pravděpodobné příčiny.

Body, které nejvíce vybočují z lineární řady:

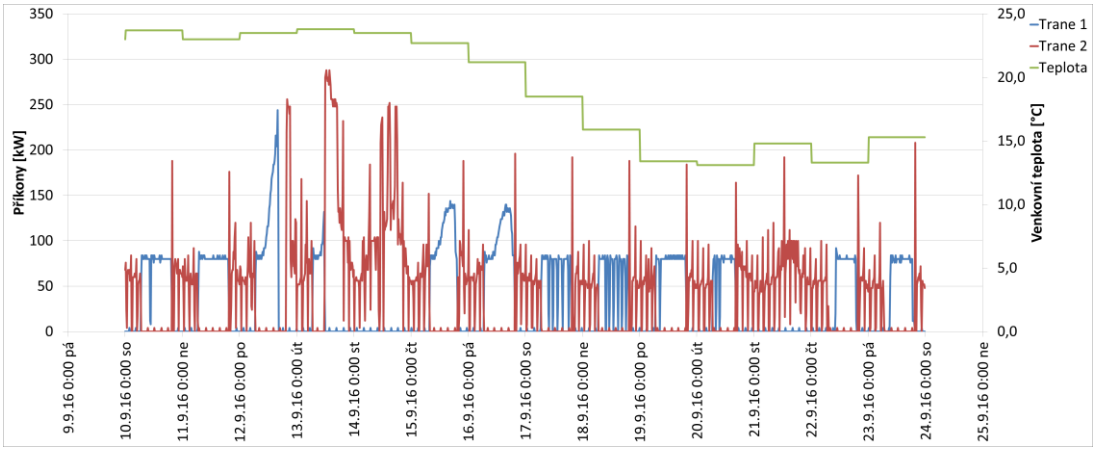
#bodu	Denní spotřeba [kWh]	Venkovní teplota [°C]	Datum extrému
1	5692	23,8	13.09.2016
2	5263	23,5	14.09.2016
3	3181	13,1	20.09.2016
4	1634	16,7	31.03.2017
5	1165	10,3	21.04.2017
6	131	2	01.12.2017

Tabulka 10 – Extrémní situace při odečtu spotřeb

10.1.7 Nestandartní situace

13.-14.9.2016 (bod 1+2)

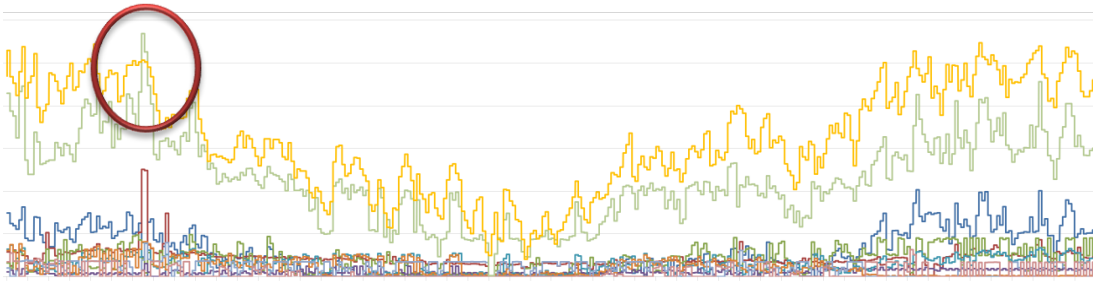
V říjnu 2016 došlu k poruše Tranu 1, takže celou zátěž budovy pokrýval tři dny Trane 2.



Graf 31 – Porucha Tranu 1

Trane 2 tedy musel toto období chladit budovu 24 hodin denně a ještě podle nastavení systému dochlazovat ledobanku, z čehož plyne extrémní využití Tranu 2, které je evidentně vidět i na ročním grafu denních spotřeb Tranu (červená křivka) a viditelně se promítlo i do celkových spotřeb budovy (zelená křivka), což je

logické po identifikaci data v grafu celkových spotřeb.



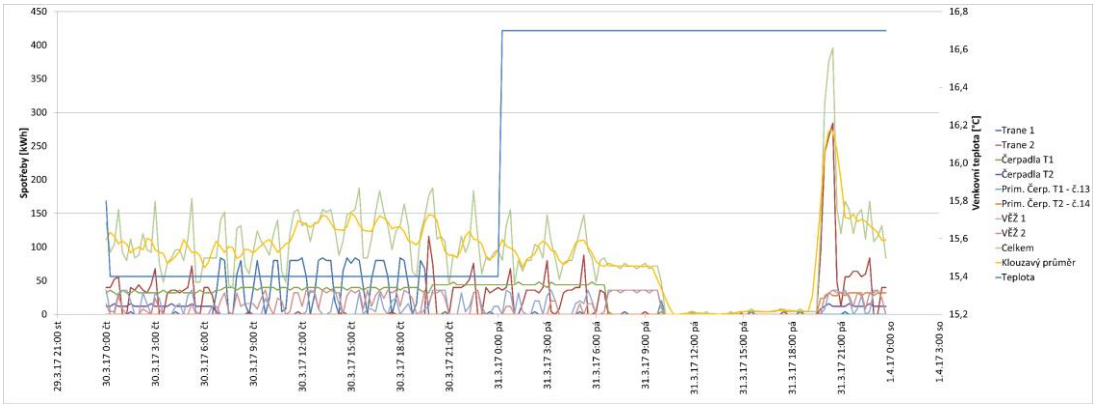
Graf 32 – Poruch Tranu 1 – celková spotřeba

20.9.2016 (bod 3)

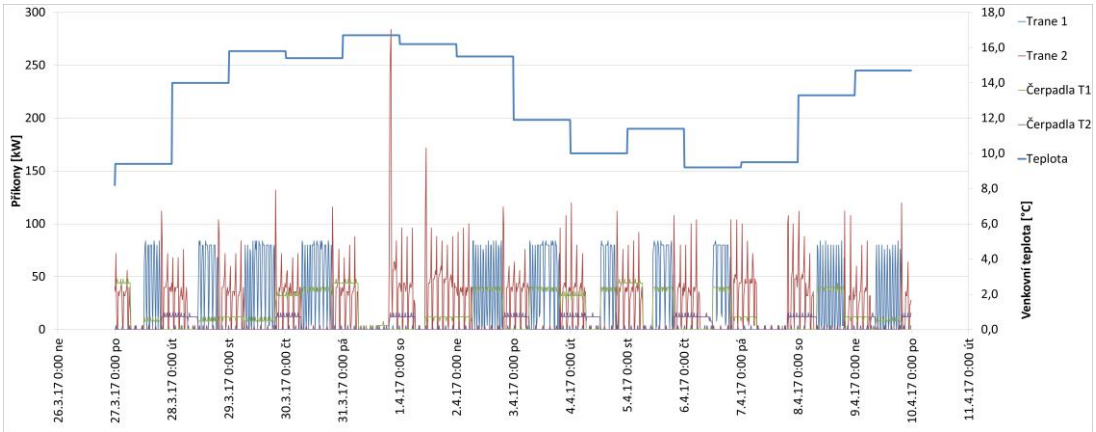
Z Grafu 18 lze vyčíst i bod 3, kdy ještě zřejmě probíhaly nějaké úpravy na Tranu 1 s ohledem na nedávnou poruchu a Trane 2 opět pokrýval spotřebu celé budovy, z čehož plyne opět vyšší spotřeba budovy.

31.3.2017 (bod 4)

V březnu došlo k víkendovému odpojení Tranu 1, k čemuž docházelo od té doby v menší míře pravidelně. Zřejmě se jedná o formu úspory budovy, tato teorie ovšem není potvrzená.



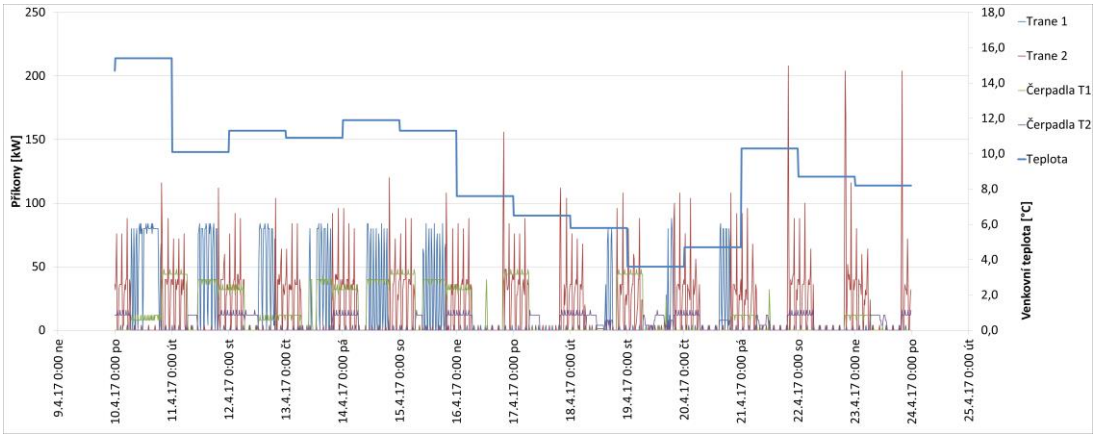
Graf 33 – Víkendový pokles spotřeby budovy P2



Graf 34 – Víkendový pokles spotřeby zdrojů chladu, P2

21.4.2017 (bod 5)

V dubnu se nacházíme v přechodovém období, kdy teploty kolísají kolem 10°C. Konkrétně 21.4. je den, kdy se poměrně náhle oteplilo, ale zřejmě z důvodu víkendové úspory (viz. bod 4) nebylo nutné spouštět Trane 1.



Na grafu lze také pozorovat využití freecoolingu v přechodovém období, kdy od 16. do 21.4. nespínal Trane 1 při venkovních teplotách 4-8°C.

1.12.2017 (bod 6)

V tento den byl systém po téměř dvouměsíční pauze kvůli vyhoření přípojnice poprvé spouštěn, takže malá spotřeba je dána spíše zabíháním systému, než plánovanou úsporou.

Další způsob, kterým lze určit nestandartní situace při provozu klimatizace je výpis maximálních spotřeb odečtů.

Maximální výkony

technologie	Datum	čas	extrém	průměr	Četnost extrému
Trane 1	1.8.2017	16:45	260	6,5	25
Trane 2	24.6.2016	23:00	296	3,94	23
Čerpadla T1	13.6.2017	14:00	68	3,89	2
Čerpadla T2	7.9.2017	10:15	24	1,04	1
Prim.čerp.T1	-	-	32	1,65	9 481
Prim.čerp.T2	-	-	36	1,03	244

Věž 1	13.6.2017	14:00	68	3,29	2
Věž 2	5.5.2016	3:30	44	2,32	11
Celkově	24.6.2016	23:00	412	23,66	7

Tabulka 11 - Extrémní situace čtvrthodinových spotřeb

Z této tabulky se dá určit:

Potvrzení maximálního dne 1.8.2017 dle teploty i maximální spotřebou Tranu 1.

Zdroj chladu Trane 2 může krátkodobě fungovat i na 110% výkonu.

Po sečtení odečtů čtvrthodinových spotřeb jsem mohl vyhodnotit také extrémní dny.

Maximální denní spotřeby

technologie	Datum	extrém	průměr	teplota	Možná příčina
Trane 1	1.8.2017	2 441	624	28,6	Nejvyšší teplota
Trane 2	13.9.2016	2 511	379	23,8	Porucha T1
Čerpadla T1	26.8.2017	1 015	374	23,8	
Čerpadla T2	14.9.2016	304	100	23,5	Porucha T1
Prim.čerp.T1	6.12.2017	848	316	5,7	Nový režim
Prim.čerp.T2	6.12.2017	941	222	5,7	Nový režim
Věž 1	21.9.2016	794	158	14,8	
Věž 2	7.5.2016	687	99	17,8	
Celkově	13.9.2016	5 692	2 271	23,8	Porucha T1

Tabulka 12 - Extrémní situace denních spotřeb

10.1.8 Optimalizace systému

Mimo výše zmíněných úspor ohledně provozu Tranu 2 (viz 10.1.2), nebo možnosti úspory při provozu Věží (10.1.7) se nabízí ještě možnost využití zdroje chladu.

Při výpočtech úspory je nutné zvážit několik hledisek.

Výhodou celé myšlenky je, že celý systém akumulace je v budově již nainstalován, neboť bylo jeho využívání původně plánováno. Otázkou je, kolik by stála optimalizace systému tak, aby byla úspora co nejvyšší, nebo kolik by eventuálně stála údržba systému.

Velkou roli hraje také smlouva s dodavatelem energií a to hlavně v otázce rozdílu ceny špičkového a nočního proudu.

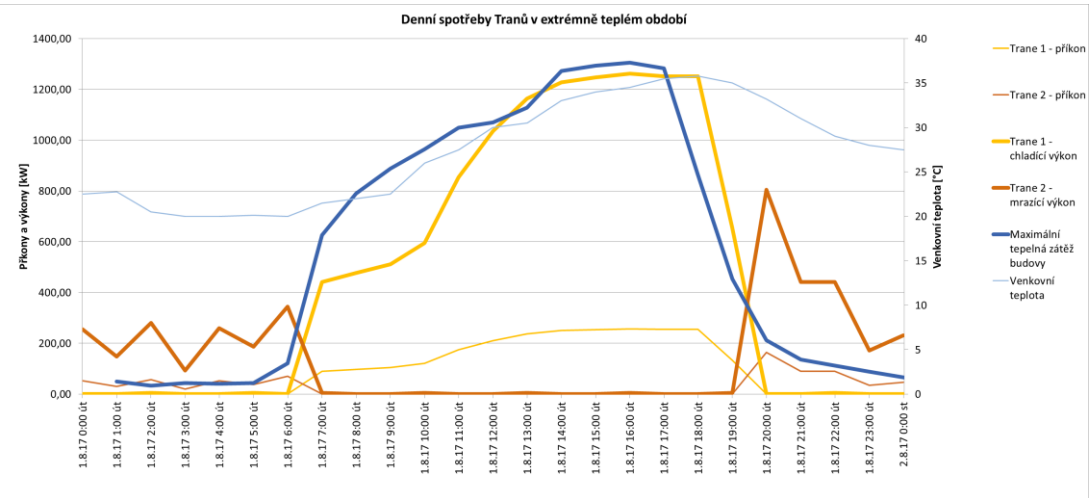
Poslední hledisko je výpočet skutečné úspory samotných zdrojů chladu, protože při mrazícím režimu, kdy systém akumuluje chlad do ledobanky klesá kvůli nízkým teplotám chladící poměr Tranu a tím pádem i jeho výkon.

10.1.9 Porovnání zisků dle ČSN s reálnou spotřebou

Jedním z cílů práce je ověření návrhu stávajícího zdroje chladu. Ve výpočtu zisků (viz 8.2) bylo uvažováno jak s údaji danými, tak s údaji odhadnutými. Na základě skutečnosti, že budova nevyužívá zdroj chladu ani při letních maximálních zátěžích, kdy celou zátěž budovy zvládne pokrýt navržený zdroj chladu, s maximálním chladícím výkonem 1 342 kW bylo nutné úvahu odhadnutých údajů změnit.

Například údaj o výkonu technologií, kdy není známo kolik PC a tiskáren se v budově nachází, byla snížena z 250W/osobu na 150W/osobu a bylo odhadnuto, že v době maximální zátěže (16:00) bude osvětlení v budově v provozu pouze na polovině kancelářské plochy. Touto změnou bylo dosaženo maximální tepelné zátěže 1 296 kW. V takové situaci je stávající zdroj chladu dostačující.

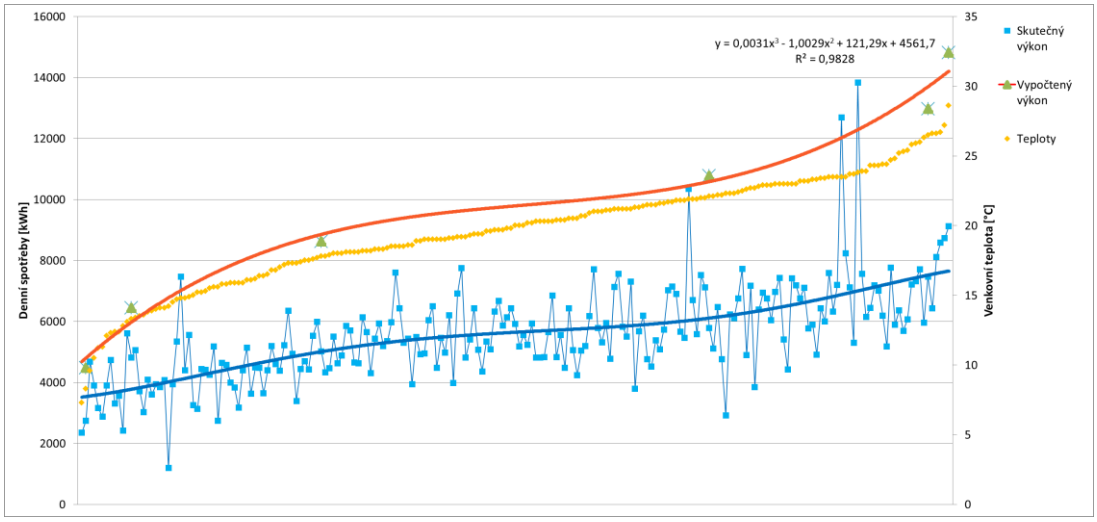
Následující graf znázorňuje rozložení vypočteného výkonu dne, s nejvyšší tepelnou zátěží dle ČSN a jeho poměření s nejteplejším skutečným dnem během měřeného období. Z grafu lze vyčíst, že byla vypočtena zátěž objektu velice blízká zátěži skutečné.



Graf 35 – Poměr vypočteného a skutečného výkonu, P2

V následující části bude porovnána celková skutečná sezónní spotřeba na chlazení se spotřebou teoretickou, spočítanou intervalovou metodou, vycházející z údajů výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostorů ČSN 73 0548. Jako sezonu budu uvažovat období květen – září, kde beru typické teploty tohoto období v pracovní doby 7:00 – 18:00 a bez víkendů.

Výpočtem maximální tepelné zátěže venkovních zisků pomocí normy ČSN 73 0548 dostanu hodinové zisky v průběhu celého dne. Vnitřní zisky a jejich denní rozložení je nutné opět odhadnout. Osvětlení bylo počítáno na 100% kancelářské plochy od 7:00 do 10:00 a od 15:00 do 18:00. Zbytek dne uvažuji osvětlení jen na polovině plochy. Odhadnutou zátěž kavárny a kuchyně uvažuji se špičkou (100%) od 8:00 do 9:00 a od 11:00 do 14:00. Zbytek dne odhaduji zátěž na 50% výkonu.
Intervalová metoda byla použita na základě výpočtu spotřeb energií, dle teplot, typických pro dané hodiny. Byly uvažovány pouze spotřeby během pracovní doby. Intervaly byly vytvořeny po 5°C, váženým průměrem teplot, vyskytujících se v daném intervalu byla vypočtena průměrná teplota intervalu, která byla zpětně rozdělena do hodin pracovní doby budovy a z těchto teplot byla vypočítána spotřeba. Tento postup byl z důvodu zohlednění všech měsíců sezony opakován pro všechny měsíce sezony a zprůměrován.
Průměrný chladící výkon, vypočtený dle ČSN je 748 kW, za pracovní dobu je to 8 971 kWh. Skutečný průměrný chladící výkon během pracovní doby je 454 kW, denně 5 571 kWh.
Když porovnáme celou sezonu květen – září, dostaneme se k vypočtené spotřebě 896 MWh a skutečná sezónní spotřeba je 557 MWh.
Pomocí zjednodušené simulace byl znázorněn poměr mezi vypočteným výkonem podle výše zmíněných parametrů a skutečným chladícím výkonem zdrojů chladu během pracovní doby za sezonu.



Graf 36 – Sezonní poměr vypočteného a skutečného výkonu zdrojů chladu v závislosti na teplotě, P2

Celková spotřeba budovy za měřené období je 1324 MWh, roční spotřeba je 846 MWh.

Celkové ploch budovy Pankrác 2 je 32 761 m^2, takže měrná spotřeba energie je 26 kWh/m^2 za rok.

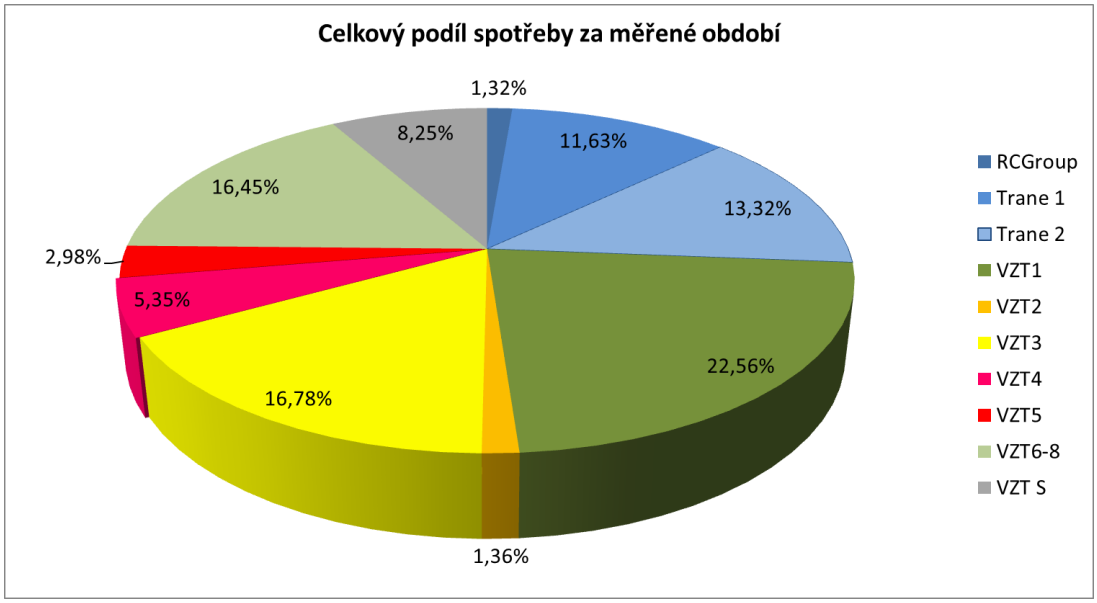
Polocha kancelářských ploch budovy, na kterou lze spotřebu také vztáhnout je 25 000 m^2. Takže měrná spotřeba energie na kancelářskou plochu je 34 kWh/m^2 za rok.

11 Budova Pankrác I

Jak již bylo řečeno, odečet dat v budově Pankrác I není dostačující, z důvodu absence měření nově spuštěných zařízení není možné v rámci práce stanovit na budově P1 nějaké komplexní závěry.

11.1 Typický průběh spotřeb

Měřená část spotřeb klimatizačního systému budovy Pankrác 1 má v období 1.5.2016 – 6.12.2017 spotřebu 958,1 MWh. Podíl spotřeb:



Graf 37 - Podíl spotřeb za měřené období P1

Celková chladící kapacita budovy Pankrác 1 je 656 kW s příkonem 211 kW.

Popis odečítaných Vzduchotechnických zařízení

VZT1 – 65,2 kW – Vstupní hala a kanceláře „B"

VZT 2 – 51 kW – Kanceláře „A"

VZT 3 – 50 kW – Kancelářské plochy 2 – 4 NP „B"

VZT 4 – 57,7 kW - Kancelářské plochy 2 – 4 NP „B"

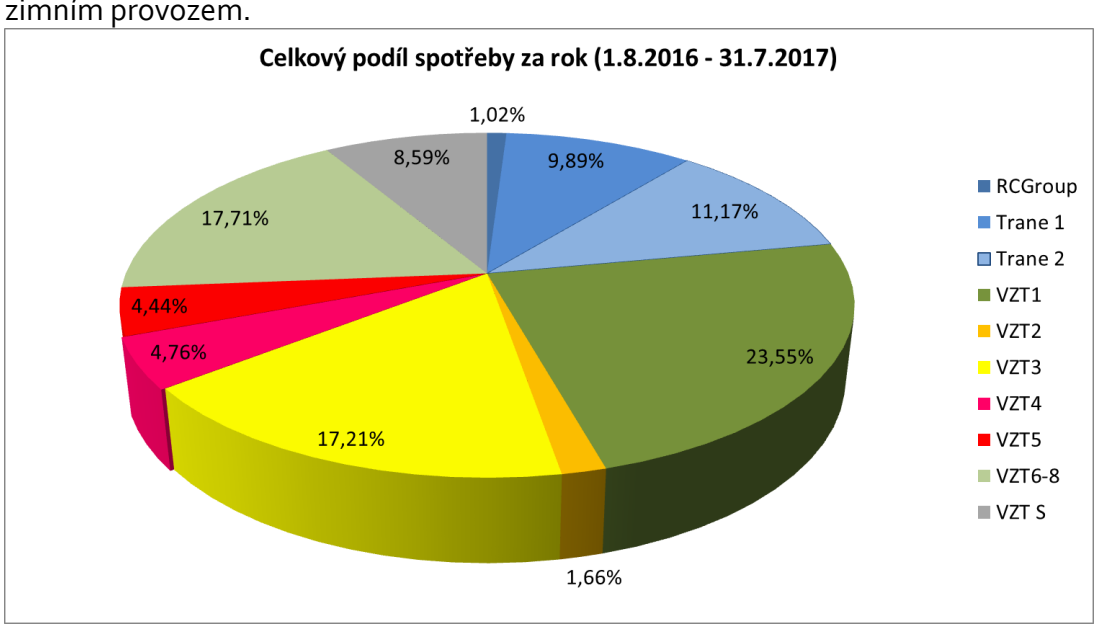
VZT 5 – 63,5 kW – Kancelářské plochy 5 NP „B"

VZT 6 – 43,9 kW – Plochy zázemí a učeben 5 NP „B"

VZT 7 – 1PP

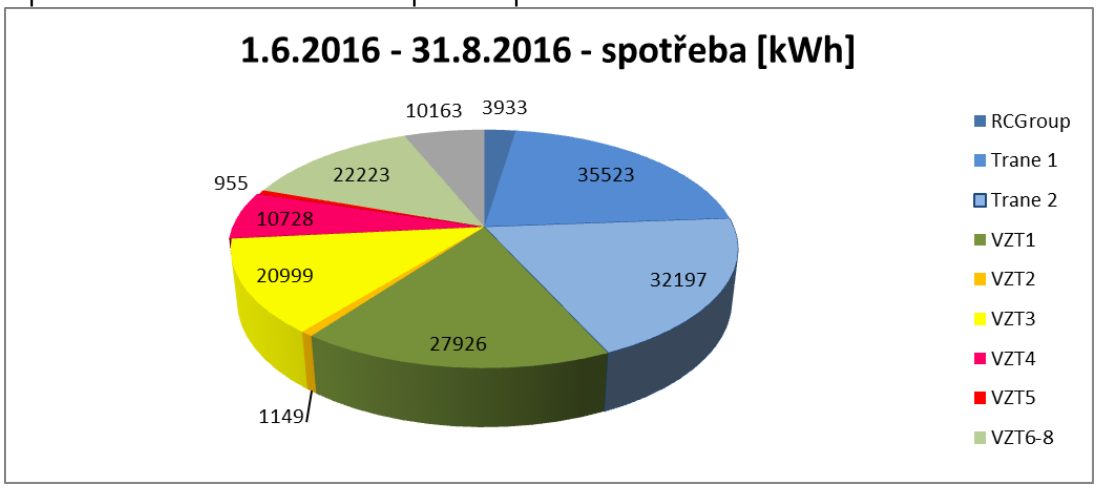
VZT 8 – 1PP

Opět porovnáme s ročním podílem spotřeb a stanovíme rozdíly mezi letním a zimním provozem.

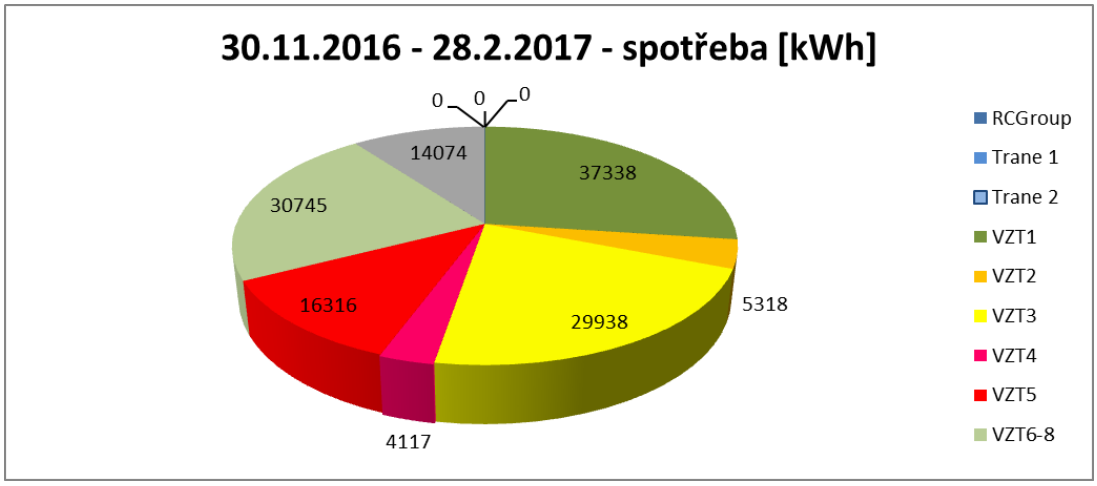


Graf 38 – Roční podíl spotřeb, P1

Opět lze vidět drobnou změnu podílů spotřeb.

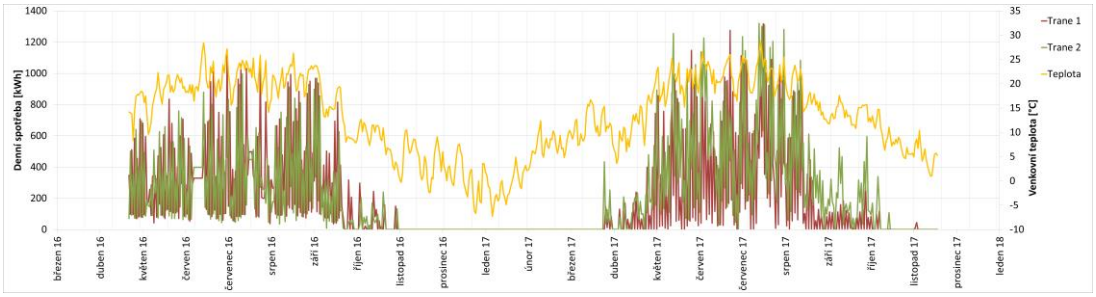


Graf 39 – Zimní podíl spotřeb, P1



Graf 40 – Letní podíl spotřeb, P1

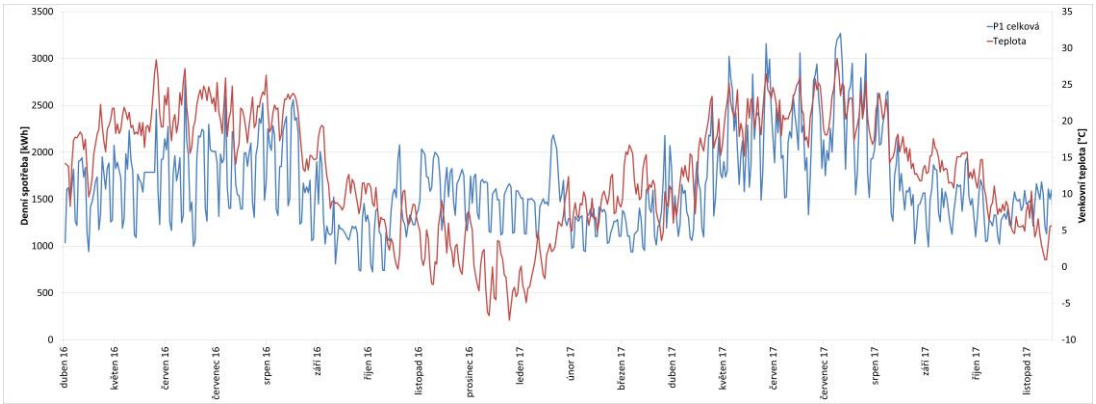
Rozdíly podílů mezi zimním a letním provozem jsou zcela jasné. V budově se jednak nenachází žádná technologie, vyžadující permanentní pokrytí zátěže (serverovna), ani technologie akumulace chladu, proto je možné si dovolit přes zimu odstavit oba zdroje chladu a případné dochlazování řešit pouze freecoolingem.



Graf 41 – Průběh denních spotřeb zdrojů chladu a teplot, P1

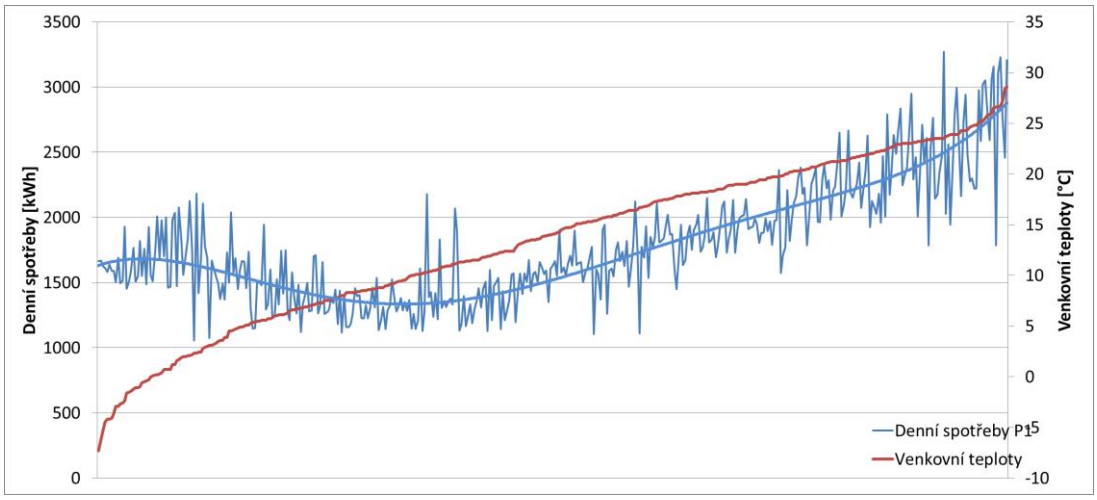
Dále si lze všimnout, že zatímco některé vzduchotechniky mají po celý rok téměř konstantní průběh, jiné mají na první pohled nevysvětlitelný zimní nárůst. Tento nárůst je způsoben při odečtu spotřeb vzduchotechnických zařízení, kdy je ke spotřebě ventilátoru přičtena ještě spotřeba energie na vlhčení vzduchu.

Tuto skutečnost lze potvrdit i na dalším grafu, kde je závislost celkové spotřeby budovy P1 na venkovní teplotě vzduchu.



Graf 42 - Průběh denní spotřeby budovy P1 a venkovních teplot

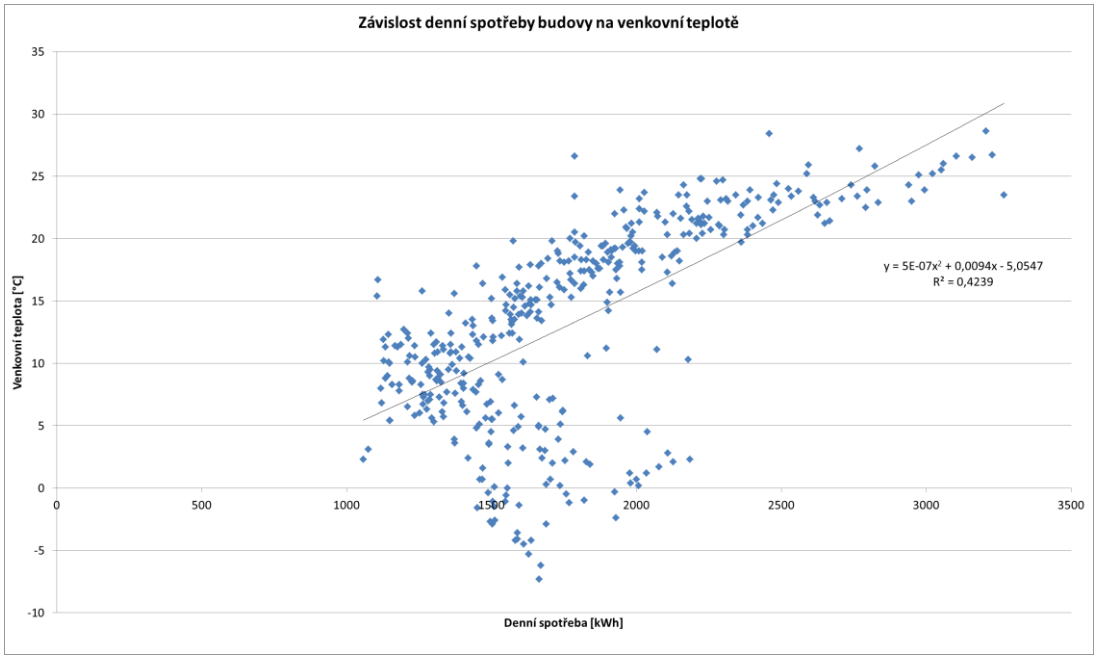
Z grafu lze vyčíst místo očekávaného zimního poklesu energií naopak zimní nárůst, nejnižší spotřebu má tak budova paradoxně v přechodových obdobých při teplotách kolem 12°C, čehož si lze všimnou i na následujícím grafu, kde se nacházejí stejné veličiny, jen nejsou seřazeny dle data, ale dle teploty.



Graf 43 - Spotřeba budovy P1 v závislosti na venkovní teplotě

Z této skutečnosti vyplívá, že je zbytečné řídit se grafem závislosti celkové spotřeby budovy na venkovní teplotě, neboť nepředvídatelných dat je zde v tomto případě mnoho. Potvrzuje to i spolehlivost závislosti 42%.

Pro srovnání graf závisloti denní spotřeby na venkovní teplotě :



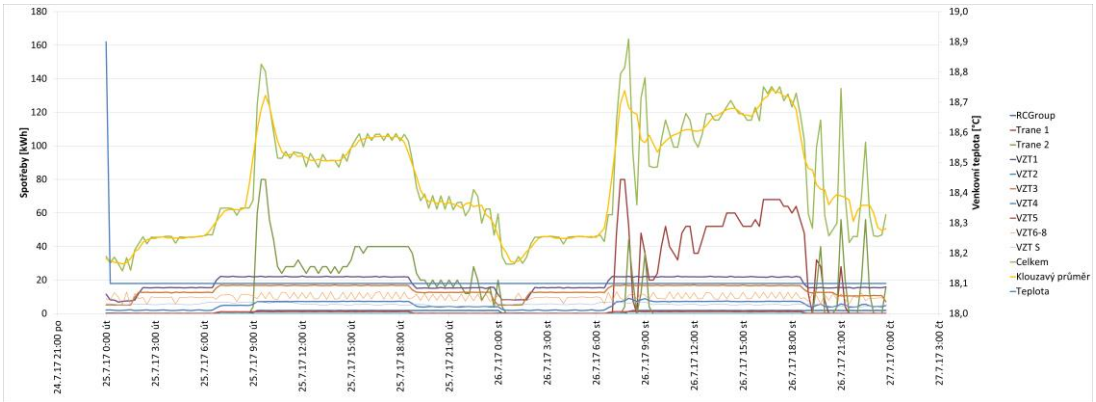
Graf 44 - Spotřeba budovy P1 v závislosti na venkovní teplotě - bodový graf

Z průběhu spotřeb vzduchotechnických jednotek se dá odhadnout (poku u některých z nich zanedbáme zimní vlhčení), že pracují podle aktuálně nastaveného režimu. Například VZT 3 fungovala do listopadu 2016 s denní spotřebou cca 280 kWh, poté začala fungovat se spotřebou 350 kWh. Podobně se změnil režim provozu i VZT 1. Dále by se dalo odhadnout, že VZT 5 se využívá primárně kvůli zimnímu vlhčení.

Průběh spotřeb zdrojů chladu během roku

Graf 45 - Průběh spotřeb vzduchotechnických jednotek

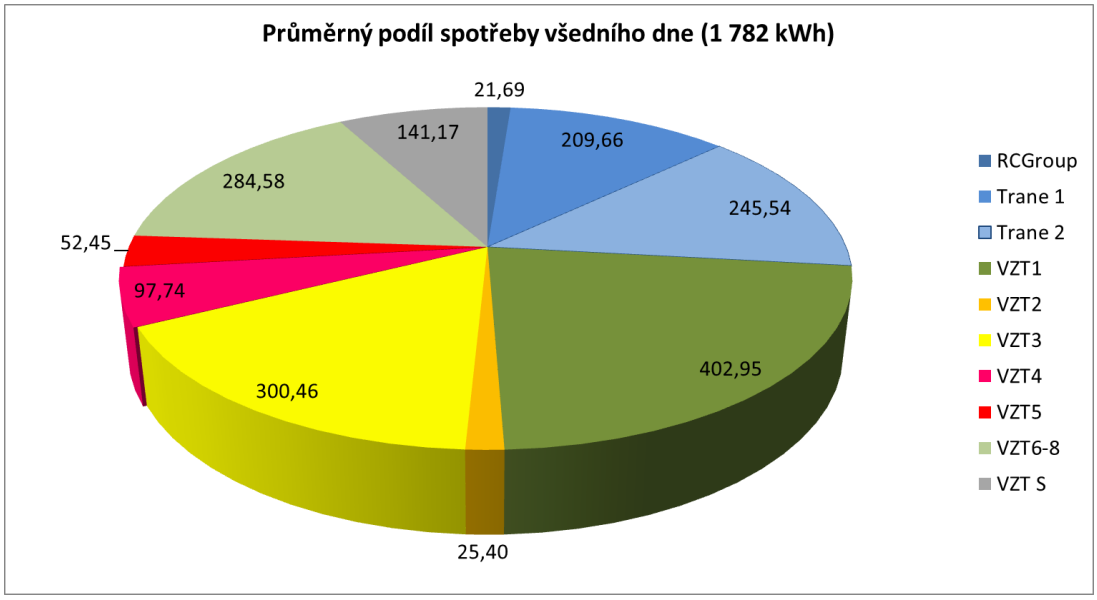
V letním období pracují oba zdroje chladu na principu 24-hodinového střídání.



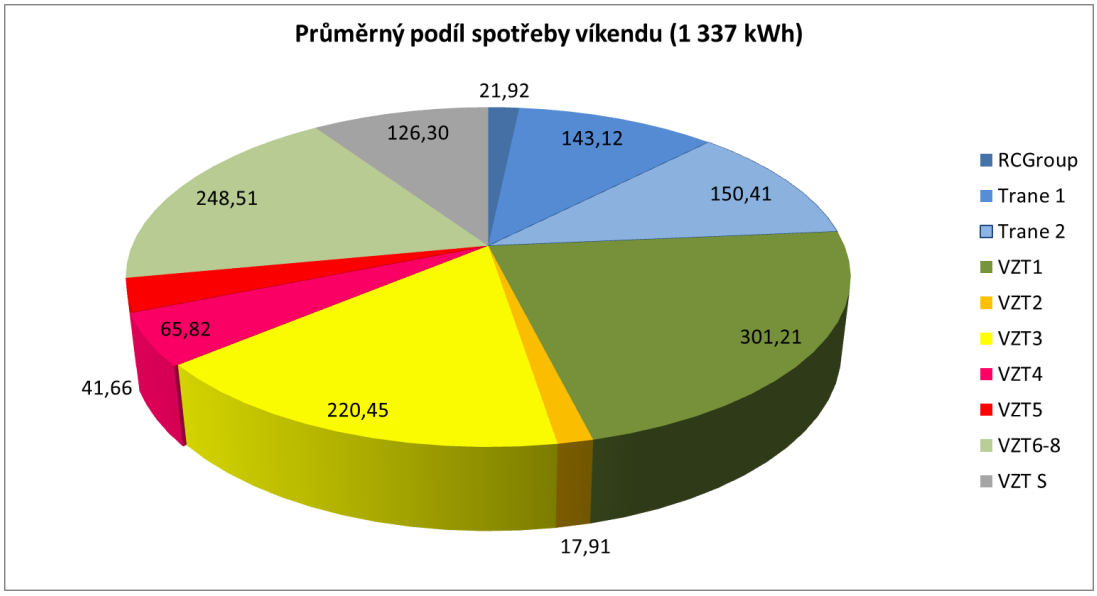
Graf 46 – Denní průběh spotřeb techologií v budově P1

11.2 Optimalizace systému

Průměrná celková týdenní spotřeba je 1782 kWh, průměrná víkendová spotřeba je 1329 kWh, což by se dalo považovat vzhledem k teoreticky nulové víkendové spotřebě docela dost.



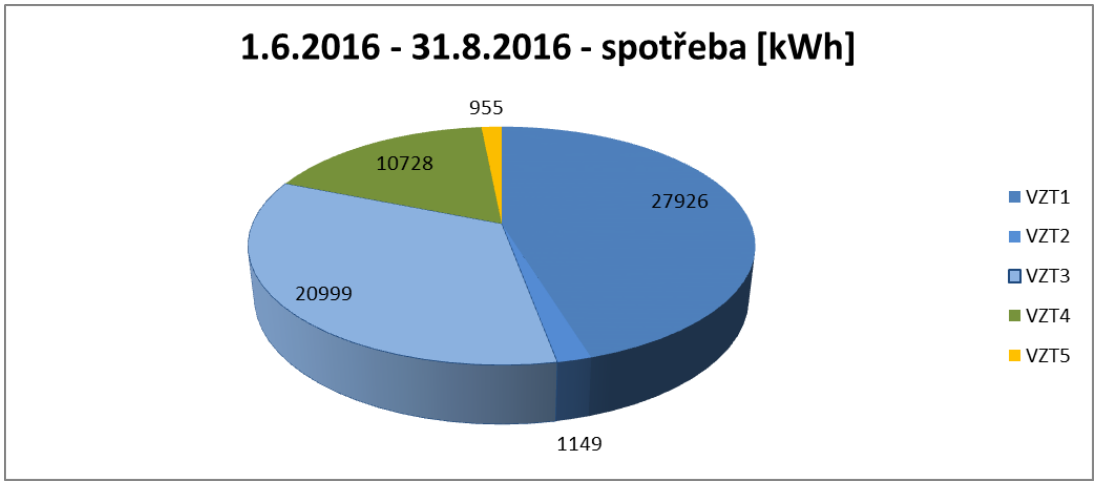
Graf 47 – Podíl spotřeb všedního dne, P1



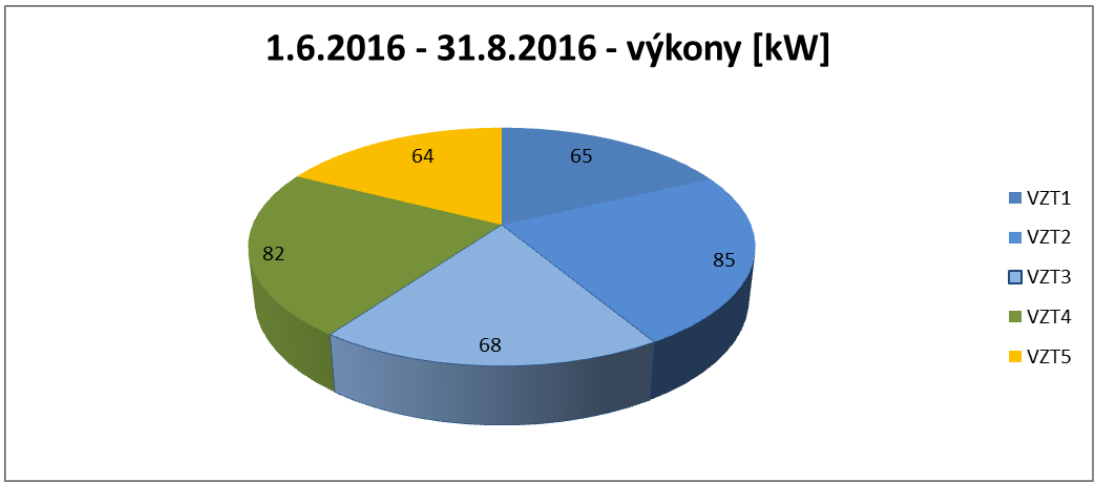
Graf 48 - Průměr spotřeb víkendového dne, P1

Stejně tak poměr mezi noční a denní spotřebou je 56,4% / 43,6%, což by se dalo také považovat za poměrně malou noční úsporu.

Porovnání výkonů a spotřeb vzduchotechnických jednotek.



Graf 49 – Spotřeba vzduchotechnických jednotek, P1



Graf 50 – Výkony vzduchotechnických jednotek, P1

12 Závěr

V rámci práce bylo provedeno několik návrhů na možnost úspory systému, z nichž jeden se již realizoval. Od 7.12. pracuje zdroj chladu pro namražování akumulačního zásobníku v režimu 3x týdně namísto původní každodenní činnosti. Další návrh na úsporu energie se týká letního provozu ventilátorů chladících věží, který by taky přinesl značné úspory. Další prostor pro úsporu energie je potenciální využití zdroje chladu. Práce obsahuje i další návrhy na úsporu energie, které by se mohli stejně, jako realizovaná úspora zdroje chladu budovy Pankrác II, prodiskutovat, vyzkoušet a případně zařadit do dalších úsporných opatření provozu klimatizace.

Na základě této práce lze také rozšířit, či upřesnit odečítání zmiňovaných technologií, díky čemuž by se daly analyzovat a stanovit další možnosti úspor energie systému chlazení administrativních budov České pojišťovny a Generali v Praze na Pankráci.

13 Seznamy

13.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Porovnání akumulační kapacity zásobníku citelného tepla (vodní) a zásobníku tepla se změnou skupenství (PCM), [28] 16
Obrázek 2 – Letecký pohled na komplex budov, Google Maps [4] 17
Obrázek 3 – Budova Pankrác I, pohled z ulice Na Pankráci, vlastní zdroj 18
Obrázek 4 – Schéma rozvodů VZT v budově P1, vlastní zdroj 20
Obrázek 5 – Letecký pohled na budovu P1, Google Maps [4] 22
Obrázek 6 – Budova Pankrác II, vlastní zdroj 23
Obrázek 7 – Schéma zapojení systému v budově Pankrác II 24
Obrázek 8 – letecký pohled na budovu PII, Google Maps [4] 29
Obrázek 9 – Pohled na budovu P2, Google Maps [4] 30
Obrázek 10 – Rozdělení fasád dle půdorysu budovy P2, vlastní zdroj 31
Obrázek 11 – Rozdělení fasád na střeše budovy P2, vlastní zdroj 32

13.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Základní informace o budově Pankrác I 18
Tabulka 3 – Základní údaje o budově Pankrác II 23
Tabulka 4 – Popis elektroměrů v budově Pankrác II 25
Tabulka 5 – Vstupní údaje výpočtu zisků fasád 33
Tabulka 6 – Maximální tepelná zátěž budovy P2 39
Tabulka 7 – Náhled tabulky záznamu spotřeb 40
Tabulka 8 – Náhled tabulky odečtu spotřeb 40
Tabulka 9 – Náhled tabulky odečtu spotřeb při chybném odečtu 41
Tabulka 10 – Soupis chybných období při odečtu spotřeb 41
Tabulka 11 – Extrémní situace při odečtu spotřeb 57
Tabulka 12 – Extrémní situace čtvrthodinových spotřeb 60
Tabulka 13 – Extrémní situace denních spotřeb 60

13.3 Seznam grafů

Graf 1 – Vnější tepelná zátěž budovy v nejextrémnějším měsíci 34
Graf 2 – Vnější tepelná zátěž SV fasády se žaluziemi v nejextrémnějším měsíci... 34
Graf 3 – Vnější tepelná zátěž SV fasády bez žaluzií v nejextrémnějším měsíci 35
Graf 4 – Vnější tepelná zátěž JV fasády v nejextrémnějším měsíci 35
Graf 5 – Vnější tepelná zátěž JZ fasády v nejextrémnějším měsíci 35
Graf 6 – Vnější tepelná zátěž SZ fasády v nejextrémnějším měsíci 36
Graf 7 – Vnější tepelná zátěž střechy v nejextrémnějším měsíci 36
Graf 8 – Ukázka chyb při odečtu spotřeb 42
Graf 9 – Trane 1 před 27.6.2016 43
Graf 10 – Trane 2 před 27.6.2016 43
Graf 11 – Podíl spotřeb za měřené období, P2 44
Graf 12 – Roční podíl spotřeb, P2 45
Graf 13 – Zimní podíl spotřeb, P2 45
Graf 14 – Letní podíl spotřeb, P2 46
Graf 15 – Průběh denních spotřeb zdrojů chladu a teplot během roku, P2 46
Graf 16 – Letní provoz zdrojů chladu, P2 47
Graf 17 – Letní provoz zdrojů chladu – denní spotřeby, P2 48
Graf 18 – Zimní provoz zdrojů chladu – denní spotřeby, P2 48
Graf 19 – Závislost spotřeby věží a Tranu 1 na venkovní teplotě – analýza výskytu freecoolingu 49
Graf 20 – Závislost výkonu zdrojů chladu a potřeby chladu serverovny v závislosti na venkovní teplotě – analýza výskytu freecoolingu 50
Graf 21 – Úspora volným chlazením, vlastní zdroj 51
Graf 22 – Spotřeba věží a zdrojů chladu, P2 52
Graf 23 – Letní rozdělení spotřeb v roce 2016, P2 53
Graf 24 – Letní rozdělení spotřeb v roce 2017, P2 53
Graf 25 – Závislost Tranu 1 a čerpadla chladiva k Tranu 1 na venkovní teplotě, P2 54
Graf 26 – Závislost Tranu 2 a čerpadla chladiva k Tranu 2 na venkovní teplotě, P2 54

Graf 27 – Závislost spotřeby Tranu 1 na čerpadle chladiva k Tranu 1, P2 54
Graf 28 – Závislost spotřeby Tranu 2 na čerpadle chladiva k Tranu 2, P2 55
Graf 29 – Závislost celkové spotřeby P2 na venkovní teplotě 55
Graf 30– Závislost celkové spotřeby P2 na venkovní teplotě, bodový graf 56
Graf 31 – Porucha Tranu 1 57
Graf 32 – Poruch Tranu 1 – celková spotřeba..... 58
Graf 33 – Víkendový pokles spotřeby budovy P2..... 58
Graf 34 – Víkendový pokles spotřeby zdrojů chladu, P2 58
Graf 35 – Poměr vypočteného a skutečného výkonu, P2.....61
Graf 36 – Sezonní poměr vypočteného a skutečného výkonu zdrojů chladu v závislosti na teplotě, P2 63
Graf 37 – Podíl spotřeb za měřené období P1 64
Graf 38 – Roční podíl spotřeb, P1..... 65
Graf 39 – Zimní podíl spotřeb, P1..... 65
Graf 40 – Letní podíl spotřeb, P1..... 66
Graf 41 – Průběh denních spotřeb zdrojů chladu a teplot, P1 66
Graf 42 – Průběh denní spotřeby budovy P1 a venkovních teplot.....67
Graf 43 – Spotřeba budovy P1 v závislosti na venkovní teplotě.....67
Graf 44 – Spotřeba budovy P1 v závislosti na venkovní teplotě – bodový graf ... 68
Graf 45 – Průběh spotřeb vzduchotechnických jednotek 68
Graf 46 – Denní průběh spotřeb techologií v budově P1..... 69
Graf 47 – Podíl spotřeb všedního dne, P1 69
Graf 48 – Průměr spotřeb víkendového dne, P1.....70
Graf 49 – Spotřeba vzduchotechnických jednotek, P1 71
Graf 50 – Výkony vzduchotechnických jednotek, P1 71

13.4 Seznam příloh

Obrázky

Grafy

13.5 Seznam zdrojů

[1] F. Drkal, M. Lain, V. Zmrhal, České vysoké učení technické v Praze, and Strojní fakulta, *Klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015.

[2] Oldrich Bocek, "The Science Behind Refrigeration," *Berg Chilling Systems*, 01-Oct-2018. [Online]. Available: https://berg-group.com/engineered-solutions/the-science-behind-refrigeration/.

[3] Jan Skovajsa and Martin Koláček Martin Zálešák, "Možnost akumulace energie ve formě tepla a chladu do akumulačních panelů," *ASB-portal.cz*, 11-Oct-2016. [Online]. Available: https://www.asb-portal.cz/tzb/energie/moznost-akumulace-energie-ve-forme-tepla-a-chladu-do-akumulacnich-panelu. [Accessed: 01-Oct-2018].

[4] "Google Maps." [Online]. Available: www.maps.google.com.

[5] Ing. Pavel Kohout, "Energetický audit budovy Pankrác I." 22-Jun-2016.

[6] Ing. Pavel Kohout, "Energetický audit budovy Pankrác II." 22-Jun-2016.

[7] "Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů ČSN 73 0548." .

[8] J. Chyský and K. Hemzal, *Větrání a klimatizace*. Brno: Bolit-B Press, 1993.

[9] Jaromír Cihelka, *Vytápění, větrání a klimatizace*. Praha: SNTL, 1985.

[10] F. Drkal, V. Zmrhal, České vysoké učení technické v Praze, and Strojní fakulta, *Větrání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013.

[11] F. Procházka, "Řídicí systém provozu budovy České pojišťovny," *časopis stavebnictví*. [Online]. Available: http://www.casopisstavebnictvi.cz/ridici-system-provozu-budovy-ceske-pojistovny_N1771. [Accessed: 04-Dec-2017].

[12] prof. I. F. D. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D. CSc., "Větrání a klimatizace budov s téměř nulovou spotřebou energie," *tzb.info*. [Online]. Available: http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/9374-vetrani-a-klimatizace-budov-s-temer-nulovou-spotrebou-energie. [Accessed: 04-Dec-2017].

[13] Ing. Miloš Lain, Ph.D., "Celkové chladicí faktory klimatizačních systémů a jejich zlepšování," *tzb.info*, 07-Sep-2012. [Online]. Available: http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazeni/8797-celkove-chladici-faktory-klimatizacnich-systemu-a-jejich-zlepsovani. [Accessed: 19-Apr-2017].

[14] "Sea Water Air Conditioning," *makai.com*. [Online]. Available: https://www.makai.com/sea-water-air-conditioning/. [Accessed: 19-Apr-2017].

[15] I. L. K. Ing. Robert Trojan, "Fan coil - jeho pád nebo renesance," *tzb.info*, 23-Jul-2012. [Online]. Available: http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazeni/8857-fan-coil-jeho-pad-nebo-renesance. [Accessed: 01-Feb-2018].

[16] Milav Ostrý, "Akumulace tepla při změnách skupenství," *Chem Point*, 28-Jun-2012. [Online]. Available: http://www.chempoint.cz/akumulace-tepla-pri-zmenach-skupenstvi. [Accessed: 01-Feb-2018].

[17] RNDr. Jiří Hejhálek, "Stálá teplota v létě pomocí technologie PCM," *Stavebnictví 3000*, 10-Jul-2006. [Online]. Available: http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/stala-teplota-v-lete-pomoci-technologie-pcm/. [Accessed: 01-Feb-2018].

[18] RNDr. Vojtěch Orel, CSc., "Akumulace tepelné energie při skupenských změnách látek," *tzb.info*, 06-Jun-2002. [Online]. Available: http://www.tzb-info.cz/1005-akumulace-tepelne-energie-pri-skupenskych-zmenach-latek. [Accessed: 01-Feb-2018].

[19] Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., "Úpravy vzduchu v klimatizačních zařízeních (I)," *tzb.info*, 08-Jul-2006. [Online]. Available: http://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3451-upravy-vzduchu-v-klimatizacnich-zarizenich-i. [Accessed: 01-Feb-2018].

[20] "Průměrné denní a maximální denní teploty z Klementina," *Český hydrometeorologický ústav*. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum#.

[21] Ing. Anton Adamkovič, "Klimatizace a vzduchotechnika," *MVS servis*, 01-Feb-2018. [Online]. Available: http://www.mvsservis.cz/klima.htm. [Accessed: 01-Feb-2018].

[22] S. Haláček, "Kontrola technologie chlazení pro klimatizaci." ISS Facility services, 10-Mar-2011.

[23] Ing. arch. Zdeněk Hölzel and ak. arch Jan Kerel, "Souhrnná zpráva pojišťovny Pankrác - změna stavby před dokončením." AHK architekti s. r. o., 30-Oct-2006.

[24] Miroslav Vít, "Provoz vzduchotechnických a dalších technických zařízení moderní administrativní budovy s atributy umělé inteligence a sofistikovanou soustavou hospodaření s chladem." ISS Facility Services s.r.o.

[25] doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D., "Deklinace slunce v průběhu desetiletí," *tzb.info*, 19-Mar-2012. [Online]. Available: http://stavba.tzb-info.cz/denni-osvetleni-a-osluneni/8381-deklinace-slunce-v-prubehu-desetileti. [Accessed: 01-Feb-2018].

[26] "Denní statistiky teploty, Praha - Libuš," *www.in-pocasi.cz*, 08-Jan-2017. [Online]. Available: http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_libus&detailed_historie=08-01-2017. [Accessed: 01-Mar-2018].

[27] B. He, Kungl. Tekniska högskolan, and Institutionen för kemiteknik, "High-capacity cool thermal energy storage for peak shaving: a solution for energy challenges in the 21st century," Stockholm, 2004.

[28] Ing. Tomáš Matuška, PhD., "Trendy v solární tepelné technice (V) - Zásobníky tepla," *tzb.info*, 24-Oct-2005. [Online]. Available: http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/2799-trendy-v-solarni-tepelne-technice-v-zasobniky-tepla.