

OPONENTNÍ POSUDEK DIPLOMOVÉ PRÁCE

Název: Riziko kondenzace u vysokoteplotních klimatizačních systémů
Autor: Bc. Dan PUHL
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika životního prostředí
Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.
Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní ČVUT v Praze

Téma diplomové práce

Podle zadání měl diplomant posoudit riziko kondenzace u systémů využívajících chladicí stropy nebo indukční jednotky a zhodnotit použitelnost těchto klimatizačních systémů v různých oblastech Evropy. Dále měl za úkol navrhnout opatření, které by riziko kondenzace eliminovalo. K řešení měl použít simulační program IDA ICE. Diplomant řešil zadání pro chladicí stropní panel (analýzou indukční jednotky se nezabýval), sestavil simulační model kancelářské místnosti s chladicím panelem a jako opatření k eliminaci rizika kondenzace vlhkosti zvolil kvalitativní regulaci teploty vody přiváděné do panelu (bez přerušování jeho provozu). Téma práce je poměrně náročné, protože vyžaduje práci se simulačním programem IDA ICE na úrovni, která přesahuje základní uživatelské znalosti a dovednosti, které studenti mohou získat v rámci výuky na Ústavu techniky prostředí. Obtížnost spočívala v zapracování algoritmu regulace do simulačního modelu. Podle mého názoru bylo zadání diplomové práce splněno.

Hodnocení obsahu diplomové práce

Diplomová práce je prezentována na 57 stranách včetně obrázků, tabulek, grafů a seznamu použité literatury. Je rozdělena do čtyř hlavních částí věnovaných postupně úvodu, teoretickým základům, výpočtům provedeným v tabulkovém procesoru nebo v simulačním programu a závěru.

V teoretické části (kapitola 2), která tvoří cca polovinu celkového rozsahu práce, je uveden přehled základních poznatků o venkovních klimatických podmínkách, vlastnostech a termodynamice vlhkého vzduchu, chladicích stropích a chladicích trámčích, odvodu vázaného tepla z interiéru nuceným větráním, úpravě větracího vzduchu a způsobech regulace chladicích stropů. V některých oblastech je text zbytečně podrobný. Např. se autor zabývá velmi detailně vznikem kapiček při kondenzaci na pevném povrchu (str. 25), avšak pro vlastní práci z toho nic nevyplývá. Popis h-x diagramu má charakter kapitoly v učebnici, a mívá se tedy s účelem diplomové práce. Naopak nebyla provedena podrobnější a systematictější literární rešerše, i když publikace v dané oblasti zřejmě existují, jak lze usoudit např. z formulace na str. 27 „*Spousta autorů se zabývá úsporou energie sálavých systémů...*“, tito autoři (a jejich práce) však nejsou uvedeni. V teoretické části práce je řada nepřesných výrazů či tvrzení – např. je zaměněn pojem *hustota* a *koncentrace*; tvrzení „*přehřátá vodní pára se svými vlastnostmi blíží ideálnímu plynu*“ platí jen pro určitý rozsah tlaku (což není upřesněno); *kolísání teploty je v průběhu dne sinusové* (podle obr. 2-1 zjevně není); *TRY* je metodika pro stanovení RKR, ne překlad této zkratky; lehké stropy jsou podle autora připevněny k *hliníkovému* rastru pro sádkokarton (rastr pro SDK je obvykle z oceli). Obrázek 2-16 a jeho popis na str. 37 je matoucí. Vyznačené intervaly RB_{opt} a RB_{krit} nejsou intervaly „stavu vzduchu“, ale intervaly měrné vlhkosti. Náznornější by bylo v obrázku rozdělit vyšrafované pásmo komfortu na dvě části, jejichž rozhraní určuje měrná vlhkost odpovídající teplotě rosného bodu 16 °C.

Analytická část (kapitola 3) zahrnuje vlastní výpočty autora zpracované v tabulkovém procesoru Excel a simulace provedené v programu IDA ICE na vlastním modelu místnosti s chladicím stropem a podrobně modelovaným regulačním obvodem. Podle mého názoru by si větší pozornost a podrobnější výstupy zasloužilo porovnání klimatických podmínek ve vybraných lokalitách Evropy. Z tohoto hlediska tab. 3-1 nepodává zdaleka vyčerpávající informace. V modelu kanceláře byla použita neobvyklá skladba konstrukce vnější stěny (150 mm betonu – 150 mm tepelné izolace – 80 mm betonu). Použitý algoritmus regulačního obvodu (který diplomant zpracoval s pomocí externího konzultanta dr. Šírokého) je popsán a ilustrován srozumitelně, chybí ovšem popis jeho implementace v programu IDA ICE. To komplikuje případné použití nebo rozšíření tohoto přístupu v další navazující práci. Základním cílem bylo posoudit riziko vzniku kondenzace, avšak pro tento účel není jasně definován vhodný ukazatel. Výsledky jsou graficky zobrazeny ve formě křivek relativních kumulativních četností hodin, kdy je teplota rosného bodu v interiéru nižší než teplota vody 16 °C na přívodu do chladicího panelu. Ukazatel rizika vzniku kondenzace je tedy doplňkovou funkcí prezentovaných výsledků. Na str. 57 je nesrozumitelně popsán rozdíl mezi výsledky ze simulací a z výpočtů v Excelu (tab. 3-5). V textu je chybně zaměňován pojem *teplotního spádu* a *teplotního rozdílu* (str. 54). Údaje v procentech v tab. 3-3 by bylo vhodné zaokrouhlit na celá čísla. Chybí podrobnější komentář ke grafům pro Luqu uvedeným na str. 64 až 65.

V závěru práce autor výstižně shrnuje dosažené výsledky a konstatuje, že vysokoteplotní klimatizační systémy jsou použitelné v (klimaticky) odlišných částech Evropy, pokud je vhodně upravován větrací vzduch a

regulována teplota vody přiváděné do systému. Nevím, do jaké míry je zobecnění na *všechny* vysokoteplotní systémy platné, protože analýza je provedena pouze pro lehké chladicí stropy.

Jazyková a grafická úprava diplomové práce

Text práce je (až na výjimky popsané výše) srozumitelný a přehledně strukturovaný. Autor se nevyhnul gramatickým chybám, jako je (ne)shoda větných členů v osobě a pádu, vynechávání čárek v souvětích, nevhodný slovosled. Na některých místech mám dojem, že je vynechaný nebo zkomolený text, např. v seznamu označení je uveden pojem *měrná vlhkost chladiče*, je nedokončený popis obr. 2-15, na str. 57 je uvedeno „*Ve výpočtech uvažujeme teoretický průběh chladiče...*“. Tyto chyby jsem vyznačil přímo v textu práce.

Po grafické stránce nemám zásadní připomínky, grafy dostatečně podrobně a srozumitelně ukazují získané výsledky. V některých grafech průběhů teplot by bylo vhodné pozměnit barvy křivek – např. šedá přerušovaná čára pro citelnou zátěž není vždy dobře viditelná, na obr. 3-23 mají křivky pro veličiny $Q_{ch,vět,cit}$ a $Q_{z,aku}$ stejnou barvu. Grafy celoročních průběhů (obr. 3-24 až 3-26) by snad mohly být více roztaženy do výšky, aby se lépe zobrazilo překročení požadované teploty vnitřního vzduchu.

Celkové hodnocení

Zadání diplomové práce bylo splněno. Řešení je prezentováno většinou srozumitelně a přehledně. V textu jsou názvoslovné, gramatické a stylistické chyby, které však nesnižují významně celkovou úroveň práce. V teoretické části bych uvítal podrobnější informace skutečně zaměřené na řešené téma. V analytické části podle mého názoru chybí podrobnější porovnání klimatických podmínek v uvažovaných lokalitách Evropy. Některé výsledky (např. pro Atény) pak působí poněkud paradoxně. Dále si myslím, že měl autor podrobněji popsat implementaci modelu regulačního obvodu v programu IDA ICE, což je důležitý praktický výsledek použitelný v případné další navazující práci.

Autor prokázal schopnost přiměřeně samostatně řešit zadaný problém, rozšiřovat a prohlubovat svoje vědomosti nad rámec absolvovaného studia. Diplomová práce podle mne splňuje požadavky kladené na absolventa magisterského studia na ČVUT v Praze. Po zvážení všech přínosů diplomové práce i nedostatků v jejím zpracování doporučuji její celkové hodnocení stupněm

B (velmi dobře).

Otázky pro diplomanta

1. V čem spočívá *samoregulační schopnost* systému s chladicími stropy, kterou zmiňujete na str. 26?
2. Jak je systém s chladicími stropy odolný vůči změně vnitřních návrhových podmínek? Uvažujte např. situaci, kdy si patro kancelářské budovy pronajme právnická firma a po určité době se nájemce změní na firmu provozující tzv. call centrum pro IT systémy, a tedy významně vzrostou vnitřní zisky.
3. Z čeho jste čerpal podklady pro skladbu konstrukce vnější stěny budovy (tab. 3-4)?
4. Jak jste dospěl k výsledkům v tab. 3-5? Co znamená pojem *procentuální rozdíl křivek*?
5. Definujte vhodně ukazatel rizika vzniku kondenzace v návaznosti na postup, který jste použil v diplomové práci.
6. Co způsobuje, že výsledky pro Atény (obr. 3-14 až 3-16) jsou „uprostřed“ mezi Luqou a Oslem? Proč je chlazení pro oblast Atén zapnuté 33 % celkové doby, zatímco pro oblast Luqy je to 36 %, i když rozsah teplot vzduchu (tab. 3-1) by naznačoval spíše opačnou situaci?

V Praze 18. srpna 2017



Ing. Martin Barták, Ph.D.