

Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave

Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva

Vypracovaný elaborát zo zadania

Vetranie a úprava vzduchu v priemysle a budovách

Vypracovala: Bc. Martina Čiašová

Ing. štúdium, 2. ročník, akad. rok 2016/2017

Študijná skupina č. 36

Bratislava 2016

1. Zoznam literatúry.....	3
2. Abstrakty článkov a kľúčové slová.....	4
3. Abstract.....	7
4. Vetranie a úprava vzduchu v priemyselných a komerčných budovách	8
4.1. Strešné jednotky (RTUs).....	8
4.1.1. Niektoré problémy spojené s RTUs.....	8
4.2. Porovnanie efektívnosti ventilačných systémov VAV a VRF.....	9
4.3. Integrácia aktívneho sušenia pri strešných HVAC systémoch	9
4.4. Účinnosť systému vysúšacieho kolesa pre sušiacie systémy	10
4.5. Stratégie úspory energií v múzeách	13
4.6. Chladiace a klimatizačné systémy v supermarketoch a možnosť úspor energií	14
5. Záver	18
6. Odporúčaný doplnkový zoznam literatúry	19

1. Zoznam literatúry

- [1] Denchai Woradechjumroen, Haorong Li, Akekachai Deesiri: Development of Coordination Control for Multiple Rooftop Units, *Procedia Computer Science* 86 , 2016, 176-179.

- [2] Tolga N. Aynur, Yunho Hwang, Reinhard Radermacher: Simulation comparison of VAV and VRF air conditioning systems in an existing building for the cooling season, *Energy and Buildings* 41, 2009, 1143-1150.

- [3] James R. Sand , John C. Fischer: Active dessicant integration with packaged rooftop H V A C equipment, *Applied Thermal Engineering* 25, 2005, 3138-3148.

- [4] Fabrizio Ascione, Laura Bellia, Alfonso Capozzoli, Francesco Minichiello: Energy saving strategies in air-conditioning for museums, *Applied Thermal Engineering* 29, 2009, 676-686.

- [5] Luca Cecchinato, Marco Corradi, Silvia Minetto: Energy performance of supermarket refrigeration and air conditioning integrated systems, *Applied Thermal engineering* 30, 2010, 1946-1958.

- [6] Stefano De Antonellis, Cesare Maria Joppolo, Luca Molinaroli, Alberto Pasini: Simulation and energy efficiency analysis of dessicant wheel systems for drying processes, *Energy* 37, 2012, 336-345.

2. *Abstrakty článkov a kľúčové slová*

Development of Coordination Control for Multiple Rooftop Units

Rooftop Units (RTUs) have been widely applied in providing space heating and cooling for commercial buildings. In total, they serve over 60% of the commercial building floor space in the U.S. Even through the current control approaches of a RTU can maintain the zone temperature corresponding to a set point temperature, it performs inefficiently due to several factors such as limited sensing capability, non-coordinated local control, inherent oversizing effects and so on. In addition to unnecessary power consumptions, the current control and operation technology on RTUs also lead to the space humidity problem, equipment efficiency degradation, and premature failure. To solve aforementioned problems and enhance the overall system performance, this paper presents the development of a coordination control technique for improving the system operations of multiple RTUs used in light commercial buildings with an open space. In the control algorithm, simplified building models were developed to potentially estimate the instantaneous building load. Utilizing this model-based technique, sequence control strategy is designed to automatically select suitable mode operations of a RTU including economizing, heating, cooling and ventilation mode while synchronizing with the supply fan control and damper operations. Using a developed building simulation platform implemented on Matlab software, the developed coordination control is applied in reducing energy penalty caused by an inherent oversizing problem on multiple RTUs. With the findings, the control algorithm can be further used as a soft-repair for temporally fixing faulty operations and improper commissioning of multiple RTUs such as excessive or insufficient air flow, outdoor air leakage, stuck dampers and simultaneous heating and cooling (RTU fighting).

Keywords: Coordination Control; HVAC; Instantaneous Load; RTU; Fault Detection and Diagnosis.

Simulation comparison of VAV and VRF air conditioning systems in an existing building for the cooling season

Performance of two widely used air conditioning (AC) systems, variable air volume (VAV) and variable refrigerant flow (VRF), in an existing office building environment under the same indoor and outdoor conditions for an entire cooling season is simulated by using two validated respective models and compared. It was observed that the indoor temperatures could not be maintained properly at the set temperature by the VAV no-reheat boxes. However, it could be maintained by the VAV boxes with reheat with a significant energy consumption penalty. It was found that the secondary components (indoor and ventilation units) of the VRF AC system promised 38.0–83.4% energy-saving potential depending on the system configuration, indoor and outdoor conditions, when compared to the secondary components (heaters and the supply fan) of the VAV AC system. Overall, it was found that the VRF AC system promised 27.1–57.9% energy-saving potentials depending on the system configuration, indoor and outdoor conditions, when compared to the VAV AC system.

Keywords: VAV, VRF, Air conditioning, Simulation, Comparison.

Active desiccant integration with packaged rooftop HVAC equipment

Current research indicates a direct correlation between indoor air quality and fresh air ventilation rates which supports requirements for building ventilation standards calling for continuous supply and increased amounts of ventilation to help assure safe and healthy interior air environments [O. Seppänen, W.J. Fisk, M.J. Mendell, Ventilation rates and health, ASHRAE Journal (August) (2002) 56–58; C.C. Downing, C.W. Bayer, Classroom indoor air quality vs. ventilation rate, ASHRAE Trans., 1993, Vol. 99, Part 2, Paper Number DE-93-19-1, pp. 1099–1103. [1,2]]. Off-the-shelf, packaged rooftop equipment used to air condition most facilities is not designed to handle the increased or continuous supply of outdoor air necessary to comply with building ventilation codes written to this new standard [American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), Ventilation for acceptable indoor air quality, Standard 62-1989, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329. [3]].

Integration of a rooftop, unitary air conditioner with an active desiccant module (ADM) allows the use of a standard rooftop air conditioner with a thermally regenerated active desiccant component to provide a

compact, cost-effective, and simple-to-use packaged system for efficiently pre-treating and supplying ventilation air adequate to ensure healthy indoor environments. By designing a combined vapor-compression/active desiccant system with the desiccant component positioned after a conventional cooling coil, the dehumidification effectiveness of the desiccant is significantly enhanced because it operates on cold, saturated, or nearly saturated, air leaving the evaporator. “Post-coil” rather than the normally used, “pre-coil” desiccant arrangement also minimizes the regeneration temperature required for the active desiccant, allows for partial bypass and post-cooling of the desiccated air after recombination, and dramatic decreases in the overall size for the pre-conditioning unit.

Keywords: Desiccants; Humidity control; Ventilation; Packaged systems.

Energy saving strategies in air-conditioning for museums

In the museum environment a strict thermal-hygrometric control is necessary primarily for the correct artwork conservation and then for the visitor thermal comfort. Considering that the air-conditioning system has to operate constantly, suitable techniques permit to obtain useful energy savings, allowing, however, a good dynamic microclimatic control.

In this paper a case study is presented about various strategies used to reduce energy requirements for HVAC systems in an exhibition room of a modern museum. Using the dynamic simulation code DOE 2.2 and typical climatic hourly data sets, the annual energy use for an all-air system has been calculated, as well as the savings obtainable using different techniques, such as dehumidification by adsorption (desiccant wheel – saving equal to 15% with respect to a base configuration), total energy recovery from the relief air (passive desiccant – 15%), outdoor airflow rate variation (demand control ventilation – 45%). Moreover, the correspondence has been analyzed between the energy request and the admitted variation of indoor temperature and relative humidity: changing the admitted indoor RH range from $50 \pm 2\%$ to $50 \pm 10\%$, energy savings around 40% have been obtained. As regards the thermal-hygrometric performance, an optimal control of temperature has been guaranteed with all the configurations, while the best performance in RH control has been obtained with the desiccant system.

Considering a simple payback analysis, if the artworks preserved in a museum are particularly sensitive to indoor humidity variation, a desiccant system should be properly used; on the contrary, when the indoor humidity control is not strongly needed, the use of a HVAC system with demand control ventilation is advisable, because of the lowest payback value. The system with total energy recovery presents intermediate features.

Keywords: Museum, Microclimatic control, HVAC systems., Energy saving strategies.

Energy performance of supermarket refrigeration and air conditioning integrated systems

The electricity consumption for air conditioning and refrigerated cases in large supermarkets represents a substantial share of the total electricity consumption. The energy efficiency of supermarkets can be improved by optimising components design, recovering thermal and refrigerating energy, adopting innovative technology solutions, integrating the HVAC system with medium temperature and low-temperature refrigeration plants and, finally, reducing thermal loads on refrigerated cases. This study is aimed at investigating the performance of different lay-out and technological solutions and at finding the potential for improving energy efficiency over the traditional systems in different climates. In the analysis chillers and heat pumps working with R410A, medium temperature systems working with R404A and low-temperature systems working both with R404A and R744 were considered. The investigated solutions enable an annual energy saving higher than 15% with respect to the baseline solution for the considered climates.

Keywords: Display cabinet, Efficiency, Heat recovery, Heat pump, Supermarket, Water chiller.

Simulation and energy efficiency analysis of desiccant wheel systems for drying processes

In drying processes it is necessary to appropriately control air humidity and temperature in order to enhance water evaporation from product surface. The aim of this work is to investigate several HVAC configurations for product drying based on desiccant wheels, in order to find systems which reach high primary energy savings through the appropriate integration of refrigerating machines, adsorption wheels and cogenerative engines. Simulations are carried out for different values of sensible to latent ambient load ratio and the effect of ambient and outside air conditions is evaluated for each configuration. It is shown that primary energy savings can reach 70-80% compared to the reference technology based on a cooling coil. With respect to works available in literature, the results of this study keep a general approach and they can be used as a simple tool for preliminary assessment in a wide range of applications.

Keywords: Desiccant wheel, Dehumidification, Drying, Efficiency, Energy saving, HVAC.

3. Abstract

The aim of this work is to evaluate the possibilities of HVAC (*heating, ventilation and air-condition*) system in industrial and commercial buildings. In this work is discussed about the Rooftop units (RTUs) which saves floor area of buildings and there is presented their advantages and disadvantages. Also there is presented many configurations of HVAC systems, air conditioning systems (VAV, VRF) and also the possibilities of applications of drying systems in real conditions. Based on data which are available in the literature there is evaluated the effectiveness of the equipments and the influence of ambient conditions and outdoor conditions for individual processes, mainly effect of the temperature and the humidity. The reduction of the energy consumption has the effect to reducing the overall cost associated with the operation of an equipment, increasing an equipment life, to reduce the payback period, etc.

4. Vetranie a úprava vzduchu v priemyselných a komerčných budovách

V súčasnej dobe mnoho komerčných a verejných budov používa lacné ohrevné a chladiace (poprípade ventilačné) zariadenia, ktorých cieľom je poskytnúť cenovo výhodné, efektívne chladenie, resp. ohrev pri minimálnej vonkajšej teplote. Spojenie činnosti nevhodných druhov systémov, resp. ich nesprávne prevádzkovanie, ktoré sú používané súčasne na chladenie, resp. ohrev má často za následok okrem ekonomických strát aj problémy s kontrolou vlhkosti v budovách a široké kolísanie teplôt. Jedným z problémov neefektívnej prevádzky takýchto systémov je predimenzovanie zariadení, ktoré vedie následne napríklad k dodávaniu vyššieho prietoku vzduchu, než je potrebné a tým pádom k zbytočnému zaťaženiu zariadení, chladeniu miestností, atď.

4.1. Strešné jednotky (RTUs)

Strešné jednotky (*Rooftop Units*-RTUs) môžu byť široko aplikované v komerčných budovách. Spotrebujú okolo 60% celkovej energie a zabezpečia tak ohrev aj chladenie komerčných budov s otvoreným priestorom [1]. Vďaka nim možno ušetriť viac ako polovicu podlažného priestoru v budovách. Prostredníctvom RTUs je možné v budovách udržať požadovanú teplotu avšak tá môže byť ovplyvnená niekoľkými faktormi ako sú obmedzená snímacia schopnosť jednotky, nekoordinované miestne ovládanie, efekt predimenzovania takýchto jednotiek, atď. Problémy s používaním RTU môže spôsobovať miestna vlhkosť, ktorá má za následok znižovanie celkovej účinnosti a napokon aj predčasné zlyhanie systémov. Čo sa týka použitia RTUs v supermarketoch, môžu tu nastať nevhodné interakcie s chladiacimi systémami. V prípade, že sa nájde možnosť riešenia vyššie uvedených problémov a samozrejme sa navrhne vhodný systém riadenia takýchto jednotiek, zlepši sa celkový výkon systému, zníži sa spotreba energií a tým pádom viacnásobné strešné jednotky (RTUs) sú vhodným riešením pre komerčné budovy s otvoreným priestorom.

4.1.1. Niektoré problémy spojené s RTUs

Počas vlhkých dní ak je zvýšený prietok chladného vzduchu dochádza k rýchlejšiemu ochladeniu priestoru a dosiahne sa v ňom požadovaná teplota čo má za následok vypnutie cyklu kompresora. Ak však ventilátor pracuje kontinuálne, vonkajší vzduch je privádzaný do priestoru a v ňom stúpa vlhkosť až do vtedy, kým je opäť potrebné zapnúť chladenie (kompresor). Čo sa týka teploty v budovách tá je udržiavaná na požadovanej teplote avšak nastávajú problémy práve so zvýšenou vlhkosťou, ktorá predstavuje problém pre ľudí.

Ďalší problém môže predstavovať samotný prietok vzduchu. Môže sa stať, že RTUs systém má obmedzený minimálny prietok napríklad $1,42 \text{ m}^3/\text{s}$, pričom systém požaduje dodanie vzduchu o prietoku len $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ čo znamená, že do systému je tlačeneho viac chladného vzduchu, než je potrebné a dochádza k nadmernému zníženiu teploty, čo má za následok zvýšenie nákladov na ohrev (tento problém je možné riešiť použitím bypass-u). [3]

4.2. Porovnanie efektívnosti ventilačných systémov VAV a VRF

Veľké množstvo spotreby svetovej energie je spojené práve s prostredím budov. Odhaduje sa, že ventilačné systémy (AC) spotrebujú okolo 50% celkovej energie spotrebovanej v kancelárskych budovách a preto je vhodné uvažovať práve v tomto prípade o možnosti úspor energií. Okrem toho treba brať do úvahy interakcie, ktoré vznikajú medzi AC systémami, plášťom budovy a samotnými obyvateľmi nachádzajúcimi sa v budove. [2]

Čo sa týka strešných jednotiek (RTUs) sú pre ventiláciu budov používané mnohé ventilačné systémy ako napríklad systém s premenlivým objemom vzduchu (*variable air volume-VAV*) a druhý systém, ktorý bol navrhnutý až o 25 rokov neskôr je systém s premenlivým prietokom chladiva (*variable refrigerant flow-VRF*). VAV systém je vzdušný systém, ktorý je regulovaný rýchlosťou dodávky objemového prietoku vzduchu do budovy a to tak, aby sa dosiahlo požadované chladiace zaťaženie priestoru a tým pádom sa dosiahla požadovaná teplota v budove. S rovnakým cieľom pracuje aj VRF jednotka avšak v jej prípade na udržanie požadovaného chladiaceho zaťaženia dochádza k zmene rýchlosti prietoku chladiaceho média.

Štúdiom vyššie uvedených systémov a uskutočnením rôznych simulačných výpočtov pri rovnakých podmienkach v budovách ako aj v ich okolí bol VRF AC systém vyhodnotený ako efektívnejší s predpokladanou spotrebou energií minimálne o 38% nižšou ako u VAV jednotky, avšak tento predpoklad nebol potvrdený žiadnym experimentom. Rôznymi prípadovými štúdiami sa zistilo, že je potrebné prijať kompromis medzi spotrebou energie a vnútornou teplotou pre VAV systém. Je potrebné poznamenať, že požadovaná vnútorná teplota v budovách nemôže byť udržiavaná pre VAV systém bez použitia ohrevných boxov (*reheat boxes*) čo má za následok zvýšenú spotrebu energie.

4.3. Integrácia aktívneho sušenia pri strešných HVAC systémoch

Aktívne sušiacie koleso (*active desiccant wheel-ADW*) je systém prostredníctvom ktorého sa odstraňuje vlhkosť z prúdu vzduchu, pričom dochádza k adsorpčnému procesu, pri ktorom sa uvoľňuje pomerne veľa tepla. Platí pri tom, že čím viac vlhkosti sa odstráni, tým viac tepla v procese vzniká. Na základe dostupnej literatúry bolo zhodnotených, že redukcia teploty rosného bodu o 9-10 °C pri ADW spôsobí vzrast teploty vstupujúcej do chladiaceho procesu pri RTUs jednotke približne z 29 °C na 59 °C. Práve množstvo chladu, potrebného na zníženie teploty prúdu vzduchu vstupujúceho do chladiaceho systému RTUs je v tomto prípade porovnateľné s množstvom potrebným na odstránenie vlhkosti bez použitia sušiacieho systému. Hlavným problémom aplikácie samotného ADW je, že sa prostredníctvom tohto systému musí spracovať všetok okolitý vonkajší vzduch a preto je potrebné tento systém správne nadimenzovať. Mnohokrát však rozmer takéhoto systému presahuje možnosti strešného priestoru a v neposlednom rade je samozrejme extrémne drahý. [3]

Aktívny sušiaci modul (*Active desiccant module-ADM*) však dovoľuje použitie štandardných strešných jednotiek (RTUs) pre zabezpečenie klimatizácie s tepelnými regeneračnými aktívnymi sušiacimi komponentmi k poskytnutiu cenovo efektívneho a jednoducho použiteľného systému pre efektívne spracovanie dodávaného ventilačného vzduchu, ktorý musí byť zdravotne nezávadný, keďže je privádzaný do interiérov budov, v ktorých sa nachádzajú ľudia (najmä reštaurácie, divadlá, atď.). Navrhnutím a kombinovaním parno-kompresných/aktívnych sušiacich systémov s komponentmi umiestnenými za bežne používanými chladičmi možno zhodnotiť, že účinnosť odstraňovania vlhkosti zo vzduchu je vyššia. Systémy často spracúvajú všetok vonkajší vzduch prostredníctvom aktívneho sušiaceho modulu. Tento prístup však nie je vhodný pre obchody z mnohých dôvodov napríklad počiatočná investícia, náklady spojené s prevádzkovaním, energetická účinnosť, atď.. [3]

Výhody spojenia ADM s jednoduchou strešnou jednotkou sú zrejmé. Prvou výhodou je, že takýto systém vyžaduje len polovičnú chladiacu kapacitu oproti klasickým jednotkám. Ďalšími výhodami sú zredukované spotreby energie, elektrických služieb, redukcia množstva cyklov kompresorov, výrazná redukcia rozmerov zariadení, zníženie rosného bodu vzduchu a taktiež minimalizovanie problémov s kondenzátmi pri výparníkoch. Mnoho z týchto výhod je spojených práve s tým, že daný systém nespracováva celé množstvo okolitého vzduchu v porovnaní s klasickými systémami, ale len časť (okolo $\pm 33\%$), čo je možné zabezpečiť bypass-om. Vykonanými simuláciami sa dokázalo, že úspora prevádzkových nákladov môže byť o 45% menšia ako pri iných chladiaco/ohrevných systémoch no tento fakt nebol preukázaný vykonaním experimentov.

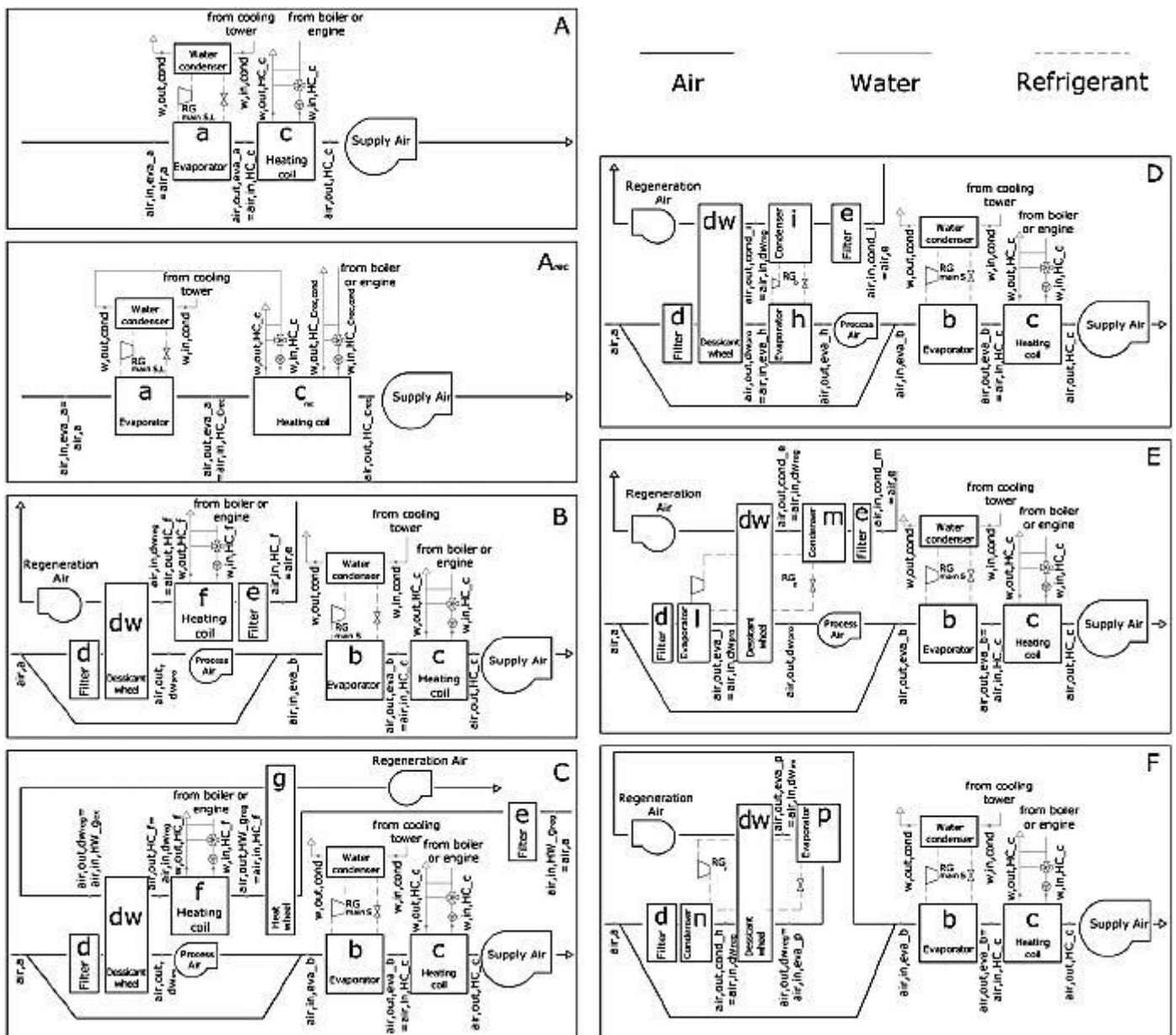
4.4. Účinnosť systému vysušacieho kolesa pre sušiacie systémy

Sušiaci proces je nevyhnutný pre správnu kontrolu vlhkosti vzduchu a teploty, aby sa zvýšilo vyparovanie vody z povrchu produktov. V mnohých procesoch sušenia potravín ako napríklad surové mäso, syr, zelenina, atď. sú produkty uchovávané v klimatizovaných miestnostiach, v ktorých je kontrolovaná vlhkosť a teplota: vzduchotechnická jednotka (*air handling unit-AHU*), ktorá pracuje v recirkulačnom móde. Vo zvyčajnom AHU pri procese odstraňovania vlhkosti zo vzduchu sa vzduch najprv ochladí na teplotu rosného bodu a potom je následne ohrievaný až do okamihu, kým nedosiahne požadovanú teplotu. Tento proces môže byť realizovaný okrem klasického spôsobu aj prostredníctvom HVAC (*heating, ventilation and air-condition*) systémov založených na sušiacom (adsorpčnom) kolese [6]. Použitie adsorpčného kolesa vedie k nasledujúcim výhodám:

- redukcia spotreby elektrickej energie a vzrast teploty odparovania a EER (*Energy Efficiency Ratio* - pomer energetickej účinnosti)
- redukcia spotreby tepla, pretože nie je potrebný dodatočný ohrev
- redukcia prítomnosti mikroorganizmov (baktérie, huby, atď.)
- možnosť použitia zdrojov s nízkou teplotou (50-60°C) na aktivovanie procesu odstránenia vlhkosti.

Vzduchotechnická jednotka (AHU) založená na sušiacom kolese môže byť kombinovaná rôznymi spôsobmi, pričom každá z nich má špecifické výhody a navyše môže byť realizovaná samostatne pre oba systémy, alebo kogeneratívne. Na Obr.1 môžeme vidieť rôzne konfigurácie systému:

- A: základná konfigurácia, prívod vzduchu je chladený a zbavovaný vlhkosti v chladiacom hade *a*, aby sa splnilo latentné zaťaženie (*latent load- týka sa vlhkosti*) a potom je vzduch ohrievaný v zariadení *c* až po dosiahnutie citeľného zaťaženia (*sensible load- týka sa teploty*).
- A_{rec}: konfigurácia podobná konfigurácii A, teplo uvoľnené z kondenzátora je čiastočne opätovne využité pre ohrev dodávaného prietoku vzduchu.



Obr. 1: Schémy HVAC systémov

- B: najjednoduchšie riešenie založené na adsorpčnom kolese; vzduch je najprv zbavený vlhkosti a ohriaty v sušiacom kolese a potom ochladený (alebo ohriaty) v hadovi b (alebo c). Koleso je regenerované prúdom vzduchu s vysokou teplotou, ktorý je predtým ohrievaný hadom f .
- C: podobná konfigurácia ako B, integruje značné teplo kolesa a znižuje množstvo potrebnej energie na ohrev prúdu vzduchu.
- D a E: priama expanzia chladiacej skupiny, prúd vzduchu sa ochladzuje cez výparník h , alebo l a pre ohrev regenerovaného prúdu vzduchu sa používa kondenzátor i , alebo m . V prvom prípade výparník ochladzuje vzduch na výstupe z kolesa a v druhom prípade sa vzduch ochladí a zbaví nadbytočnej vlhkosti pred výstupom z kolesa.
- F: priama expanzia chladiacej skupiny. V tomto prípade nie je prítomný sekundárny prietok vzduchu, pretože adsorbovaná voda je odstraňovaná priamo zo sušiaceho kolesa do prúdu vzduchu. Vzduch sa najprv ohrieva v kondenzátore n a následne ochladzuje a zbavuje vlhkosti v adsorpčnom (sušiacom) kolese a neskôr sa chladí a zbavuje vlhkosti vo výparníku p a opäť sa ohrieva prechodom cez koleso.

Pri porovnávaní konfigurácií jednotlivých systémov a ich analýze je dôležité stanoviť optimálnu teplotu odparovania, kondenzácie a regenerácie s cieľom minimalizovania primárnej spotreby energie. Na základe senzitivných analýz možno zhodnotiť:

- Zmena teploty odparovania vedie k miernemu zvýšeniu primárnej spotreby energie (pokles teploty o 3°C , vzrast spotreby energie o 5%).
- V prípade, že máme nižšiu regeneračnú teplotu, zníži sa nám aj primárna spotreba energie, ale na druhej strane je potrebný väčší priemer sušiaceho kolesa (minimálna teplota je potrebná na začatie regeneračného procesu). Aby sa zabránilo príliš veľkému rozmeru sušiaceho kolesa je potrebné zvoliť takú regeneračnú teplotu, aby obsahoval vzduch určitý podiel vlhkosti. V prípade zmeny regeneračnej teploty o 10°C spotreba energie kolíše medzi 5-10%.
- Kondenzačná teplota je priamo stanovená na základe teploty vzduchu a regeneračnej teploty sušiaceho kolesa.

Dané konfigurácie systémov majú rôzny pomer citeľného a latentného zaťaženia (Q_s/Q_l) pri konštantnom zaťažení odvlhčovania ($Q_l = 1 \text{ kW}$). Tento pomer závisí najmä na použitých zariadeniach a ich umiestnení v systéme a taktiež od prevádzkových parametrov zariadení (najmä teplota a vlhkosť okolitého prostredia). Pre každý pomer Q_s/Q_l nie je možné stanoviť optimálny HVAC systém. Navyše je pri zvažovaní úspor energií potrebné zvážiť či v reálnych aplikáciách pomer Q_s/Q_l príliš veľmi nekolíše počas roka najmä v dôsledku zvýšeného sušenia produktov poprípade zvýšených strát cez steny miestností, atď. Samotná úspora energií musí byť vyhodnotená a potvrdená aj na základe ekonomickej analýzy, doby návratnosti systému a taktiež výšky investície, pretože práve tieto komplexné ekonomické analýzy sú tými, ktorým rozumie vedenie podnikov a manažment.

Pomer Q_s/Q_1 je hlavným parametrom, ktorý najmä ovplyvňuje úsporu energií a taktiež na základe tohto pomeru sa volí optimálny HVAC systém. Mierny vplyv na úsporu energií majú okolité a vonkajšie podmienky. Základný systém založený na chladiacom hadovi (konfigurácia A) je efektívny pri $Q_s/Q_1 > 0$ a najlepšou voľbou je v prípade pomeru $Q_s/Q_1 > 2$. Konfigurácia B so sušiacim kolesom je zas odporúčaná v prípade pomeru $Q_s/Q_1 < -1$. V rozmedzí pomeru Q_s/Q_1 medzi 2 a -2 je vhodné použiť iné HVAC systémy založené na sušiacom kolese. V takýchto prípadoch môžu úspory energií dosiahnuť až 70-80% v porovnaní so základnými referenčnými technológiami.

4.5. Stratégie úspory energií v múzeách

Zachovanie umeleckých diel v múzeách si vyžaduje kontrolu vnútorných mikroklimatických podmienok pre obmedzenie degradačných javov. Vhodný HVAC (*heating, ventilation and air-condition*) systém je často nevyhnutný pri prevádzke múzeí, aby boli zabezpečené vhodné tepelno-hygrometrické parametre, vnútorná kvalita vzduchu a rýchlosť cirkulácie vzduchu. Zmeny týchto parametrov oproti navrhovaným musia byť minimálne. Hlavným dôvodom odchýlok je zmena vonkajších podmienok okolitého vzduchu (najmä teplota vzduchu pri rôznom ventilačnom zaťažení) a taktiež samotný návštevníci. V múzeách pracujú ventilačné systémy neustále počas roka, 24 hodín denne a práve tu sa otvára priestor pre možnosť úspory energie. [4]

Interakcie medzi múzeom a vonkajším prostredím môžu spôsobiť znehodnotenie diel vplyvom degradačných javov, ktoré môžu byť mechanické (zmena rozmerov diel), chemické, alebo biologické (mikroorganizmy). Konzervácia umeleckých diel nie je jednoduchá aj v prípade, že dokážeme udržať vhodné klimatické podmienky (najmä teplotu a relatívnu vlhkosť) pre rôzne kategórie, pretože k degradačným javom môže dochádzať aj v dôsledku okolitých konštrukčných podmienok a samozrejme pri vyhodnocovaní vhodných podmienok sa prihliada aj na samotný komfort návštevníkov a preto je zväčša prijatý kompromis.

HVAC systém musí zabezpečiť vhodné vnútorné mikroklimatické podmienky a zabrániť už vyššie spomínaným degradačným javom. Najväčší problém pri návrhu tohto systému predstavuje práve množstvo ľudí v múzeu, ktoré sa neustále mení a spôsobuje náhle zmeny parametrov vo výstavných miestnostiach. Samotné zmeny parametrov miestností spojené so zmenou vonkajších podmienok sa menia len veľmi pomaly.

Pri návrhu HVAC sa volí zväčša konštantný prietok vzduchu. Samotná rýchlosť cirkulácie vzduchu v miestnostiach by mala byť pomalá, ale dostatočná na to, aby nevznikali mŕtve zóny v miestnostiach. Odvlhčovací systém môže byť použitý na redukciu vlhkosti ak sa očakáva vyššie zaťaženie a samozrejme je prijateľný najmä z hygienického hľadiska, pretože dochádza k výraznej redukcii baktérií, húb a mikróbov v priestoroch.

Ročné úspory energie s ohľadom na pôvodný systém sú 15% v prípade použitia entalpického kolesa, 15% v prípade použitia sušiaceho kolesa a 45% v prípade použitia systému riadenia ventilácie. Najvyššie úspory sa dosahovali pri použití plynu v systémoch. Čo

sa týka úspory energií vďaka nastavenej zvolenej teplote (závisí od konkrétnych podmienok okolia) tá predstavuje 6-13% s ohľadom na to, že v zime nie je potrebné chladenie miestností a v lete zas ich vykurovanie. V prípade, že umelecké diela dokážu akceptovať širšie rozmedzie hodnôt relatívnej vlhkosti (namiesto $50 \pm 2\%$ sa zvolia hodnoty $50 \pm 10\%$) môže dôjsť k úsporám energií až 40%, no to je v prípade sušiaceho kolesa nevýhodné, pretože to pracuje v úzkom rozmedzí relatívnej vlhkosti. Na jednoznačné zhodnotenie celkových úspor energií a samozrejme výberu vhodného systému je potrebná ďalšia oveľa podrobnejšia analýza, ktorá bude overená aj experimentálnym spôsobom, nie len v prostredí simulačných programov.

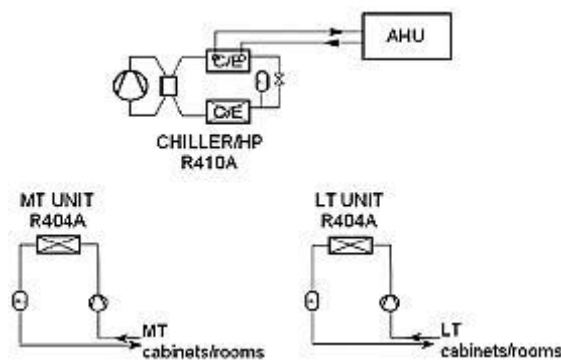
4.6. Chladiace a klimatizačné systémy v supermarketoch a možnosť úspor energií

Spotreba elektrickej energie na chladenie a klimatizáciu v prostredí supermarketov predstavuje podstatný podiel z celkovej spotreby energie vo svete (40%). Práve úspora energií predstavuje hlavný problém v posledných dvoch desaťročiach a preto je snaha navrhovať a aplikovať nové technológie, ktoré môžu znížiť spotrebu energií a zvýšiť účinnosť jednotlivých procesov v supermarketoch. Taktiež je dôležité zvoliť vhodný kompromis medzi inštalačnými a prevádzkovými nákladmi [5].

Na základe analýz sa zistilo, že 30% z celkovej spotreby energie v supermarketoch sa využije na uskladnenie potravín, 25% na osvetlenie a 20% na ventilačný systém. Z tohto dôvodu je veľmi dôležitý návrh vhodných systémov a zavedenie rekuperácie tepla, mechanické podchladzovanie, atď.. Kogenerácia a trigenerácia boli nedávno navrhnuté ako schodné riešenie pre aplikácie práve v supermarketoch na produkciu elektriny a chladiaca kapacita by mala byť pokrytá absorpčnou jednotkou.

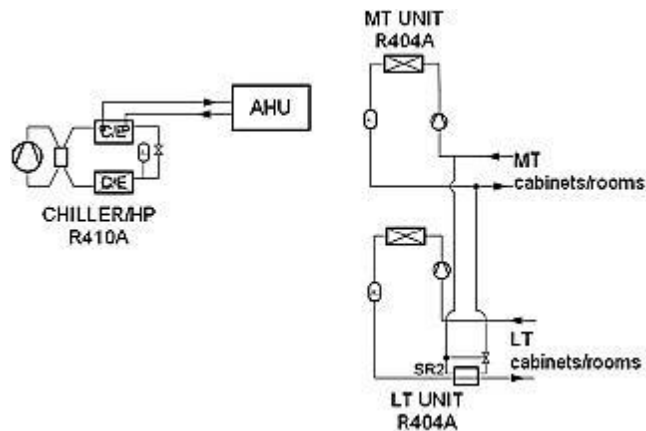
Parno-kompresné cykly sú v supermarketoch prevádzkované v troch odlišných teplotných úrovniach: klimatizačná jednotka, stredne a nízko teplotné chladiace zariadenia. Preto je tu možnosť zváženia kaskádového usporiadania systému čo by umožnilo efektívnejšiu prevádzku. Možnosti usporiadania zariadení sú nasledovné:

- Systém 0 (Obr.2) je základným usporiadaním, ktoré nezahŕňa integráciu klimatizačnej a chladiacej jednotky. Sú tu použité dva nezávislé priame chladiace stroje, ktoré pracujú pri strednej teplote (MT) a nízkej teplote (LT). Vzduch kondenzuje v tepelnom čerpadle a poskytuje studenú/teplú vodu pre vzduchotechnické jednotky (AHU) budov a VAV AC systémov.



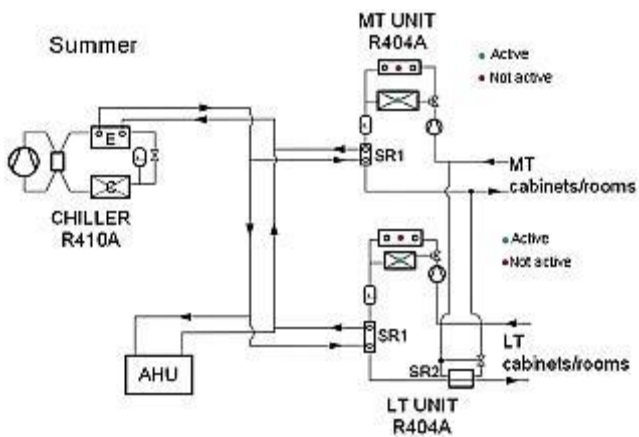
Obr. 2: Systém 0 (základný systém)

- Systém 1 (*Obr.3*) je jednoduchou integráciou medzi chladiacimi jednotkami. Kvapalina z kondenzátora LT chladiacej jednotky je podchladená prostredníctvom odparenia určitého množstva chladiva v MT chladiacej jednotke.

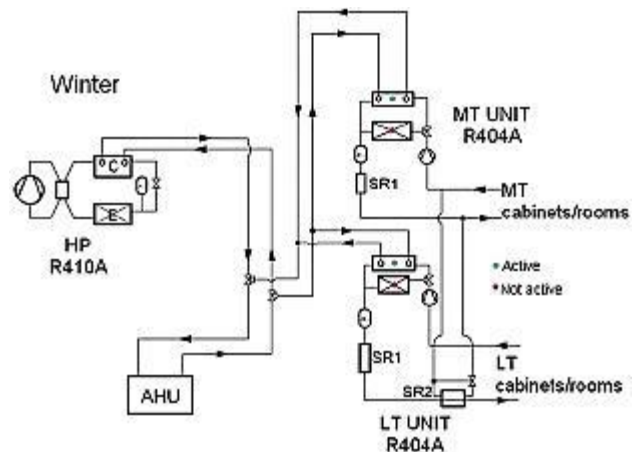


Obr. 3: Systém 1

- Systém 2 (*Obr.4, Obr.5*) predstavuje integráciu medzi klimatizačnou a chladiacimi jednotkami. Počas leta chladič kvapaliny poskytuje klimatizačnej jednotke studenú vodu ochladením výstupných kondenzátov z MT a LT. V zime je to naopak, MT a LT kondenzáty, konkrétne ich odpadné teplo je využívané na ohrev vody, ktorá vstupuje do AHU. Tepelné čerpadlo a rekuperácia tepla predstavujú dostatočný zdroj tepla potrebného pre systém. Tento systém zahŕňa podchladenie LT jednotky MT chladiacou jednotkou ako v prípade systému 1.

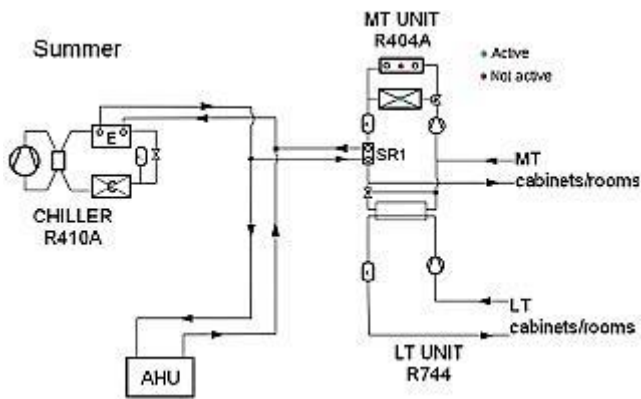


Obr. 5: Systém 2 - letné operačné podmienky

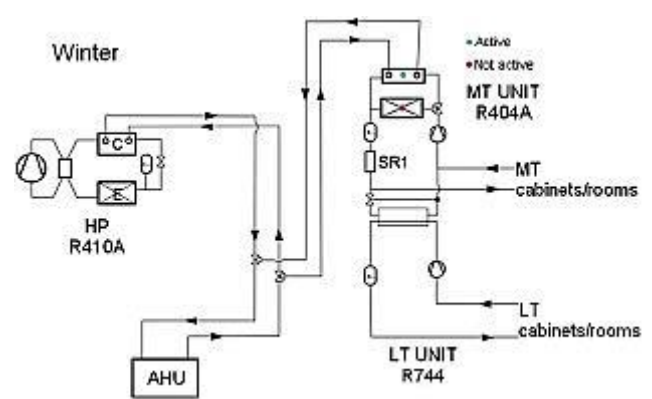


Obr. 4: Systém 2 - zimné operačné podmienky

- Systém 3 (*Obr.6, Obr.7*) predstavuje typické kaskádovité usporiadanie kde LT chladiaca jednotka neprijíma kondenzačné teplo MT jednotky. V chladiacich jednotkách sú použité rôzne chladivá. V lete chladič podchladí vodu MT jednotky pred vstupom do AHU. V zime je celkové regenerované teplo aplikované pre MT jednotku a slúži na priamy ohrev. Tepelné čerpadlo dodáva do systému dodatočné teplo.

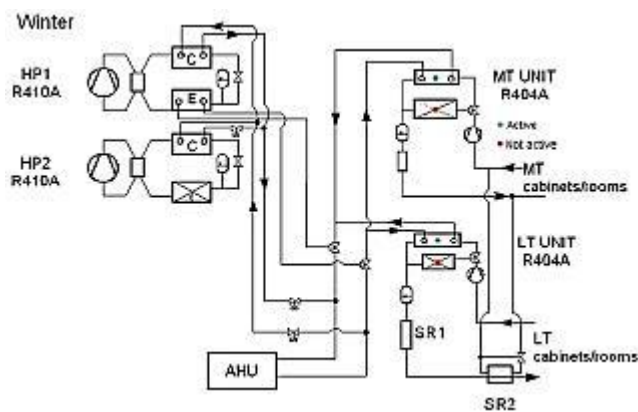


Obr. 6: Systém 3- letné operačné podmienky



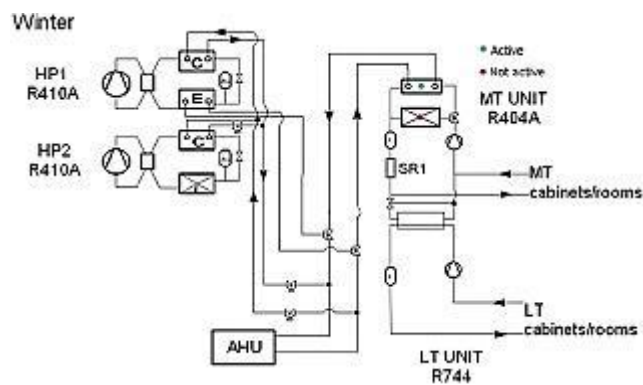
Obr. 7: Systém 3- zimné operačné podmienky

- Systém 4 (Obr.8) sa počas leta prekrýva so systémom 2. V zime odpadné teplo z kondenzátorov LT a MT chladiacich jednotiek je použité pre pracujúci vodný okruh ako zdroj tepla (voda/voda tepelné čerpadlo-HP1). Dodatočné teplo ak je to potrebné zabezpečuje vzduch/voda tepelné čerpadlo (HP2).



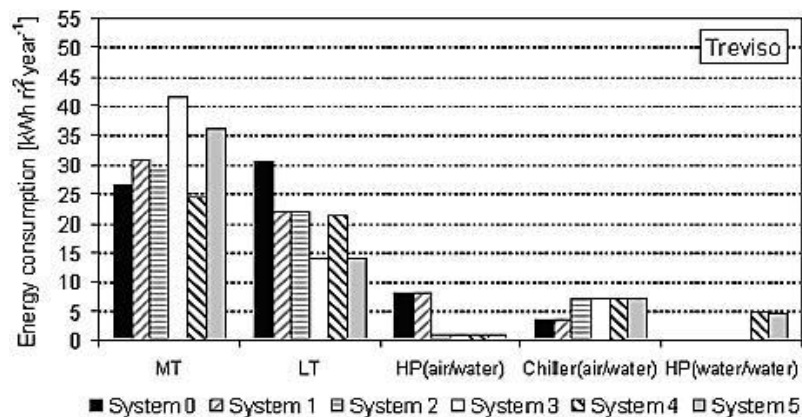
Obr. 8: Systém 4 - zimné operačné podmienky

- Systém 5 (Obr.9) v lete pracuje ako systém 3. V zime je odpadné teplo z MT jednotky použité pre pracujúci vodný okruh ako zdroj tepla (voda/voda tepelné čerpadlo-HP1). Dodatočné teplo ak je to potrebné zabezpečuje vzduch/voda tepelné čerpadlo (HP2).



Obr. 9: Systém 5 - zimné operačné podmienky

Celkové ročné úspory energií chladiacích a klimatizačných zariadení sú uvedené na *Obr. 10* pre Treviso. Systém 4 vykazuje najvyššie úspory energie (14,8%) a to vďaka integrácii medzi chladičom kvapaliny/tepelným čerpadlom a chladiacou jednotkou. Voda/voda HP, ktorý využíva odpadné teplo ako zdroj tepla v tomto systéme (Systém 4) tvorí 89,4% z celkovej spotreby tepla. Systém 2 je mierne znevýhodnený z dôvodu vysokej kondenzačnej teploty v zime. Avšak v prípade, že by sa teplota privádzanej vody dokázala meniť v závislosti od požiadaviek ohrevu/chladenia, by tento systém dosiahol najvyššiu úsporu (15,6%) v porovnaní so systémom 0. Samotné úspory energie závisia od podmienok prostredia.



Obr. 10: Ročné úspory spotreby energie (Treviso)

Systémy 2 a 4 vykazovali takmer rovnaké výsledky a preto v prípade aplikácie systémov treba poukázať a hlavne zvážiť zložitosť integrácie jednotlivých systémov. Systém 3 nevykazoval až takú úsporu ako systém 2 z dôvodu nižšej účinnosti kaskádového systému s ohľadom na usporiadanie LT a MT cyklu. Systém 5 bol zas znevýhodnený kvôli vyššiemu kompresnému pomeru. Od systému 1 sa dá očakávať ročná spotreba 6,2%.

Vo všeobecnosti možno zhrnúť, že samotná ročná úspora energií v supermarketoch závisí od voľby integrácie systémov chladenia a klimatizácie a taktiež od podmienok okolia (teplota v zime, lete, atď.). Počas zimy nemá samotná integrácia medzi chladiacimi jednotkami a HVAC systémom príliš veľký vplyv na úspory energií. Počas leta sa úspory energií týkajú najmä systémov 2-5 vďaka integrácii jednotlivých systémov. Samotná úspora energií závisí aj od optimálneho chodu jednotlivých systémov ako celku.

5. Záver

V danej práci boli v čo najstručnejšej a zrozumiteľnej forme spracované informácie získané z rôznych literárnych zdrojov a bolo v nej pojednávané o strešných jednotkách (*RTUs*), ktoré šetria podlažný priestor, ktorý je k dispozícii v rámci budov a boli tu prezentované ich výhody ako aj nevýhody. Taktiež boli porovnané niektoré konfigurácie HVAC systémov, ventilačných systémov (*VAV*, *VRF*) a taktiež možnosť aplikácií sušiacich systémov v praxi pri odstraňovaní vlhkosti zo vzduchu, poprípade rôzna kombinácia systémov. Na základe dostupných informácií z literatúry boli porovnané účinnosti jednotlivých systémov, vyhodnotený vplyv okolitých podmienok na priebeh procesov a to najmä teploty a vlhkosti vzduchu. Taktiež boli vyhodnocované vhodné systémy, ktoré by mohli byť aplikované v múzeách a supermarketoch ako aj komerčných budovách a viedli by k úspore energií a zníženiu zaťaženia jednotlivých zariadení čo má za následok zníženie celkových nákladov spojených s prevádzkou zariadení, dlhšiu životnosť zariadení, zníženie doby návratnosti, atď.

6. *Odporúčaný doplnkový zoznam literatúry*

- [1] Denchai Woradechjumroen, Yuebin Yu, Haorong Li, Daihong Yu, Huojun Yang : Analysis of HVAC system oversizing in commercial buildings through field measurements, *Energy and Building* 69, 2014, 131-143.

- [2] Nurdil Eskin, Hamdi Turkmen : Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey, *Energy and Building* 40, 2008, 763-773.

- [3] S.C. Sekhar: A critical evaluation of variable air volume system in hot and humid climates, *Energy and Building* 26, 1997, 223-232.

- [4] Tolga N. AYNUR, Yunho HWANG, Reinhard RADERMACHER: The Effect of the Ventilation and the Control Mode on the Performance of a VRV System in Cooling and Heating Modes, *International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, USA*, 2008.

- [5] S. A. Mumma: Designing dedicated outdoor air systems, *Journal* 102 (5), 2001, 28-31.

- [6] J. C. Fischer, J. Sand: Desiccant-Based Combined Systems- Integrated active desiccant rooftop hybrid system development and testing, Reference No. ORNL/SUB/01/4000010402, 2004.

- [7] L. Harriman III, G. Brundrett, R. Kittler: *Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings*, 2001.

- [8] Wen Zhen Huang, M. Zaheeruddin, S.H. Cho: Dynamic simulation of energy management control functions for HVAC systems in buildings, *Energy Conversion and Management* 47, 2006, 926-943.

- [9] Vahid Vakiloroaya, Bijan Samali, Ahmad Fakhar, Kambiz Pishghadam: A review of different strategies for HVAC energy saving, *Energy Conversion and Management* 77, 2014, 738-754.

- [10] Godwine Swere Okochi, Ye Yao: A review of recent developments and technological advancements of variable-air-volume (VAV) air-conditioning systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, 2016, 784-817.
- [11] F. Comino, M. Ruiz de Adana: Experimental and numerical analysis of desiccant wheels activated at low temperatures, *Energy and Buildings* 133, 2016, 529-540.
- [12] Tolga N. Aynur, Yunho Hwang, Reinhard Radermacher: Simulation of a VAV air conditioning system in an existing building for the cooling mode, *Energy and Buildings* 41 (9), 2009, 922-929.
- [13] Stefano De Antonellis, Manuel Intini, Cesare Maria Joppolo: Desiccant wheels effectiveness parameters: Correlations based on experimental data, *Energy and Buildings* 103, 2015, 296-306.

[14]

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.613.1481&rep=rep1&type=pdf>

Na danej stránke vo forme pdf možno nájsť informácie ohľadom VRF systému. Pdf obsahuje vysvetlenie čo VRF systém je, aké sú jeho výhody (inštalácia, flexibilita, energetická účinnosť, atď.), inštalčné náklady, možnosti aplikácií v budovách, atď., 15.1.2017.