Optimalizace prototypu

pro systém osobního

větrání CFD simulací

mikroklimatizační jednotky

Ing. arch. Vojtěch MAZANEC¹⁾ prof. Ing. Karel KABELE, CSc.²⁾

 ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov



CFD-Simulation Based Optimization of a Micro Air-Conditioning Unit Prototype for Personalized Ventilation System

Příspěvek se zabývá návrhem a optimalizací mikroklimatizační jednotky pro systém osobního větrání s individuální úpravou teploty vzduchu Peltierovými články. Mikroklimatizační jednotka je určena pro umístění ve dvojité podlaze velkoprostorové kanceláře. Podklady pro optimalizaci byly získány CFD simulacemi v programu COMSOL Multiphysic. Simulace testovaly chování jednotlivých součástí jednotky při různých výkonech Peltierových článků jak při módu chlazení, tak vytápění, a v několika režimech proudění vzduchu jak uvnitř jednotky, tak okolo vnějších chladičů Peltierových článků. Výsledky simulace byly validovány měřením na prototypu jednotky.

Klíčová slova: mikroklimatizační jednotka, optimalizace, CFD, COMSOL, Peltier

The paper deals with the design and optimization of a micro-air-conditioning unit to be used in a personalized ventilation system capable of customizing air temperature by Peltier thermoelectric elements. The air-conditioner is intended for placement in a double floor of open-space office. The data for optimization were acquired by CFD simulations using the COMSOL Multiphysics program. The simulations tested the behavior of individual parts of the unit at different outputs of Peltier elements both in cooling and heating mode and also at some air flow regimes inside of the unit and around external heat exchangers of Peltier elements. The simulation results were validated by measurement on the unit prototype.

Keywords: micro-air-conditioning unit, optimization, CFD, COMSOL, Peltier

ÚVOD

Recenzenti:

Ing. Martin Barták, Ph.D.

Ing. Milan Janák, CSc.

Osobní větrání představuje možné řešení přívodu a distribuce vzduchu v budovách, zvláště pak ve velkoprostorových kancelářích, kde centrální distribuce vzduchu nedokáže splnit rozdílné požadavky jednotlivých uživatelů [1], navíc významně snižuje rizika šíření infekcí mezi jednotlivými uživateli [2], [3]. Řešený systém osobního větrání je určen pro dodatečnou instalaci do stávajícího objektu velkoplošné kanceláře s pracovišti vyžadujícími extrémní soustředění na práci u obrazovek. V místnosti je funkční centrální vzduchotechnika s přívodem vzduchu do zdvojené podlahy, distribucí podlahovými vyústkami rovnoměrně rozmístěnými ve větraném prostoru a odvodem znehodnoceného vzduchu vyústkami ve stropu místností. Stávající centrální klimatizační systém zajišťuje dostatečnou intenzitu výměny vzduchu z hlediska větrání, vytápění, odvodu tepelné zátěže, vlhkosti i čistoty vzduchu, nicméně nedokáže reagovat na rozdílné požadavky uživatelů vyplývající z rozdílů mezi jednotlivci ve vnímání komfortu.

Z tohoto důvodu je navržena instalace osobního větrání, které umožní individuální úpravu způsobu distribuce, množství a teploty přiváděného vzduchu do zóny pracoviště. Vzhledem k tomu, že na trhu není v současné době dostupný výrobek, který by splňoval specifické požadavky tohoto případu, probíhá v laboratoři vnitřního prostředí UCEEB a katedry TZB Fakulty stavební ČVUT v Praze vývoj prototypu systému osobního větrání. Vyvíjený systém se skládá z mikroklimatizační jednotky (dále MKJ), soustavy pro distribuci vzduchu v rámci pracoviště a ovládací a řídicí jednotky. Systém využívá stávajícího přívodu upraveného vzduchu do prostoru zdvojené podlahy. Tento vzduch je MKJ nasáván, teplotně upraven a distribuován do pracovní zóny uživatele podle jeho požadav-ků. Odvod vzduchu z místnosti zajišťuje stávající centrální systém. Tento příspěvek popisuje využití matematického modelování a simulace při vývoji a optimalizaci MKJ.

POPIS ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

Konstrukce MKJ vychází z definice požadavků a okrajových podmínek prostoru, pro které je jednotka určena. Na základě analýzy požadavků uživatelů byl stanoven požadavek na maximální úpravu teploty v rozmezí ±4 °C od teploty vzduchu centrálně přiváděného do zdvojené podlahy. Návrhový maximální objemový průtok jednotkou určenou pro jedno pracoviště byl stanoven na 50 m³/h. Hodnota vychází z minimál-

Tab. 1 Návrhové parametry MKJ

Tab. 1 Design Parameters of MKJ

Vlastnosti	vzduchu

		Vstup do MKJ	Ohřev	Chlazení	
t _{air}	[°C]	23,5	29,5	17,5	
V	[m³/h]	50	51	49	
ρ	[kg/m ³]	1, 17	1,14	1,19	
rh	[%]	50	35	72	
m	[kg/s]	0,016	0,016	0,016	
entalpie	[kJ/kg]	47,3	53,4	41,1	
Výkon Peltierova článku	[W]		98	-98	

ních požadavků stanovených na osobu, zohledňujících potřebu zvýšeného soustředění na práci (oproti 25 m³/h stanovených vyhláškou pro zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I [4]) a požadavků pro efektivní aplikaci osobního větrání za použití daných distribučních elementů [5]. K tomuto účelu je vyvíjena MKJ nasávající vzduch z prostoru pod podlahou a umožňující úpravu jeho teploty pomocí Peltierových termoelektrických článků, které jsou schopné jak ochlazovat, tak ohřívat přiváděný vzduch pouhou změnou polarity přiváděného stejnosměrného napětí. Princip zařízení je patrný z obr. 1, návrhové parametry MKJ z tab. 1.

Konstrukce MKJ sestává ze dvou vnitřních výměníků, dvou Peltierových článků a dvou vnějších výměníků zabudovaných do těsné skříně, která je na vstupu osazena ventilátorem a na výstupu konektorem pro připojení soustavy pro distribuci vzduchu do pracoviště. Tělo skříně je na obr. 1 znázorněno přerušovanou čarou. Vnitřní výměníky přenášejí energii z jedné strany Peltierova článku do přiváděného vzduchu, který ohřívají nebo ochlazují, zatímco vnější výměníky odvádějí energii z druhé strany Peltierova článku (teplo i chlad) do okolního vzduchu. Jednotka je navržena pro umístění do dutiny zdvojené podlahy, kde byla v řešeném případě měřením zjištěna rychlost proudění vzduchu v rozmezí 1–2 m/s, což je další okrajová podmínka pro návrh jednotky, zvláště pak vnějších výměníků tepla. Může však dojít k tomu, že rychlost proudění vzduchu



Obr. 1 Princip mikroklimatizační jednotky a její zapojení v systému osobního větrání: A – vnější (sekundární) výměníky; B – Peltierovy články; C – vyústky; D – vnitřní (primární) výměníky; E – ventilátor

Fig. 1 Principle of the micro-air-conditioning unit and its connection in a personalized ventilation system: A – external (secondary) heat exchangers; B – Peltier cells; C – outlets; D – internal (primary) heat exchangers; E – fan



Obr. 2 Jednotlivé komponenty prototypu zařízení Fig. 2 Individual components of the device prototype

v dutině podlahy z provozních či technologických důvodů klesne až na nulu, a tak musí být MKJ vybavena ochranou proti přehřátí.

Kritickými prvky MKJ z hlediska teplotního namáhání jsou materiál pláště a samotné Peltierovy články. Materiál pláště je polykarbonát-ABS, který bez deformací vydrží teplotu 96 °C. Používaný Peltierův článek by neměl překračovat teplotu 90 °C. Vnitřní výměník je hliníkový, jeho teplotní limity daleko přesahují limity ostatních součástek. Jako vnější výměník slouží chladič využívaný pro chlazení elektronických komponent, osazený tepelnými trubicemi k odvedení tepla či chladu do systému lamel. Jednotlivé prvky prototypu lze vidět na obr. 2.

Cílem simulace bylo otestovat teplotní chování MKJ za standardních a extrémních podmínek a identifikovat potenciální problémová místa uvnitř jednotky, kde není technicky možné provést měření na prototypu.

MODEL

Pro modelování a simulaci daného problému byla zvolena metoda CFD, umožňující výpočet teplotních a rychlostních polí uvnitř jednotky. Jako simulační nástroj byl použit program COMSOL Multiphysics.

Původní záměr obsahoval matematický model celého zařízení (obr. 3/A), kvůli náročnosti výpočtu a omezeným kapacitám výpočetní techniky však bylo třeba model významně zjednodušit. K prvnímu zjednodušení byl využit fakt, že úloha je symetrická, a bylo tak možné počítat pouze polovinu celého prvku. Nepřesnost, která tímto zjednodušením pravděpodobně vznikla, je velmi nízká. I přesto byl však model velmi náročný, převážně kvůli složité technologii a geometrii vnějších výměníků. Zde jsme využili skutečnosti, že existuje fyzický prototyp, a nahradili konstrukci vnějších výměníků výpočtově jednodušším prvkem, který obsahoval reálně naměřené výkonové parametry vnějšího výměníku. Model byl tak zaměřen na detailní analýzu vnitřku jednotky. V souvislosti s tímto zjednodušením byl zanedbán i přenos tepla sáláním z vnějšího povrchu skříně jednotky a sdílení tepla stěnou skříně jednotky bylo uvažováno pouze v závislosti na tepelném odporu stěny a rozdílu teploty vzduchu v jednotce a konstantní teploty vzduchu v okolí. Výsledný model je vidět na obr. 3/B.

Dalším prvkem, který bylo třeba namodelovat, byl samotný Peltierův článek. Jeho reálný chladicí výkon je závislý na rozdílu teplot chladné a teplé strany, v modelu tedy musely být osazeny virtuální senzory, které během výpočtu monitorovaly tyto teploty a upravovaly hodnotu výkonu.

Příkon zařízení je podle měření konstantní. Je důležité uvést, že článek reálně vytváří více tepla než chladu, přičemž hodnota výkonu se nemě-



Obr. 3 Původní (A) a zjednodušený (B) model, použitý pro výpočet Fig. 3 Original (A) and simplified (B) model used for the calculation





Obr. 4 Závislost výkonu chlazení Peltierova článku na rozdílu teplot Fia. 4 Dependence of Peltier cell cooling

output on temperature difference

k výpočtům Fig. 5 Meshed model used for calculations

Obr. 5 Síť modelu využitá

ní s rozdílem teplot (vychází právě z příkonu zařízení) a způsobuje, že samotný článek, ze kterého není teplo odváděno, se velmi rychle celý zahřívá.

Vnitřní výměník byl modelován podle skutečné geometrie a materiálových vlastností. Pro výpočet byla použita čtyřstěnná síť se zahuštěním okolo výměníku a hran. Síť (obr. 5) obsahovala 1 815 271 buněk. Vliv turbulence byl modelován modelem L-VEL, což je algebraický model, který počítá vírovou viskozitu v závislosti na lokální rychlosti proudění a vzdálenosti od stěn. Je to model nejméně výpočtově náročný, ale poskytuje dostatečnou přesnost právě ve vnitřním proudění okolo výměníku [6].

Přestup tepla je tak počítán na základě intenzity turbulence, rychlosti proudění, rozdílu teplot a materiálových vlastností látek.



Obr. 6 Měření prototypu jednotky Fig. 6 Measurement of unit prototype

KALIBRACE MODELU

Kalibrace modelu byla provedena na základě série měření prototypu. Měření bylo prováděno dataloggerem COMET se čtyřmi sondami měřícími teplotu vzduchu na vstupu a výstupu jednotky a teplotu povrchu vnitřního a vnějšího výměníku. Rychlost proudění vzduchu na výstupu z jednotky byla měřena termoanemometrem. V okolí zařízení bylo umístěno několik ventilátorů simulujících proudění vzduchu ve zdvojené podlaze a jeho působení na vnější výměníky. Ventilátory byly nastaveny tak, aby rychlost proudění odpovídala reálně naměřeným hodnotám. Měřicí stolice s prototypem MKJ je na obr. 6.

Z ustáleného stavu pak byly odvozeny výchozí hodnoty pro kalibraci matematického modelu v jednotlivých provozních stavech. Byly využity tři provozní stavy:

- mód chlazení, běžná rychlost proudění v okolí,
- mód vytápění, běžná rychlost proudění v okolí,
- mód chlazení, žádné proudění v okolí.

Srovnání výsledků měření a výpočtového modelu je znázorněno na obr. 7, výsledky modelu na obr. 8 a 9.

TESTOVANÉ SITUACE

Situace, které jsme chtěli modelem otestovat, lze rozdělit do dvou základních kategorií:

- bezpečnostní,
- návrhová.

Bezpečnostní simulace popisuje situace, které bylo vhodné před reálným měřením matematicky testovat, protože u nich hrozilo poškození jednotlivých součástí. Hlavním rizikem zde bylo možné přehřátí článku vlivem nedostatečného odvodu tepla vnějšími chladiči a kondenzace vlhkosti na vnitřních chladičích. Byly testovány tři nestandardní provozní stavy a jeden stav poruchový.

Návrhovou simulaci jsme použili k optimalizaci vlastnosti jednotky. Cílem bylo analyzovat dopad ovlivnitelných součástí na výkon zařízení. Byly to např.: síla vrstvy a kvalita teplovodivé pasty na spojích, zvýšení



Obr. 7 Porovnání výsledků měření jednotlivých ustálených stavů s výsledky matematického modelu

Fig. 7 Comparison of results of measurement of individual steady states with results from mathematical model

Simulace budov a techniky prostředí – Simulations of Buildings and HVAC Systems







Fig. 8 Result of calculation of temperature for calibration: cooling mode, normal speed of surrounding flow; the scale indicates temperature in °C in a given cross-section

Obr. 9 Výsledek výpočtu teploty pro kalibraci: mód vytápění, běžná rychlost proudění v okolí; škála označuje teploty ve °C v daném řezu Fig. 9 Result of calculation of temperature for calibration: heating mode, normal speed of surrounding flow; the scale indicates temperature in °C in a given cross-section



Obr. 10 Výsledek výpočtu v situaci bez proudění vzduchu okolo vnějších výměníků a plném chladicím výkonu (70 W); škála označuje teploty ve °C v daném řezu

Fig. 10 Result of calculation for a case without air flow around external heat exchangers and full cooling output (70 W); the scale indicates temperature in °C in a given cross-section

tepelného odporu pláště a zvýšení výkonu vnějších výměníků instalací vlastních ventilátorů.

že odvod tepla skrze plášť je dostatečný, aby podobná situace jednotku nepoškodila. Avšak energie je opět pouze mařena, a proto by bylo rozhodně vhodné, aby elektronika ovládání dokázala rozpoznat, že ventilátor není v provozu, a články byly automaticky odpojeny.

Třetí situace simulovala mechanickou poruchu vnějšího výměníku, tedy

poškození jeho kotvení na jednotku (utržení či uvolnění přítlačných šrou-

BEZPEČNOSTNÍ SIMULACE

Bezpečnostní simulace byly provedeny pro instalovaný výkon prototypu jednotky, tedy 70 W maximálního chladicího výkonu

Peltierových článků. Při zvýšení výkonu by bylo pochopitelně třeba modely přepočítat s novými parametry.

V první situaci jsme se věnovali možnosti výpadku centrální klimatizační jednotky, tedy situaci, kdy by vzduch okolo vnějších výměníků byl téměř nehybný, zároveň by však (ať už cíleně, nebo nedopatřením) jednotka pracovala na plný chladicí výkon, tedy by došlo k výraznému zahřívání vnějších výměníků. Výsledek lze vidět na obr. 10. Maximální teploty zde dosahují 57,5 °C, což se neblíží limitním hodnotám, a proto není třeba se obávat, že by se jednotka v takové situaci poškodila. Tato situace byla proto také použita pro ověření modelu a měření výsledky simulací potvrdilo.

Druhá testovaná situace počítala s opačným problémem, tedy jednotkou pracující na maximální topný výkon, ale při vypnutí či poruše ventilátoru MKJ - při nulovém tlaku na přívodu vzduchu do jednotky. V této situaci vzniká nebezpečí přehřátí jednotky z důvodu malého odvodu tepla z vnitřních výměníků. Výsledek lze vidět na obr. 11.

Ani za takových podmínek nedošlo k přehřátí jednotky nad stanovenou bezpečnostní mez 90 °C, maximální teplota článku byla 75 °C, což znamená,



Obr. 11 Výsledek výpočtu bez nuceného proudění uvnitř jednotky a plném topném výkonu jednotky; škála označuje teploty ve °C v daném řezu

Fig. 11 Result of calculation for a case without forced air flow inside the unit and full heating output of the unit; the scale indicates temperature in °C in a given cross-section

Obr. 12 Výsledek výpočtu při poruše vněišího výměníku a plném chladicím výkonu (70 W); škála označuje teploty ve °C v daném řezu

Fig. 12 Result of calculation for a case of external heat exchanger failure and full cooling output (70 W); the scale indicates temperature in °C in a given cross-section

14 ▼ 12.3

108

Simulace budov a techniky prostředí – Simulations of Buildings and HVAC Systems

bů) a vznik úzké mezery mezi výměníkem a článkem. Tato situace se ukázala jako potenciálně nebezpečná, teploty na článku stoupají až na 108 °C. Z podobných důvodů bude třeba použít u vnějších i vnitřních výměníků teplotní čidla, která iniciují odpojení systému v případě podobné poruchy. Výsledky simulace jsou vidět na obr. 12.

NÁVRHOVÉ SIMULACE

Cílem první simulace bylo určit požadovaný výkon Peltierových článků pro dosažení konkrétních parametrů chladicího vzduchu. Na základě požadavků pro provoz byla stanovena extrémní požadovaná hranice, tedy výkon, který jednotka nepotřebuje pro dlouhodobý provoz, ale byl by krátkodobě použitelný pro komfort uživatele. Po započítání tepelných ztrát dalšími rozvody byla tato hranice stanovena na teplotní rozdíl 6 °C na výstupu z jednotky při objemovém průtoku 50 m³/h.

Testovány byly čtyři Peltierovy články s postupně rostoucím výkonem 68,8, 85, 100 a 120 W. Nejblíže požadované hodnotě vyšel článek s výkonem 100 W, kde při daném průtoku a vstupní teplotě 23,5 °C byla výstupní teplota 17,5 °C, což je hodnota skutečně velmi blízká stanoveným požadavkům. Simulace ukázala, že při tomto výkonu ne-dochází k přehřívání vnějšího výměníku, který se ustálil na průměrné teplotě 33,4 °C, ale výrazně klesne teplota vnitřního výměníku – na teplotu od 11 do 14 °C. Pokud tuto hodnotu porovnáme s teplotami rosného bodu nasávaného vzduchu naměřenými pod podlahou, zjistíme, že na povrchu výměníku skutečně může nastat kondenzace vlhkosti. Z měřeného období by to bylo průměrně (hodnota je závislá na místě měření) v 10 % sledované doby. Výsledky výpočtu pro Peltierův článek o výkonu 100 W (tedy celého zařízení s výkonem 200 W) jsou vidět na obr. 13.

Druhá návrhová simulace se zabývala možností zlepšit přenos tepla mezi jednotlivými prvky zařízení. V současné verzi jednotky je použita teplovodivá pasta s tepelnou vodivostí 5,6 W/(m·K), a to v tloušťce přibližně 1 mm. Pasta jako taková je velmi dobré kvality, proto jsme se spíše než na změnu materiálu zaměřili na tloušťku vrstvy. Simulace měla za úkol odhadnout, o kolik procent se zvedne výkon jednotky, pokud bychom tuto vrstvu lepším technologickým postupem dokázali snížit na 0,3 mm.

Výkon přenesený z článku přímo do vzduchu se skutečně zvětší, a to z 26,1 W na 27,7 W. To je nárůst o celých 6 % výkonu, což rozhodně není zanedbatelné zlepšení. Z výsledku je tak zřejmé, že se velmi vyplatí dbát na kvalitu provedení jednotlivých spojů.

Třetí návrhová simulace se týkala možnosti zateplit plášť zařízení 5 mm silnou vrstvou tepelně izolačního matriálu (extrudovaný polystyren) a zvýšit tak jeho tepelný odpor z 0,04 ($K \cdot m^2$)/W na 0,15 ($K \cdot m^2$)/W. V tomto případě byl využit režim chlazení, kde původní přenesený výkon byl 27,6 W a zateplením pláště došlo k jeho nárůstu na 29,4 W, tedy o 6,5 % výkonu jednotky.

Poslední experiment testoval využití ventilátorů připevněných k vnějším výměníkům, které by výrazně zvyšovaly jejich účinnost, čímž by byl snížen teplotní rozdíl článků a tedy zvýšena jejich efektivita a schopnost přenést více energie do vnitřního výměníku. Jejich vliv však není tak veliký oproti standardní situaci, v níž už se předpokládá proudění vzduchu. Chlazení výměníků dokáže vylepšit efektivitu článků o 7 %, tedy z 27,6 W na 29,6 W. Rozdíl 2 W není malý, ale pokud vezmeme v úvahu, že ventilátory samy o sobě vyžadují příkon 1,9 W pro provoz, bilance je v podstatě nulová, nehledě na zvýšení hladiny akustického výkonu. Toto řešení tedy není v současném provozu efektivní, bylo by však možné zvážit ho jako prevenci přehřívání, kdyby rychlost okolního vzduchu klesla pod očekávanou hranici.



Obr. 13 Výsledek při využití Peltierova článku o maximálním výkonu 100 W: linie vyznačují izotermy povrchových teplot výměníků s rizikem kondenzace, tedy s teplotou výměníku mezi 8 a 10 °C; první stupnice označuje jednotlivé teploty izoterm ve °C, druhá stupnice pak teploty ve °C v daném řezu

Fig. 13 Result when using a Peltier cell with a maximum output of 100 W: the lines are marking isotherms of surface temperatures of exchangers with a risk of condensation, i.e. with a heat exchanger temperature between 8 and 10 °C; the first scale indicates temperatures of individual isotherms in °C, the second scale the temperature in °C in the given cross-section

APLIKACE VÝSLEDKŮ SIMULACÍ PRO NOVÝ PROTOTYP Jednotky

Po provedených simulacích byl navržen nový prototyp jednotky, který měl lépe splnit návrhové parametry a zlepšit její efektivitu. Pro jeho návrh bylo využito získaných výsledků simulací.

ZABEZPEČENÍ PROVOZU JEDNOTKY

Vzhledem k tomu, že bezpečnostní simulace ukázaly zásadní riziko přehřátí článků při odtržení vnějšího výměníku, design nového prototypu řešil jeho pevnější ukotvení do pláště jednotky. Zatímco původní návrh počítal s kotvením šrouby do vnější stěny o tloušťce 2 mm, nový prototyp zpevňuje plášť poblíž místa kotvení ztužujícím žebrem a kotvicí bod je zesílen na tloušťku 6 mm.

Návrh také počítá s termostatickými vypínači, které rozpojí hlavní okruh Peltierových článků při překročení teploty 75 °C, což by mělo podchytit případné havarijní stavy.

ZMĚNY V NÁVRHU JEDNOTKY

Abychom dosáhli blíže k návrhovým parametrům, bylo upraveno několik součástí MKJ. První úprava se týkala celkového příkonu jednotky. Zatímco původní jednotka využívala dva Peltierovy články, každý o maximálním příkonu 68,8 W, které nebyly schopny zabezpečit požadovanou výstupní teplotu vzduchu, nový prototyp následuje výsledky numerické simulace, která doporučuje dva články o příkonu 100 W. Spolu s Peltierovými články však bylo nezbytné vyměnit i vnější výměníky, protože se ukázalo, že původní typ neodváděl v režimu chlazení dostatek tepla pro efektivní provoz. Na vině byl nedostatečný tepelný tok tepelnými trubicemi, což simulace kvůli zjednodušení nebyla schopna postihnout.

Další změna se týkala využití ventilátorů na vnějších výměnících. Ačkoliv ze simulace vyplynulo, že při návrhových podmínkách je rychlost proudění vzduchu kolem vnějších výměníků dostatečná pro odvod tepla, byly zařazeny jako pojistný prvek pro případ poklesu rychlosti proudění vzduchu v dvojité podlaze – např. při snížení výkonu centrální vzduchotechnické jednotky nebo nestandardním umístění MKJ v prostoru dvojité podlahy. Ventilátory budou řízeny jednoduchým bimetalovým termostatem a sepnou se v případě, že teplota vnějších výměníků přesáhne 45 °C (vzhledem k vyšší produkci tepla než chladu není nutné aktivovat ventilátory při módu vytápění, kdy vnější výměníky odebírají teplo z okolního vzduchu).

Třetí změna, která opět vycházela z výsledků simulace, bylo zlepšení tepelné vodivosti spojů Peltierova článku a obou výměníků. Původní sestava z velké části spoléhala na přenos tepla přes poměrně silnou vrstvu teplovodivé pasty a kvůli nevhodně řešeným spojům nebylo možné dosáhnout dobrého přítlaku na spojích. Nový design jednotky kladl důraz na co nejtenčí vrstvu pasty, a tudíž i dobrý přítlak, který umožnila jak změna kotvení výměníku vnějšího, tak úprava kotvení výměníku vnitřního. Nový prototyp snižuje vrstvu teplovodivé pasty ze zhruba 1 mm na přibližně 0,2–0,3 mm, což prostup tepla významně zlepšuje.

Jediné, co ze simulovaných vylepšení jednotky v novém prototypu nebylo využito, je dodatečná tepelná izolace pláště jednotky, a to kvůli obtížné proveditelnosti a proto, že nový prototyp snižuje vliv této úpravy.

ZÁVĚR

Celkově lze říci, že simulace jednotky přinesla za relativně krátký čas mnoho údajů, které by nebylo možné získat fyzikálním měřením buď proto, že by hrozilo poškození součástí, nebo by měření bylo nákladné. Výsledky simulace byly následně použity při vytváření nového prototypu jednotky.

Byly testovány limitní hodnoty a stavy během poruchy některé ze součástí systému a bylo uskutečněno několik výpočtů zaměřených na optimalizaci samotné jednotky a možnost zvýšit její efektivitu. Z modelovaných variant vychází, že velkou roli (až 6 % výkonu) hraje příliš silná vrstva teplovodivé pasty a možné nedokonalosti na spojích tento vliv jistě ještě prohlubují. Konstrukce nového prototypu tak byla upravena, aby umožnila dobré přítlaky jednotlivých součástí a snížila tak potřebné množství pasty a zlepšila kontakt styčných ploch. I mírné zvýšení tepelného odporu pláště přidáním 5 mm extrudovaného polystyrenu by podle výsledků mohlo přinést zvýšení výkonu až o 6,5 %, při poměrně nízké pořizovací ceně. Ovšem technická proveditelnost takové úpravy u nového prototypu byla vyhodnocena jako příliš komplikovaná vzhledem k možnému zisku. Simulace také ukázala, že instalace ventilátorů

Další omezování fluorovaných uhlovodíků

V říjnu 2016 se stalo rvandské hlavní město Kigali místem dohody 150 států světa o dalším omezení užívání fluorovaných uhlovodíků a chlor-fluorovaných uhlovodíků s cílem ochránit planetu před účinkem skleníkových plynů, které poškozují ozónovou vrstvu. Dohoda vstoupí v účinnost rokem 2020 a týká se milionů chladicích a klimatizačních zařízení s chladivy R11, R12, R22, R404A, R410A, R407, R134a, R507 a dalších s GWP až 4 000. Podle vyjádření ministerstva zahraničí USA se poprvé po montrealském protokolu z roku 1987 naskýtá jedinečná příležitost k odvrácení oteplení Země o půl stupně Celsia. Zvláště cenné je přistoupení Číny a vytvoření kontrolních mechanismů pro sledování dohody jako předpokladu ke snížení spotřeby o 79 % k roku 2030.

Pramen: CCI 12/2016, s. 2

(AB)

na vnější výměníky přinese za standardních návrhových podmínek jen malé zvýšení efektivity zařízení, které je navíc redukováno vlastním příkonem ventilátorů. Ventilátory tak byly namontovány pouze jako pomocné pro případ, že proudění okolo výměníků klesne pod návrhovou mez, nebo bude jednotka nepříznivě umístěna mimo změřené proudy vzduchu. Sepnutí ventilátorů je řízeno podle teploty výměníku.

Kontakt na autora: vojtech.mazanec@cvut.cz

Poděkování: Tato práce vznikla za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. L01605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti. Práce byla zároveň podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS17/015/0HK1/1T/11 a rozvíjí původní příspěvek autorů publikovaný ve sborníku konference Simulace budov a techniky prostředí 2017 konané v Brně [7].

Použité zdroje:

- [1] MELIKOV, A. Advanced air distribution: improving health and comfort while reducing energy us. *Indoor Air.* 2016, 26, 112–124.
- [2] MELIKOV, A. K., CERMAK, R. Protection of occupants from exhaled infectious agents and floor material emissions in rooms with Personalised and underfl oor ventilation. *HVAC & R Research.* 2007, Vol. 13, 1.
- [3] Exhausto A/S. Personalised ventilation [online] [cit. 2016-10-01]. Dostupné z: http://www.exhausto.com/~/media/Global/PDF/Products/broc_PV_GB.ashx
- [4] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. *Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.*
- [5] LICINA, D., MELIKOV, A., SEKHAR, C., THAM, K. W. Human convective boundary layer and its interaction with roomventilation flow. *Indoor Air.* 2014, DOI: 10.1111/ina.12120.
- [6] COMSOL. CFD Module User's Guide. COMSOL, 2014.

SE SERVOPOHONY

MATE REGULACI

POD KONTROLOU

 [7] MAZANEC, V., KABELE, K. Simulace mikroklimatizační jednotky pro systém personalizovaného větrání. In: Simulace budov a techniky prostředí 2016, 9. konference, str. 99–104. ISBN 978-80-270-0772-1.

