

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA**

Meno a priezvisko

Ing. Mária Frťalová

Autoreferát dizertačnej práce

**ANALÝZA A NÁVRH KLIMATIZAČNÝCH SÚSTAV HALOVÝCH OBJEKTOV
S ODPAROVACÍM CHLADENÍM**

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

v doktorandskom študijnom programe:

Teória a technika prostredia budov

v študijnom odbore:

stavebníctvo

Forma štúdia:

denná

Miesto a dátum: Bratislava 2020

Dizertačná práca bola vypracovaná na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Mária Frťalová
STU Bratislava, Stavebná fakulta
Katedra technických zariadení budov
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: doc. Ing. Belo Füre, PhD.
STU Bratislava, Stavebná fakulta
Katedra technických zariadení budov
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Oponenti: prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Ústav TZB, Fakulta stavební, VUT v Brně
Antonínská 548/1, Veveří, 60190, Brno, Česká republika

doc. Ing. Karol Ferstl, CSc.
STU Bratislava, Strojnícka fakulta
Ústav energetických strojov a zariadení - externý spolupracovník
Nám. slobody 17, 81231 Bratislava
STU Bratislava, Stavebná fakulta
Katedra technických zariadení budov - externý spolupracovník
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.
STU Bratislava, Stavebná fakulta
Katedra technických zariadení budov
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný: 29. júla 2020.....

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa 24.8.2020 o 10:00 h.

na Stavebnej fakulte STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava.

.....
Prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan Stavebnej fakulty

ÚVOD

V súčasnosti prirodzené vetranie sa výrazne znižuje, preto jediným možným riešením je nútená výmena vzduchu. Najdôležitejšími faktormi pre výmenu vzduchu sú čistota vzduchu, teplota vzduchu a vlhkosť. Nielen v našich zemepisných a klimatických podmienkach je vhodné vzduch ohriať, ale aj chladiť. Vzhľadom na rast cien energií je prvoradá požiadavka na energeticky úsporné vetracie zariadenia. Pri chladení vzduchu kompresorovými chladiacimi zariadeniami výrazne rastie spotreba elektrickej energie, kde hlavnou požiadavkou je eliminovať spotrebu energií a chrániť naše životné prostredie. Výhodiskom zníženia spotreby energie na chladenie úspornejšími kompresorovými zariadeniami, nie však samotnou zmenou systému – využitím iného princípu chladenia. Túto zmenu umožňuje princíp adiabatického chladenia vzduchu, ktoré je považované za najstarší spôsob chladenia vzduchu.

1. CIELE A METÓDY DIZERTAČNEJ PRÁCE

Hlavným cieľom dizertačnej práce je analyzovať a posúdiť spôsob adiabatického chladenia, stanoviť okrajové podmienky výpočtu a vytvoriť matematický model pre optimálny návrh.

Z hlavného cieľa dizertačnej práce vyplývajú čiastkové úlohy:

1. analýza súčasného stavu problematiky chladenia a vetrania halových objektov v našich klimatických podmienkach,
2. definícia environmentálnych, energetických a ekonomických podmienok pri komparácii systémov chladenia a vetrania halových objektov,
3. analýza matematicko-fyzikálneho modelu v počítačovej simulácii,
4. experimentálne overenie systému chladenia a vetrania v reálnych podmienkach halového objektu,
5. ekonomické porovnanie rôznych systémov chladenia a vetrania v halových objektoch.

Pre spracovanie cieľov dizertačnej práce boli použité nasledovné metódy vedeckej práce:

Metodika spracovania stanovených cieľov :

Cieľ 1.

Pomocou súhrnnej literatúry, podkladov a dostupných informácií sa vytvorený prehľad súčasného stavu problematiky chladenia a vetrania halových objektov, z pohľadu : výstavby priemyselných objektov a areálov ako majoritné oblasti s veľkoobjemovými halovými objektami, stavebné riešenie a typy existujúcich halových objektov na našom území, systémy vetrania a chladenia v halových, priemyselných objektoch.

Cieľ 2.

Pomocou teoretickej a legislatívnej analýzy zadefinovať okrajové podmienky posudzovania adiabatického systému v objektoch. Za účelom objektívneho posudzovania systému musia byť zadefinované podmienky a to 3E:

environmentálne,
energetické,
ekonomické.

Cieľ 3.

Na základe teoretických hodnôt a matematicko - fyzikálneho výpočtu možno demonštrovať vhodnosť ich použitia pri sledovaní parametrov definovaných podľa vyššie uvedených podmienok 3E.

Sledovanie týchto parametrov si vyžaduje matematicko – fyzikálny výpočet a experimentálne merania v reálnych podmienkach za chodu prevádzkovej výroby.

Cieľ 4.

Na základe experimentálnych meraní analýza adiabatických systémov v reálnych podmienkach halového objektu za účelom :

sledovania faktorov tepelnej pohody,

zistenie okrajových veličín (teplota, relatívna vlhkosť, rýchlosť prúdenia vzduchu) vo vonkajšom a vnútornom prostredí.

Cieľ 5.

Na základe experimentálnych meraní, prevedených v reálnych podmienkach jestvujúcich halových objektov chladených pomocou adiabatických chladičov, analyzovať namerané veličiny za účelom:

overenie presnosti metodiky výpočtu, konkrétne z hľadiska vnútorných výpočtových teplôt po výške halového objektu,

zmapovanie tepelného poľa v priečnom a pozdĺžnom smere halového objektu, prostredníctvom definovaného priečneho rezu,

overenie tepelných pomerov v chladenom priestore halového objektu

zistenie dodržania hygienických pomerov maximálneho prúdenia ochladeného vzduchu v pobytovej zóne pracovníkov.

Z hlavného cieľa dizertačnej práce vyplývajú ďalšie čiastkové úlohy:

- analýza možností návrhu odparovacím chladením,
- definícia a stanovenie okrajových podmienok pre adiabatických systémov,
- meranie prúdenia vzduchu, relatívnej vlhkosti a teploty,
- komparácia výsledkov s nameranými hodnotami z experimentálneho merania,
- stanovenie kritérií pre exaktný návrh adiabatického systému a jeho častí.

1. MATEMATICKÁ ANALÝZA VÝPOČTU ADIABATICKÉHO SYSTÉMU.

Na základe existujúcej literatúry, zahraničných noriem a zahraničných odborných článkov analyzovať princíp adiabatického chladenia a na základe stanovených okrajových podmienok vytvoriť chronologický postup pre ručný výpočet návrhu adiabatického chladenia.

2. EXPERIMENTÁLNE MERANIE V HALOVÝCH OBJEKTOCH.

V reálnych prevádzkových podmienkach priemyselných hál uskutočniť merania priebehu teplôt vo vnútornom prostredí, pozorovať a zaznamenať zníženie teploty v interiéri s porovnaním s teplotou v exteriéri. Zároveň zaznamenať relatívnu vlhkosť vonkajšiu a vnútornú.

3. SIMULÁCIA ADIABATICKÉHO SYSTÉMU SYSTÉME SIMULAČNÝM PROGRAMOM

Vytvoriť simuláciu adiabatického systému v jednoduchom modeli. Vytvoriť CFD Model kde bude použitá CFD simulácia vetrania hutníckej haly. Prúdenie vzduchu bude uvažované stlačiteľné, ktoré berie do úvahy vztlakové sily vznikajúce v dôsledku rozdielu hustôt. Ďalej, prúdenie je stacionárne, turbulentné a bez chemických reakcií.

4. TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSÚDENIE POUŽITIA ADIABATICKÉHO CHLADENIA.

Porovnanie nákladov na zrealizovanie adiabatického systému a konvenčného chladiaceho systému pre halu a na základe tohto porovnania ekonomicky vyhodnotiť a preukázať nižšie prevádzkové a investičné náklady.

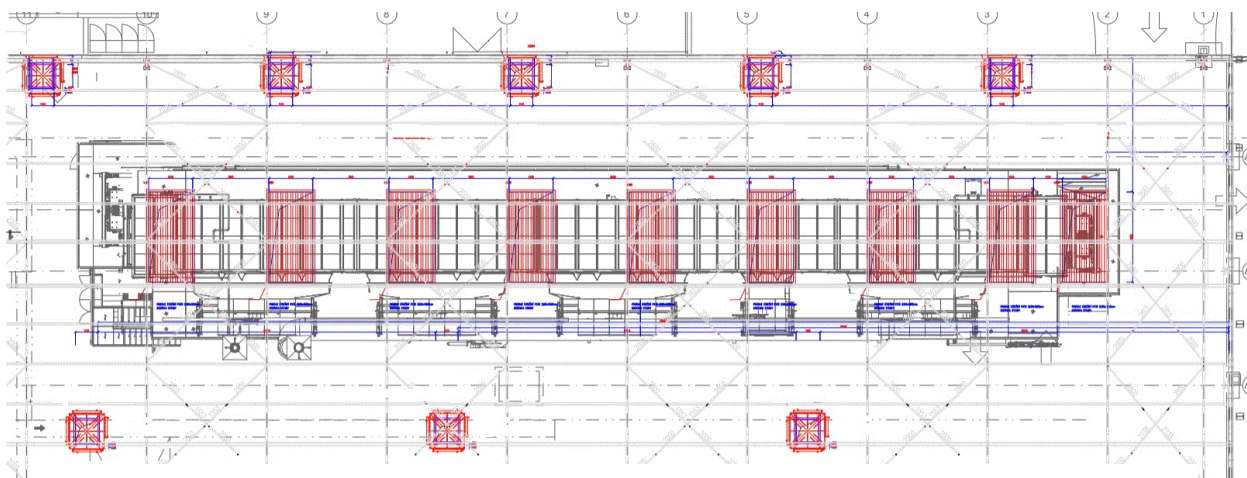
2. MATEMATICKÁ ANALÝZA VÝPOČTU ADIABATICKÉHO SYSTÉMU

Na základe matematickej analýzy bola vytvorená postupnosť krokov návrhu adiabatického systému, ktorý sa skladá z týchto krokov:

Postup návrhu:

1. Popis systému odvádzania technologického tepla z priestorov výrobnéj haly
2. Určenie tepelných ziskov a celkovej tepelnej záťaže z technológie
3. Stanovenie hlavných okrajových podmienok – vstupné hodnoty
4. Legislatíva stanovujúca okrajové podmienky pre vnútorné prostredie
5. Zadefinovanie okrajových podmienok v hx-diagrame
6. Navrhované zariadenia podľa objemového prietoku
7. Komparácia legislatívnych požiadaviek s výpočtom

Predmetom výpočtu a experimentálneho merania je len výsek haly, nakoľko meranie, len v sprístupnenej časti výrobnéj haly a to v pôdorysnej ploche 56 x 13 x 12,8 m (D x Š x V) pozri Obr.3.1. Na rezových osiach je definovaná hraničná teplota $\theta_i = 45^\circ\text{C}$. Teplota pod stropom je uvažovaná 45°C , ktorá je definovaná na základe meraní pod strešnou konštrukciou haly. Teplota na povrchu výrobnéj technológie je uvažovaná cca 60°C , tepelné zisky sú definované z podkladov dodávateľa technológie. Tepelné zisky z iných zdrojov ako je prestup tepla halou, zisky z ľudí, osvetlenia nie sú uvažované nakoľko pri vysokých tepelných ziskoch z výrobného procesu sú zanedbateľné.



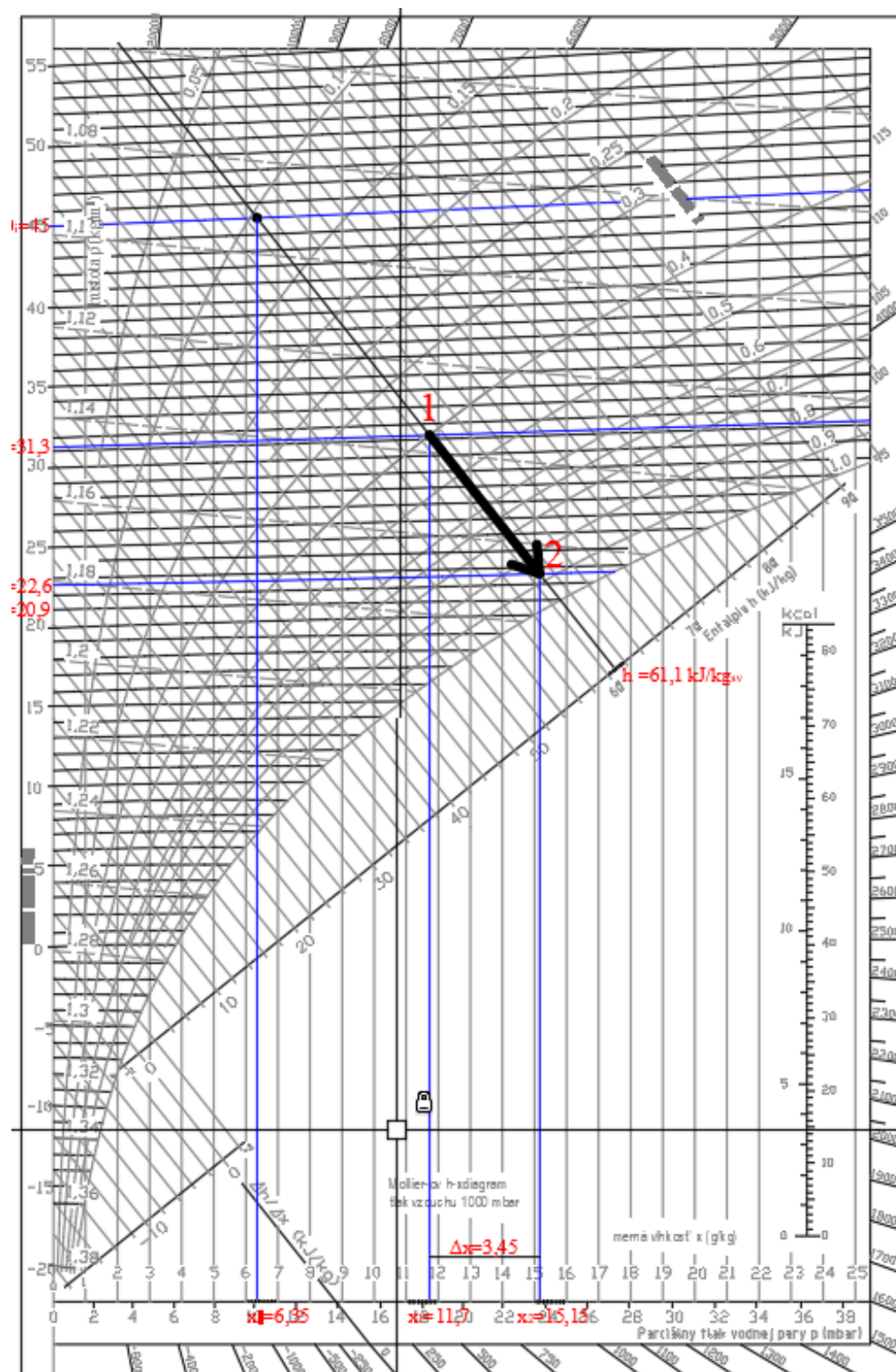
Obr. 2.1 Pôdorys meraného segmentu výrobnéj haly

2.1 URČENIE TEPELNÝCH ZISKOV A CELKOVEJ TEPELNEJ ZÁŤAŽE Z TECHNOLOGIE

Tepelná záťaž z technológií výroby hliníkových odliatkov je definovaná na 1370 kW t.j. 1,37 MW. Podľa dodávateľa technologického zariadenia výrobnéj haly sú tepelné zisky definované nasledovne :

- tepelné zisky z ochladzovaných hliníkových diskov cca 210kW, t.j. celkom cca $\Sigma 700\text{kW}$
- odsávacie potrubia cca 35kW, t.j. celkom cca $\Sigma 490\text{kW}$
- kalenie cca 75 kW
- vyzrievanie cca 120 kW
- žihanie cca 260 kW

Definovanie okrajových podmienok v hx-diagrame:



Obr. 2.2 H – x diagram, ktorý zobrazuje letnú úpravu vzduchu pri priamom adiabatickom chladení v experimentálnom meraní.

Vypočítané hodnoty:

			Stav 1,2,3 v h x-diagrame		
			1	2	3
Teplota	θ	°C	31,3	22,5	45,0
Relatívna vlhkosť	φ	%	40%	89%	25%
Merná vlhkosť	x	g/kg _{s.v.}	11,6	15,3	15,0
Entalpia	h	kJ/kg _{s.v.}	61,1	61,1	61,1
Hustota	ρ	kg/m ³	1,14	1,14	1,09
Teplota vlhkého vzduchu	θ_v	°C	20,9	20,9	26,6

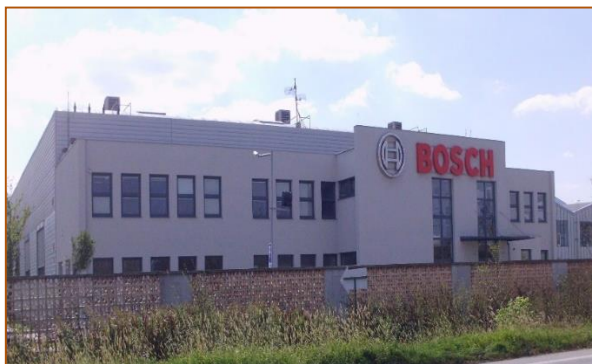
Na základe vypočítaných hodnôt je možné konštatovať, že systém aj pri premenlivých vstupných hodnotách dokáže udržiavať parametre vnútorného prostredia v rozmedzí definovanom legislatívou. Do vonkajšej teploty 32 °C je možné adiabatickým chladením udržať teplotný a vlhkosťný rámec. V prípade letných extrémov je možné dodržať teplotný rozdiel 6K oproti vonkajšej teplote. Zvýšená relatívna vlhkosť vonkajšieho vzduchu (napr. po daždi a podobne) vyvolá následný nárast relatívnej vlhkosti vo výrobnom priestore. V prevádzke boli inštalované adiabatické chladiče s chladiacim výkonom 85 kW.

3. EXPERIMENTÁLNE MERANIE ADIABATICKÉHO SYSTÉMU

Dôležitým faktom medzi teóriou a uplatnením v praxi je experimentálne meranie a skúmanie v reálnych podmienkach. Vďaka nim môžeme zistiť rozdiely medzi predpokladmi, ktoré boli definované v teórii výpočtu oproti skutkovému stavu. Posúdenie týchto rozdielov je nevyhnutné. Vždy existujú vplyvy na mikroklimu pracovného prostredia človeka v priemyselných objektoch, ktoré nevieme vopred zadefinovať, či už matematickou analýzou alebo fyzikálnou závislosťou. Z predpisov definujúce mikroklimatické podmienky v pracovnom prostredí ani tak nevyplýva povinnosť ich dodržať. Udržiavať optimálne pracovné prostredie, ako nutnosť dodržiavať tieto podmienky za dlhodobu únosnosť a v prípade ich nedodržania zaistiť neprekročenie podmienok krátkodobu únosných.

Meranie stavu mikroklimatických podmienok v halových objektoch pomocou adiabatického chladenia, prostredníctvom experimentálnych meraní, sme aplikovali v **dvoch rôznych výrobných prevádzkach** s vysokou tepelnou záťažou. Pri stanovení konkrétnych nameraných fyzikálnych veličín sme postupovali hlavne podľa STN EN 15251 a Vyhláškou MZ SR 544/2007 resp. prílohou č.2 Vyhláška MZ SR č.259/2008. Cieľom experimentálnych meraní bolo dokázať, že adiabatické chladenie je schopné znížiť teplotu a vytvoriť pocitovo lepšie podmienky v pobytovej zóne pracovníkov.

Prvé experimentálne meranie vstupných a výstupných parametrov bolo zistiť účinnosť adiabatického odparovacieho chladenia v priemyselnej hale vo výrobnom závode s procesom repasu automobilových alternátorov.



Obr. 3.1 Halový objekt – prvé experimentálne meranie

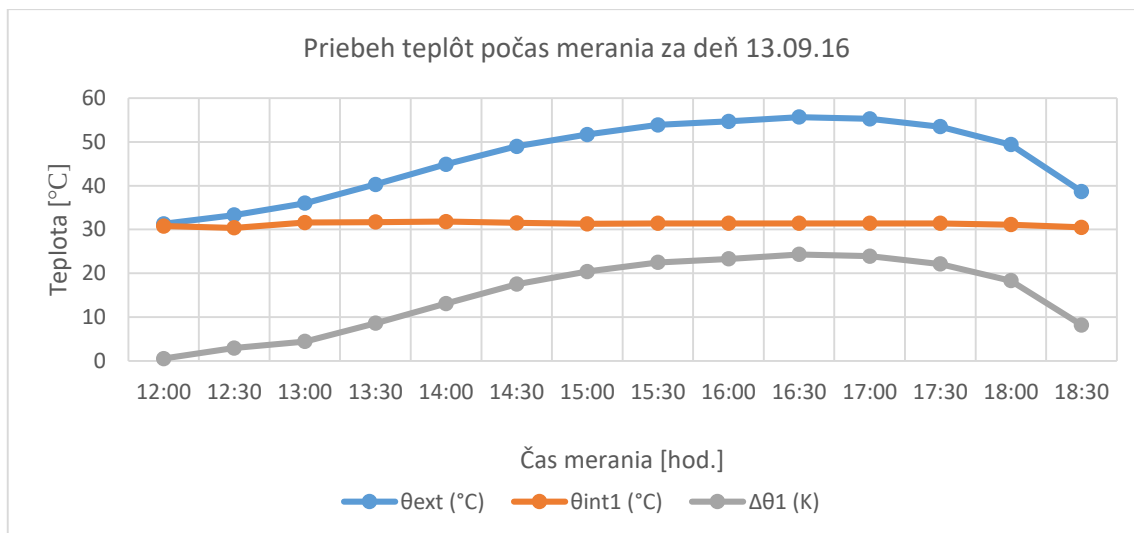
1. Proces merania bol vykonaný v období za mesiac september, kedy priemerná vonkajšia teplota sa pohybovala v rozmedzí 24 – 26 °C.
2. Do vnútorných priestorov haly boli umiestené dve meracie zariadenia - programovateľný snímač teploty a relatívnej vlhkosti Datalogger Comet S0122, ktoré snímali vnútornú teplotu. Umiestnenie snímačov bolo nainštalované v bytovej zóne zamestnancov.
3. Nad strešnou rovinou bol umiestený programovateľný snímač teploty a relatívnej vlhkosti Datalogger Comet S3120, ktorý snímal teplotu.
4. Kde po nameraní bolo zistené, že miesto snímača bolo vystavené silnému slnečnému žiareniu a preto namerané hodnoty presahovali teplotu 50 °C.

Experimentálne meranie sa skladalo z niekoľkých krokov:

- Určenie pôdorysného rozmeru halového objektu.
- Príprava meracích prístrojov.
- Experimentálne meranie.
- Vyhodnotenie nameraných veličín.

Meranie vstupných a výstupných parametrov vzduchu

Na Graf.3.1 a Tab.3.1 je zaznamenaný priebeh teplôt s posunom krivky smerom nahor a zväčšenie rozdielov medzi teplotami počas dňa 13.9.2016, kde účinnosť adiabatického chladenia nastáva v čase 12:00 do 18:30 (v pracovnom čase).



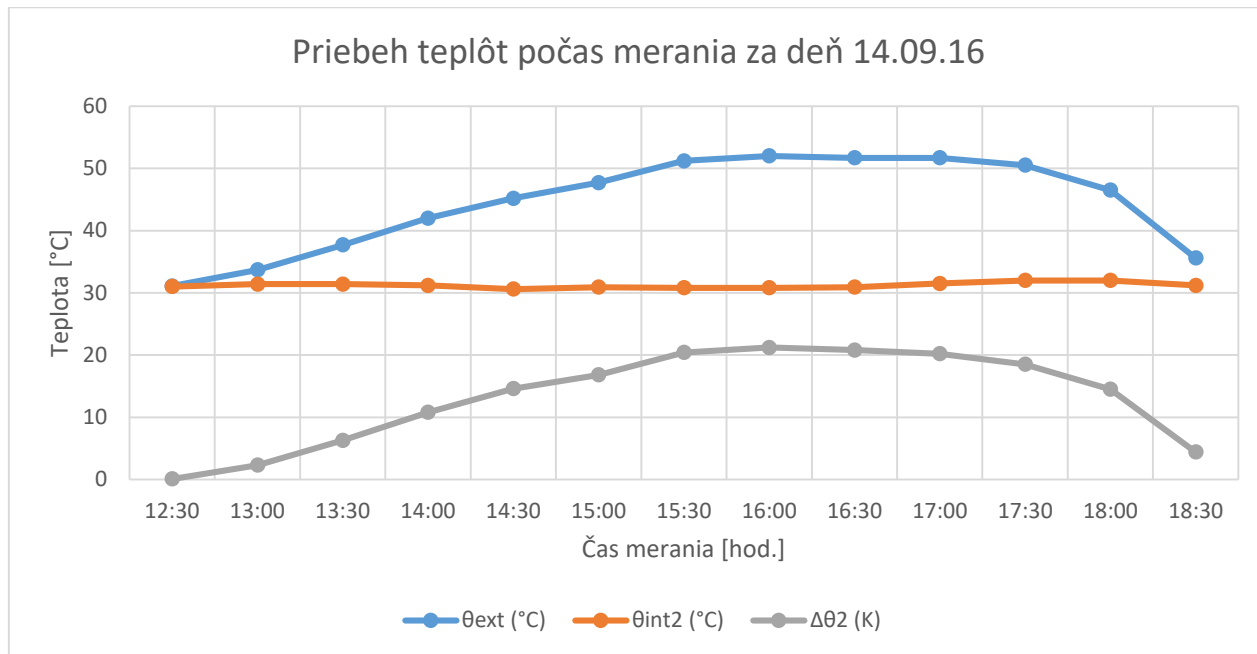
Graf 3.1 Priebeh teplôt počas dňa 13.9.2016 v priemyselnej hale

Priebeh teplôt počas dňa 13.9.2016 v čase, kedy adiabatické chladenie bolo aktívne

Tab 3.1

	θ_{ext} (°C)	θ_{int1} (°C)	$\Delta\theta_1$ (K)
12:00	31,30	30,80	0,50
12:30	33,30	30,40	2,90
13:00	36,00	31,60	4,40
13:30	40,30	31,70	8,60
14:00	44,90	31,80	13,10
14:30	49,00	31,50	17,50
15:00	51,70	31,30	20,40
15:30	53,90	31,40	22,50
16:00	54,70	31,40	23,30
16:30	55,70	31,40	24,30
17:00	55,30	31,40	23,90
17:30	53,50	31,40	22,10
18:00	49,40	31,10	18,30
18:30	38,70	30,50	8,20

Na Graf 3.2 a Tab. 3.2 je zaznamenaný priebeh teplôt s posunom krivky smerom nahor a zväčšenie rozdielov medzi teplotami počas dňa 14.9.2016, kde účinnosť adiabatického chladenia nastáva v čase 12:30 do 18:30 (v pracovnom čase).



Graf 3.2 Priebeh teplôt počas dňa 14.9.2016 v priemyselnej hale

Priebeh teplôt počas dňa 14.9.2016 v čase, kedy adiabatické chladenie bolo aktívne Tab 3.2

	θ_{ext} (°C)	θ_{int2} (°C)	$\Delta\theta_2$ (K)
12:30	31,10	31,00	0,10
13:00	33,70	31,40	2,30
13:30	37,70	31,40	6,30
14:00	42,00	31,20	10,80
14:30	45,20	30,60	14,60
15:00	47,70	30,90	16,80
15:30	51,20	30,80	20,40
16:00	52,00	30,80	21,20
16:30	51,70	30,90	20,80
17:00	51,70	31,50	20,20
17:30	50,50	32,00	18,50
18:00	46,50	32,00	14,50
18:30	35,60	31,20	4,40

Záver merania

Cieľom experimentálneho merania vstupných a výstupných parametrov vnútorného vzduchu bolo zistiť účinnosť adiabatického odparovacieho chladenia v priemyselnej hale výrobného závodu.

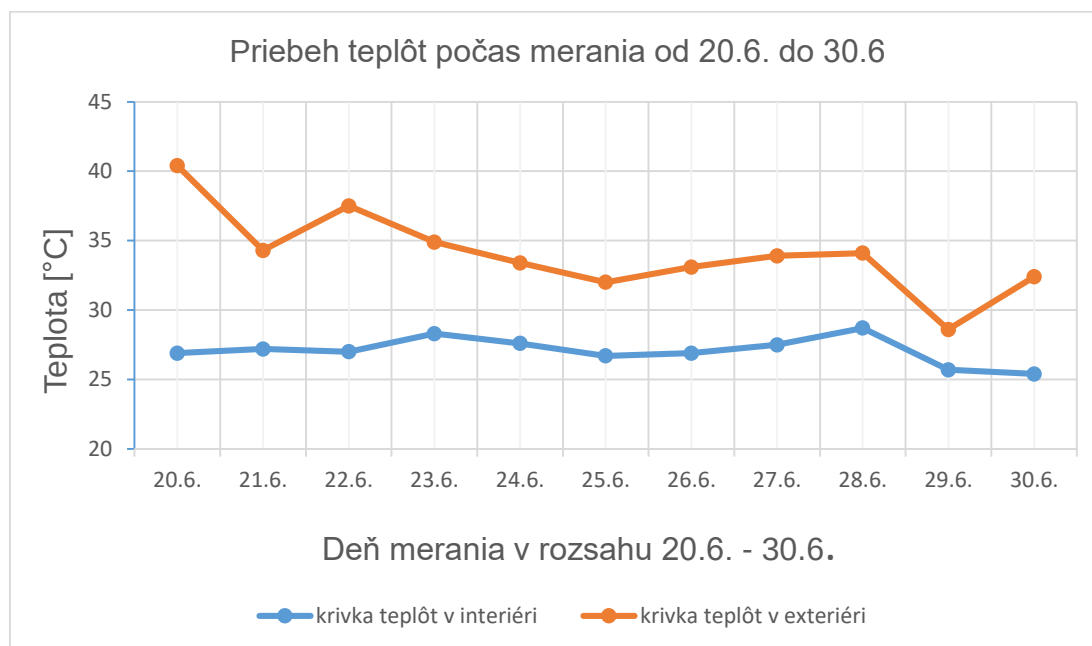
Do vnútorných priestorov haly bol umiestnený jedno meracie zariadenie - programovateľný snímač teploty. V rámci objektu bolo vytipované jedno meracie miesto, na ktoré bol osadený dataloger Comet S0122. Inštalačná výška bola cca 170 cm – pobytová zóna. Hodnoty boli zaznamenávané v časovom intervale každých 30 minút v priebehu dvoch dní za mesiac september. Z dôvodu objektívnosti bol jeden dataloger osadený na streche objektu. Pri inštalácii vonkajšieho senzora je dôležité jeho osadenie tak, aby nebol vystavený priamemu slnku. Ideálne ak je aj ochránený pred účinkami vonkajších poveternostných vplyvov, ktoré by mohli skresliť merané hodnoty. Preto prvé experimentálne meranie bolo vyhodnotené ako **NEPRESNÉ**. Nakoľko vonkajší dataloger bol umiestnený nevedomky na svetovú stranu, kde počas dňa bolo priame slnečné žiarenie.

Druhé experimentálne meranie vstupných a výstupných parametrov bolo zistiť účinnosť adiabatického odparovacieho chladenia v priemyselnej hale v hutníckom závode a vyhnúť sa predchádzajúcim chybám pri meraní.

Priebeh teplôt počas dni 20.6.2017 do 30.6.2017 v čase, kedy adiabatické chladenie bolo aktívne

Tab 3.3

Fyzikálna veličina - teplota θ (°C)			
Dátum experimentálne merania	Nameraná vnútorná teplota θ_i (°C)	Nameraná vonkajšia teplota θ_e (°C)	Rozdiel teplôt $\Delta\theta$ (°C)
20.6.	26,90	40,40	13,50
21.6.	27,20	34,30	7,10
22.6.	27,00	37,50	10,50
23.6.	28,30	34,90	6,60
24.6.	27,60	33,40	5,80
25.6.	26,70	32,00	5,30
26.6.	26,90	33,10	6,20
27.6.	27,50	33,90	6,40
28.6.	28,70	34,10	5,40
29.6.	25,70	28,60	2,90
30.6.	25,40	32,40	7,00



Graf 3.3 Priebeh teplôt počas dni 20.6.2017 do 30.6.2017 v priemyselnej hale

Z hľadiska nastavenia adiabatického chladiča je nevyhnutné presne zadať všetky tepelné zisky, vrátane tokov citeľného tepla z prepravovaného materiálu. Rovnako aj rytmus prevádzky, ak je počas dňa premenlivý. Z priloženého grafu je zrejmé, že parametre vnútorného vzduchu definované vyhláškou MZSR č.544/ 20071 (22-26°C/ 30 - 70% RH) je možné dodržať a je zrejmé, že teplotu v niektorých dňoch sa podarilo znížiť až o $\Delta\theta = 13,5^{\circ}\text{C}$ a to 20.6., avšak parametre privádzaného vzduchu opäť závisia od vonkajších podmienok.

V rámci monitoringu teplotného stavu pracovného prostredia bola urobená termovízna analýza adiabatických chladičov ako aj jednotlivých výrobných liniek. Termovízna analýza využíva na stanovenie teploty povrchov emitovanú zložku tepelnej radiácie (We). Meranie tepelnej infračervenej radiácie tvorí základ bezkontaktného merania teploty. IR obrázky sa zobrazujú len infračervenú časť spektra.

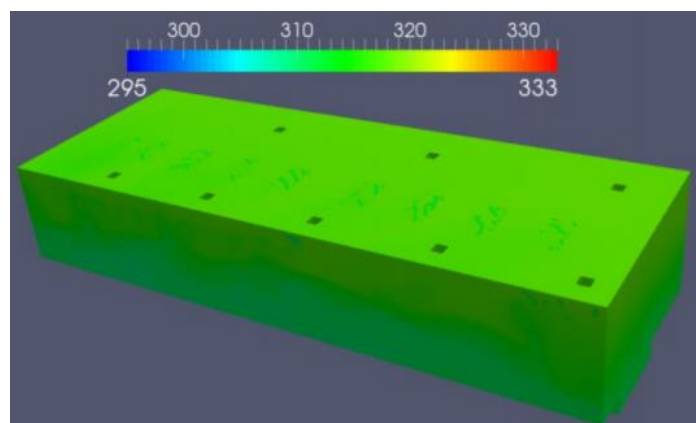


Obr. 3.2 Teplota privádzaného vzduchu na výstupe z adiabatického chladiča

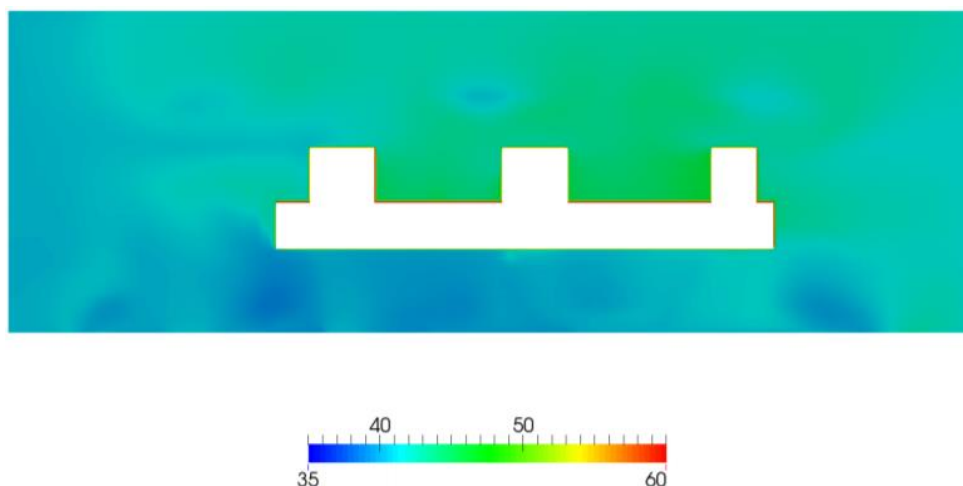
4. VÝSLEDKY VÝPOČTOVEJ SIMULÁCIE

Ako CFD Model bola požitá CFD simulácia vetrania hutníckej haly. Prúdenie vzduchu je uvažované stlačiteľné, ktoré berie do úvahy vztlakové sily vznikajúce v dôsledku rozdielu hustôt.

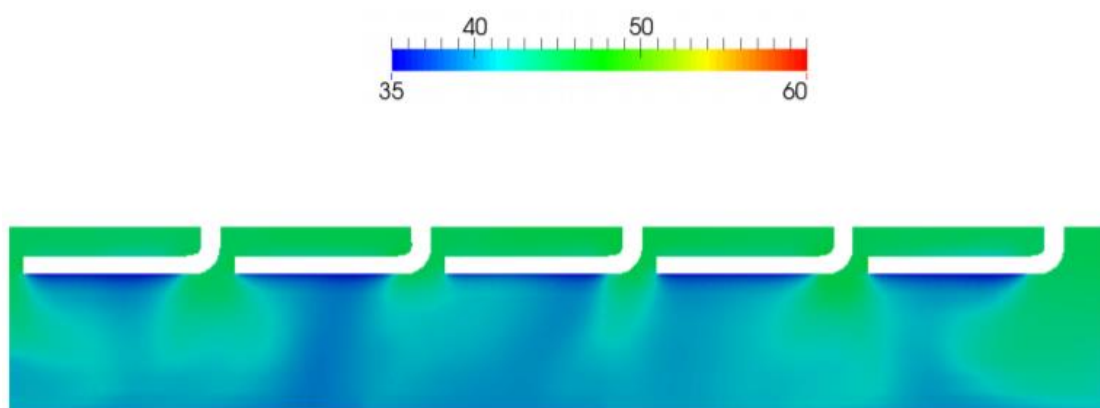
Legislatívne požiadavky na vnútorné prostredie: Typ práce 1C podľa vyhlášky MZ SR 259/2008 Z. z čomu zodpovedá $q_M = 106-130 \text{ W/m}^2$ t.j. 1,82 – 2,23 met. Optimálna teplota je do 24 °C ale prípustná teplota je 17 - 26 °C. Rýchlosť privádzaného vzduchu $v_a \leq 0,3 \text{ m/s}$ pri požiadavke na relatívnu vlhkosť do 70 % (30 – 70%). Rozdiel teplôt $\Delta T = 6 - 8 \text{ K}$. Návrh rieši len vetranie tepelnej záťaže v prostredí, jeho cieľom nie je vytvárať lokálnu tepelnú pohodu.



Obr. 4.1 3D model hutníckej haly – povrchová teplota haly na začiatku CFD. Teplota uvedená v K (prevodník 273 K zodpovedá 0 °C) Povrchová teplota 318K zodpovedá cca 45°C. Teplota vzduchu v rezových rovinách je 4°C a teda vzduch privádzaný do priestoru z tohto smeru je v modely uvažovaný s touto teplotou.



Obr.4.2 Rezová rovina v osi z vo výške 1m od podlahy. Teplota uvedená v °C. Povrchová teplota výrobnnej linky je uvažovaná 60°C. Teplota vzduchu v rezových rovinách je 45°C a teda vzduch privádzaný do priestoru z tohto smeru je v modely uvažovaný s touto teplotou.



Obr. 4.3 Rezová rovina v osi y pozdĺžny rez č.1.

5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSÚDENIE POUŽITIA PODTLAKOVÉHO ODVODNENIA STRIECH

Veľký tlak je vyvíjaný na elektrickú sieť, ktorá musí uspokojiť dopyt, z ktorého je väčšina spôsobená klimatizáciou založená na kompresoroch. Technológie sa stále viac stávajú súčasťou v rezidenčných aj komerčných sektoroch. Veľa oblastí v našich zemepisných šírkach je ideálna pre odparovacie chladenie a to z dôvodu nízkej vlhkosti vzduchu a veľké výkyvy dennej teploty. Podstatne nižšie energie a náklady na dopyt naďalej charakterizujú odparovacie chladiace systémy ako dlhodobo efektívnejšou a ľahšie udržiavateľnou výbavou pre domácnosti a priemysel.

Predpoklad investičných nákladov a úspore prevádzkových nákladov, návratnosti investície a postup prác pri realizácii konkrétneho investičného zámeru.

Investičné náklady adiabatického chladenia

Investičné náklady sa vypočítajú na základe projektovej dokumentácie, ktorú vypracuje firma s ponukou adiabatického chladenia. V závislosti od typu prevádzky a veľkosti objektu. Ceny v tejto podkapitole sú, len orientačné.

Cenová kalkulácia adiabatického chladenie pre halový objekt

Tab 5.1

Položka	Popis	ks	Cena/ks v € bez DPH	Cena spolu v € bez DPH
1	Jednotka s adiabatickým chladením, konštrukcia hliníková, sieť na hmyz, chladiaci výkon do 80kW pri 32°C, 40% RH, 1013 hPa a max. prietoku, kalkulovaná spotreba vody 90l/h, elektrický príkon 2,3kW; 3,4A; 400V	8	7060	56 480
2	Hliníkový potrubný rozvod s miešacou komorou a ventiláciou veľkosť 09; vertikálne potrubie 960 x 960 x 6000; miešacia komora 230V, axiálny ventilátor 25 000m ³ /h; 75Pa; 2,1kW; 3,3A; 400V; hliníková dvojsmerná výustka; ocelová roznášacia konštrukcia na streche, tep. izolácia potrubia pod strechou	8	12480	99 840
3	Kompletná, autonómna regulácia DRC 200 s čidlami	4	1920	7680
4	Elektrokabeláž od elektrického panela po jednotky so závesným materiálom,	kpl	17580	17580
5	Úprava svetlíkov – hliníkové podsady, hliníkové výmeny	kpl	6480	6480
6	Montážny materiál a montáž, plošiny	kpl	37720	37 720

SUMA bez DPH :

225 780 € bez DPH

Celková kalkulácia pre halu s navrhovaným objemovým prietokom pre adiabatické chladenie bola stanovená na základe cenovej kalkulácie dodanej firmou. Porovnanie cenových kalkulácií je znázornený v tab. 8.1 a v tab. 8.2, kde adiabatický systém je vykalkulovaný v hodnote **225 780 € bez DPH** v porovnaní s konvenčným chladením v hodnote **621 430 € bez DPH**.

6. PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

Pri skúmaní problematiky dizertačnej práce s názvom „Analýza a návrh klimatizačných sústav halových objektov s odparovacím chladením“ je možné doceliť výsledky a zhrnúť uplatnenie v oblasti projekcie, rozvoja, vedy, ekológie i spoločenskej praxe.

Prínosy pre vedný odbor

- V odbore teórie a techniky prostredia budov v oblasti vetrania a klimatizácie pre halové objekty ponúkaných na európskom trhu prispieva štúdia ich vzájomného porovnania z hľadísk environmentálnych, energetických a ekonomických faktorov. Výsledkom sú grafy vhodnosti použitia odparovacieho chladenia v našich podmienkach.
- Riešenia pre klimatizovanie halových objektov, ktoré boli podrobené okrajovým kritériám efektivity ich použitia v halových objektoch, sú systémy s odparovacím chladením. Avšak prvým problémom pri projektovaní nastáva vo fáze stanovenia okrajových podmienok a docielenie optimálnych parametrov.
- V súčasnosti sa hľadajú nové alternatívne zdroje chladenia, ktoré prispievajú k vyššej spoľahlivosti a zároveň je šetrnejšie k životnému prostrediu. Využitím chladenia adiabatickým odparovaním je možné ušetriť 2/3 nákladov na chladenie, kde vzduch ochladzujeme bez použitia energetickejšej klimatizácie. Jediným limitujúcim faktorom je voda, ktorá sa odparuje do priestoru s podmienkou neprekročenia odporúčaných hodnôt vlhkosti.
- Na základe dosiahnutých výsledkov z experimentálnych meraní som si vedomá, že prvé meranie malo zlý postup, avšak v druhom meraní sa chyby neopakovali. Pri inštalácii vonkajšieho senzora je dôležité jeho osadenie tak, aby nebol vystavený **priamemu slnku**.
- V oblasti klimatizovania halových objektov je možné voliť tieto typy chladenia a to klasické kompresorové, strešné ventilačné jednotkami alebo adiabatické strešné jednotkami.
- Z hľadiska tepelnej pohody treba rozlišovať krátkodobú a dlhodobú pracovnú tepelnú záťaž. Dlhodobá tepelná záťaž je limitovaná množstvom vody, ktorá sa stratí potom a dýchaním. Krátkodobá je skôr daná množstvom akumulovaného tepla v organizme, ktoré nesmie prekročiť hodnotu 50 Wh/m^2 , čomu zodpovedá nárast teploty telesného jadra o $0,8 \text{ K}$ či vzostup priemernej teploty kože o $3,5 \text{ K}$ a nárast srdcovej frekvencie max. na 150 min^{-1} .

Odporúčanie pre ďalší výskum

Bolo by zaujímavé pozorovať ako dokáže efektívne fungovať daný typ chladenia v iných objektoch alebo skúmanie chladiacich veží. Ďalej by bolo vhodné realizovať simulácie adiabatického chladenia:

- vo obytných budovách,
- v poľnohospodárskych objektoch

Z hľadiska prínosov pre vedný odbor môže táto práca slúžiť aj ako ďalšia, nová téma pre ďalší výskum, kde sa otvárajú možnosti spôsobov návrhu adiabatického chladenia.

Prínosy pre spoločenskú prax

Pre praktický návrh adiabatického chladenia sú najdôležitejšie vstupné okrajové podmienky popísané **kapitole 3**:

- teplota
- relatívna vlhkosť
- merná vlhkosť
- entalpia
- hustota
- teplota vlhkého vzduchu
- odparená voda

Merania preukázali, že adiabatická účinnosť chladiacich komôr η_{ad} závisí od :

- dokonalosti zmáčania povrchu,
- dĺžky odparovacej dráhy (zmáčaných kanálikov) odparovacích vložiek (buniek),
- geometrického tvaru zmáčaných kanálikov
- rýchlosti vzduchu prúdiaceho kanálikmi

Súhrn výsledkov analýzy:

- vyhodnotenie potenciálu systémov pre využitie,
- definícia okrajových podmienok pre návrh,
- vypracovanie metodiky návrhu adiabatického chladenia v závislosti od rôznych okrajových podmienkach (rýchlosť prúdenia vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, teplota vnútorného a vonkajšieho prostredia, počet adiabatických jednotiek a pod.),
- súhrn technických údajov adiabatikom chladiča,
- energetické, ekonomické a environmentálne vyhodnotenie adiabatického systému.

1. Prínosom dizertačnej práce pre prax je aj technicko-ekonomické posúdenie adiabatického systému. Z výsledkov dizertačnej práce môžeme konštatovať, že adiabatický systém, ktorý sa prezentuje často ako finančne úspornejší.

2. V súčasnosti návrh adiabatické systémy realizujú firmy, ktoré sú zároveň dodávateľmi týchto systémov na stavbe. Projektant vzduchotechniky vstupuje do návrhu v úvodnej fáze projektu, kde navrhuje samotný systém a umiestnenie jednotiek na strešnej rovine. Po zadaní parametrov

preberá návrh dimenzií potrubí dodávateľská firma. Projektant sa musí spoliehať na správnosť výpočtu a návrhu dimenzií týchto systémov. Z tohto dôvodu za funkčnosť adiabatického systému zodpovedá firma, ktorá systém projektuje.

3. Odparovacie chladiace jednotky sa konštruujú ako štvorstenné komory, ktorých steny tvoria rámové konštrukcie na podobnom princípe ako do týchto rámov sú vložené kazety s odparovacími vložkami na chladenie vzduchu. Ventilátorom umiestneným v strede jednotky sa ochladený vzduch vháňa potrubím a cez výustky do vetraného priestoru.

ZÁVER

Dizertačná práca slúži ako podklad pre oboznámenie sa s adiabatickým resp. s odparovacím systémom, jeho funkčnosťou a základnými zásadami návrhu, ktoré sú pre jeho správne fungovanie dôležité. Poukazuje na nutnosť správneho návrhu adiabatického systému, kde je potrebné zohľadniť všetky podstatné parametre. Správne trasovanie a umiestnenie strešných jednotiek, požiadavky na dimenzie a napojenie. Samotná ručná kalkulácia odparovacieho systému, je však príliš zdĺhavá, preto slúži len ako návod na porozumenie návrhu adiabatického systému. Dôležité sú základné návrhové podmienky, ktoré je potrebné dodržať. Poukazuje na postupnosť bodov, akým samotný návrh prebieha a dôležitosť vhodného vyregulovania pre ideálnu funkciu podtlakového systému. Na praktické použitie pri dimenzovaní odparovacích chladičov uvádzame výpočtové hodnoty vonkajšieho vzduchu pre územie Slovenskej Republiky a Českej Republiky, dosiahnuteľné zníženie teploty vzduchu a zväčšenie jeho špecifickej vlhkosti v chladičoch s adiabatickou účinnosťou $\approx 80\%$. Tento systém chladenia znižuje finančné, energetické a ekologické náklady prevádzky budov projektovaných i existujúcich, kde návratnosť investícií je krátkodobého charakteru. Kombinovateľnosť s inými technológiami chladenia nie je obmedzená a v rámci legislatívy nie sú kladené žiadne významné požiadavky. Veľkoobjemové haly priemyselného, skladového charakteru, tržnice, športové priestory, datacentrá, telocvične patria k náročným stavbám v pozemnom staviteľstve z hľadiska chladenia, vetrania a vykurovania.

Strojné chladenie z hľadiska vysokých investičných a prevádzkových nákladov, zaťažujú najviac životné prostredie, síce je technickým riešením, avšak v mnohých oblastiach je neekonomické a neefektívne. Adiabatické chladenie dokáže znížiť teplotu pomocou vlhčením suchého vzduchu, čo má za následok možnosť priameho technického využitia pre účinné, energeticky nenáročné a ekologické chladenie. Avšak s rýchlym nárastom svetovej populácie a industrializáciou nových svetových regiónov sa vyostruje aj súťaž o suroviny. Tento stav vyvoláva obavy z nedostatku zdrojov po environmentálnej stope populácie ľudí. Hlavným nedostatkovým zdrojom ako je voda, pôda, čistý vzduch a ekosystémové služby sú pre naše zdravie a kvalitu života nevyhnutné, sú však k dispozícii len v obmedzenom množstve. Preto sa treba zamyslieť aj nad tým, že rast svetovej ekonomiky a zvyšovanie počtu obyvateľstva na celom svete (9 miliárd do roku 2050) prispievajú k rýchlemu vyčerpaniu prírodných zdrojov Zeme.

LITERATÚRA

Monografia, odborné publikácie, zborníky, patenty, výskumné práce, skriptá, štúdie, články

- [1] **WATT, J. R.:** Evaporative Air Conditioning Handbook. New York : s.n., 1986. s. p.5. ISBN-13 :978-1-4612-9387-3.
- [2] **KHEIRABADI, M.:** Iranian cities: formation and development. University of Texas : s.n. s. p.36. ISBN 978-0-292-72468-6.
- [3] **BRYANT, E.:** Pad for evaporative coolers. U.S. patent 2391558 A 1945.
- [4] **ZELLWEGER, J.:** "Air filter and cooler". U.S. patent 838602 1906.
- [5] **HINCKLEY, J.:** The Big Book of Car Culture: The Armchair Guide to Automotive Americana. 2005. ISBN 0-7603-1965-0.
- [6] **HEITMANN, J. A.:** The Automobile and American Life. 2009. s. p.15. ISBN 9781476601991.
- [7] **GOETTL, W. H.:** Air conditioner. US3913345 A 1974.
- [8] **GIVONI, B.:** Passive Low Energy Cooling of Buildings. 1994. ISBN 10-471-28473-4.
- [9] **THORNBURG, M. L. – THORNBURG, P.M.:** Cooling for the Arizona Home. Tuscon : s.n., 1939. ISBN.
- [10] **SOKOLLIK, F.:** Method and device for controlling air parameters in premises by means of an air conditioner. EP 1209547 A2
- [11] **Schools, International Correspondence.:** A Textbook on Steam Engineering. Scranton : s.n., 1902.
- [12] **FERSTL, K. MASARYK, M.:** Odparovacie chladenie vzduchu s nízkou potrebou energie s využitím na znižovanie teploty vo vetraných priestoroch. *Správa SZCHKT*. 5, 2012.
- [13] **SZÉKYOVÁ, M. FERSTL, K. NOVÝ, R.:** *Vetrание klimatizácia* . Bratislava : JAGA Group Bratislava , 2004. ISBN 80-8076-000-4.
- [14] **FERSTL, K. a MASARYK, M.:** *Problémy so suchým vzduchom riešenie adiabatickým vlhčením, Hygienická a technologická potreba vlhčenia vzduchu*. Bratislava : Strojnícka fakulta STU.
- [15] **CHYSKÝ, J. – HEMZAL, K. a kol.:** *VETRANÍ A KLIMATIZACE*. Brno : s.n., 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [16] **KUNKEL, S. – KONTONASIOU, E. – ARCIPOWSKA, A. – MARIOTTINI, F. - ATANASIU, B.** *Indoor air quality, Thermal comfort and daylight, Analysis of residential building regulations in eight EU member states*. Published in 03/2015. ISBN: 9789491143106.
- [17] **KINNEY L.:** Evaporative Cooling for a Growing Southwest: Technology, Markets, and Economics, Southwest Energy Efficiency Project,
- [18] **LAIN M.,** 2007, Nízkoenergetické chlazení budov, disertační práce, ČVUT, Praha, staženo 10.10.2011, dostupné z: <http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/team/past/Lain.pdf>
- [19] **KUMAR, R. – RIANGVILAIKUL, B.:** Energy and Buildings, An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system, May 2010, p.637-644.
- [20] **HEIDARINEJAD, G. –BOZORGMEHR, M.:** – Delfani, s. – Esmaeelian, j. Building and Enviroment, Experimental investigation of two-stage indirect/direct evaporative cooling system in various climatic conditions, October 2009, p.2073-2079.
- [21] **GIABAKLOU, Z. - BALLINGER, J.A.:** Building and Enviroment, A passive evaporative cooling system by natural ventilation, November 1996, p.503-507.
- [22] **CHEN, Q. - YANG, K. - WANG, M. - PAN, N. - GUO, Z.-Y.:** Energy, A new approach to analysis and optimization of evaporative cooling system I: Theory, June 2010,p. 2448-2454.
- [23] **JAIN, D. – TIWARI, G.N.:** Energy Conversion and Management, Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse, November 2002, p.2235-2250.
- [24] **RYAN, D.P. – BOLAND, M.:** Journal of Dairy Science, Evaluating Two Different Evaporative Cooling Management Systems for Dairy Cows in a Hot, Dry Climate, April 1992, p. 1052-1059.
- [25] **CENTNEROVÁ, L.:** Tepelná pohoda a nepohoda. VVI 5/2000
- [26] **MATHAUSEROVÁ:** Vzduchotechnické veličiny v nové hygienické legislativě. VVI 2/2002

- [27] **PETRÁŠ, D.** - Piršel, L.: Metodika hodnotenia tepelného stavu vnútorného prostredia. TZB Haustechnik, Jaga group, Bratislava 1988
- [28] **CIHELKA, J.:** Vytápění, větrání a klimatizace. SNTL, Praha 1985
- [29] **JOKL, M.:** Optimální mikroklimatické podmínky pracovišť. SNTL, Praha 1997
- [30] **CHMÚRNÝ, I.:** Tepelná ochrana budov. Jaga group, Bratislava 2003
- [31] **KATUNSKÁ, J.:** - Rusnák, M.: Alternatívy rekonštrukcie. Fasády. Revue časopisu Strechy, fasády, izolace. Číslo 03/2006, str. 62 – 64
- [32] **KATUNSKÝ, D.:** Výskum interakcie budovy a prostredia v priemysle. Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou BUDOVA A ENERGIA, 5. – 7. december 2007, Vysoké Tatry, Podbanské,
- [33] **STERNOVÁ, Z. a kol.:** Energetická hospodárnosť a energetická certifikácia budov. Jaga group, Bratislava 2010
- [34] **OPPL, L.:** Průmyslová vzduchotechnika. Ediční středisko ČVUT, Praha 1987
- [35] **DRKAL, F.:** Technika prostředí. ČVUT, Praha 1978
- [36] **NOVÝ, R. A KOL.:** Technika prostředí. ČVUT, Praha 2006
- [37] **CHYNSKÝ, J. - HEMZAL, K. A KOL.:** Větrání a klimatizace. Technický průvodce. Bolit B-press, Brno 1993
- [38] **DRKAL, F. - LAIN, M. - SCHWARZER, J. - ZMRHAL, V.:** Vzduchotechnika. Evropský sociální fond, Praha 2010
- [39] **KOSTELKOVÁ, L.:** Pozemní stavitelství. Konstrukce HSV, Brno 1982
- [40] **OSWALD, J.:** Priemyselná vzduchotechnika. TU, Zvolen 2002
- [41] **KOŠAŘ, K.:** Stroje a zariadenia v hydinarstve. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 1987, 374 s.
- [42] **NEUBERGER, P., ŠLEGER, V., ADAMOVSKÝ, R.:** The stables input air stream processed by adiabatic process. In IBMER. III. Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie. Warszawa, IBMER, 1999, p. 219-223.
- [43] **ŠLEGER, V., VRECIION, P.:** MathCAD 7. 1. vyd. Praha: Haar International, 1998, 157 s. ISBN 80-206-0434-
- [44] **HEGLUND, N.C., WILLEMS, P.A., PENTA, M., CAVAGNA, G.A.:** Energy-saving gait mechanics with head-supported loads. Nature 1995;375(6526):52e4.
- [45] **HOFFERT, M.I., CALDEIRA, K., BENFORD, G., CRISWELL, D.R., GREEN, C., HERZOG, H.:** et al. Advanced technology paths to global climate stability: energy for a greenhouse planet. Science 2002;298(5595):981e7.
- [46] **THAUER, R.K., KASTER, A.K., SEEDORF, H., BUCKEL, W., HEDDERICH, R.:** METHANOGENIC ARCHAEA: ecologically relevant differences in energy conservation. Nature Reviews Microbiology 2008;6(8):579e91.
- [47] **AL-JAMAL K.:** Greenhouse cooling in hot countries. Energy 1994;19 (11):1187e92.
- [48] **COSTELLOE, B., FINN, D.:** Indirect evaporative cooling potential in airewater systems in temperate climates. Energy and Buildings 2003;35 (6):573e91.
- [49] **TULSIDASANI, T.R., SAWHNEY, R.L., SINGH, S.P, SODHA, M.S.:** Recent research on an indirect evaporative cooler (IEC) 1. Optimization of the cop. International Journal of Energy Research 1997;21(12):1099e108.
- [50] **MUANGNOI, T., ASVAPOOSITKUL, W., WONGWISES, S.:** Effects of inlet relative humidity and inlet temperature on the performance of counterflow wet cooling tower based on exergy analysis. Energy Conversion and Management 2008;49 (10):2795e800.

[51] **LEMOUARI, M., BOUMAZA, M., KAABI, A.:** Experimental analysis of heat and mass transfer phenomena in a direct contact evaporative cooling tower. *Energy Conversion and Management* 2009;50(6):1610e7.

Zákony, normy, vyhlášky

[52] **EN 13779** Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. 2007.

[53] **EN 15251** Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, 2007

[54] **STN EN 15251** Vstupné údaje o vnútornom prostredí budov na navrhovanie a hodnotenie energetickej hospodárnosti budov – kvality vzduchu, tepelný stav prostredia, osvetlenie a akustika. :2008; . č. pub. 105692.

[55] **STN EN ISO 13790/NA 2010:** Energetická hospodárnosť budov. Výpočet potreby energie na vykurovanie a chladenie . 2008. ISO 13790:.

[56] **STN EN 16798-3** Energetická hospodárnosť budov. Vetranie budov. Časť 3: Vetranie nebytových budov. Všeobecné požiadavky na vetracie a klimatizačné systémy (Moduly M5-1, M5-4). 2018.

[57] **STN 73 5105** Výrobné priemyselné budovy. Industrial buildings for production purposes, vestník 09/95

[58] **Vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z.z.**, Ochrana zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci. aktualizované 30.03.2017 .

[59] **Vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z.z.**, Ochrana zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci. aktualizované 30.03.2017 .

Firemné katalógy a e-zdroje

[60] **Dostupné:** <http://2030palette.org/evaporative-cooling-towers/>.

[61] **Dostupné:** <http://www.emerson.com/en-us/about-us/company-history>.

[62] **Dostupné:** <http://www.goettlshdm.com/about/>.

[63] **Dostupné:** <http://www.cool-stream.sk/adiabaticke-chladenie-predvadzacia-jednotka-coolstream-s.html>.

[64] **Dostupné:** <https://www.ee-highrise.eu/index.php/virtual-building/sustainable-systems>.

[65] **Dostupné:** <https://www.ee-highrise.eu/index.php/virtual-building/sustainable-systems>

[66] **Dostupné:** <https://www.robur.cz/produkty/adiabaticke-chlazení-hal/adiabaticke-chlazení-ad>.

[67] **Dostupné:** <http://manweb-remembered.co.uk/>

Softvér

[68] **Dostupné:** <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>

ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH ČLÁNKOV

Práce publikované v zborníkoch odborných konferenciách a v odborných časopisoch

1. **FRŤALOVÁ, M.:** Chladenie odparovaním využívané v budovách. In *Advances in architectural, civil and environmental engineering: 25rd Annual PhD Student Conference on Architecture and Construction Engineering, Building Materials, Structural Engineering, Water and Environmental Engineering, Transportation Engineering, Surveying Geodesy, and Applied Mathematics*, Bratislava, SR, 28.10.2015 elektronicky zdroj. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015, s. 720—724. ISBN 987-80-227-4514-7
2. **FÜRI, B. - FRŤALOVÁ, M.:** Použitie chladenia pri úprave vnútornej klímy halových objektov. In *STRÁKOVÁ, Z. Vetranie a klimatizácia 2016. Zelená úsporám energie: zborník prednášok z 18.ročníka vedecko-odbornej konferencie*. Štrbské Pleso, SR, 2. -3.6.2016. 1. vyd. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2016, s. 110—114. ISBN 978-80-89216-92-5.
3. **FRŤALOVÁ, M.:** Činnosť odparovacieho chladiaceho zariadenia v priemyselnej hale. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016. 5 s.
4. **VOJTAŠŠÁK, J. - FRŤALOVÁ, M.:** Poznatky z prevádzky adiabatického odparovacieho chladenia v praxi. *TZB Haustechnik*, 25. s. 26--29

5. **VOJTAŠŠÁK, J. - FRŤALOVÁ, M.:** Adiabatické odpařovací chlazení – ano, či ne?. *TZB Haustechnik*, 10. s. 36—39
6. **VOJTAŠŠÁK, J. - FRŤALOVÁ, M.:** Adiabatické odparovanie chladenie – áno, či nie?, *TZB Haustechnik*, 5/2017. s. 44—47
7. **FRŤALOVÁ, M.:** Metodika merania adiabatického chladenia v priemyselnom objekte. In *Advances in architectural, Civil and Environmental Engineering*. Bratislava: Spektrum STU, 2017, s. 484—489. ISBN 987-80-227-4751-6.
8. **FRŤALOVÁ, M. - FÜRI, B.:** Application and evaluation of evaporative cooling schemes. *Magyar Épületgépészet*, 66. s. 22—25
9. **FRŤALOVÁ, M. - FÜRI, B.:** Úsporné riešenie úpravy vzduchu na pracoviskách v halových objektoch. In *Vnútorná klíma budov 2017*. Bratislava : Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2017, s. 159—164. ISBN 978-80-89878-17-8.
10. **FÜRI, B. - FRŤALOVÁ, M.:** Application of adiabatic cooling in our climatic conditions. In *EXPRES 2018*. Subotica: Inženjersko-tehničko udruženje vojvodanskih Madara, 2018, s. 29—33. ISBN 879-86-919769-3-4.
11. **FRŤALOVÁ, M. - FÜRI, B.:** Experience with Adiabatic Systems in our Climatic Conditions. *Magyar Épületgépészet*, 67. s. 31—34
12. **VOJTAŠŠÁK, J. – STRAKOVÁ, Z. – FRŤALOVÁ, M.:** Vyhodnotenie výsledkov psychrometrických meraní pomocou štatistických aplikácií Kuder Richardson KR20. *TZB Haustechnik*, 27. s. 54--56.