Ing. Ondřej ŠIKULA, Ph.D.
VUT v Brně, Fakulta stavební
Ústav technických zařízení budov

Zjednodušené a pokročilé metody návrhu velkoplošných otopných systémů

Simplified and Advanced Methods for Designing Large-Area Heating Systems

Recenzent
Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Autor popisuje jednotlivé matematicko-fyzikální přístupy k řešení sdílení tepla u velkoplošných otopných soustav. Vychází od nejjednodušších 0D a 1D modelů, používaných v praxi, přes 2D model až k CFD metodám (3D model) používaným na univerzitách a hodnotí jejich výhody i nevýhody. Dává tak ucelený přehled o metodách výpočtu tepelně-technického chování velkoplošných převážně sálavých soustav.
Klíčová slova: *vytápění, modely výpočtu, velkoplošné vytápění*

The author describes individual mathematic and physical accesses to the solution of heat transfer at large-area heating systems. He issues from the most simplified 0D and 1D models used in practice, over 2D model up to CFD methods (3D model) used at universities and evaluates their advantages and disadvantages. So he provides the comprehensive summary of methods for calculation of heat and technical behavior of large-area systems, mainly radiation systems.
Key words*: heating, calculation models, large-area heating*

ÚVOD

Tepelný výkon velkoplošných otopných systémů, jejich bezpečné a hygienicky příznivé působení na interní mikroklima závisí převážně na rozložení jejich povrchových teplot. Fyzikální působení velkoplošných otopných systémů na vnitřní klima je poměrně komplikované. Realizuje se zde vedení tepla, proudění a sálání a to vše v trojrozměrném prostoru a v čase. Přesný analytický výpočet těchto mechanismů přenosu tepla je nemožný a je tak nutné vždy přistoupit k určitým zjednodušením. Podle míry zjednodušení je možné rozčlenit modely například na 3D, 2D, 1D a 0D a to časově ustálené či neustálené.

V současné úrovni výpočetní techniky je možné numerickými metodami řešit velmi podrobně trojrozměrné a časově neustálené působení velkoplošných systémů na vnitřní klima.

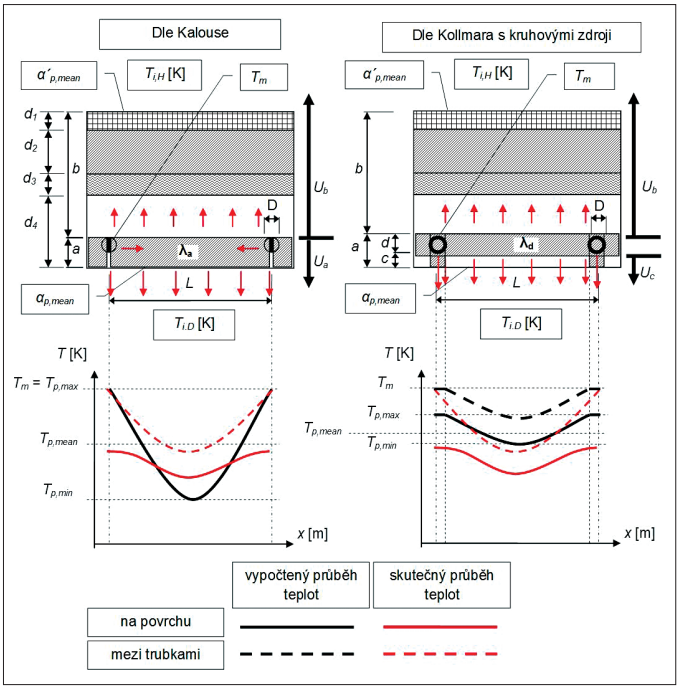
Hlavní náplní článku je prezentovat matematicko-fyzikální modely velkoplošných systémů od těch nejjednodušších – používaných běžně v praxi – až po ty nejkomplexnější a také diskutovat jejich výhody a nevýhody.

0D METODY

Tyto metody jsou založeny na „jednočíslených“ způsobech návrhu a posouzení velkoplošných systémů které vycházejí z tabulkových, či grafických podkladů experimetnálně či teoreticky získaných. Tyto hodnoty (výkonu, teploty, …) platí pouze pro konkrétní geometrické a materiálové řešení konstrukce velkoplošných systémů.

1D METODY

Jednorozměrné metody aplikují při řešení velkoplošných systémů základní fyzikální teorii, avšak za mnoha zjednodušujících předpokladů. Veškeré působení velkoplošných systémů na vytápěnou místnost redukují na výpočet časově ustáleného děje a obvykle pracují s průměrnými povrchovými teplotami. Rozložení povrchové teploty řešil K. Kalous, který použil vztahy pro výpočet vedení tepla v žebru vypracovaného H. Groeberem. Kalous pro výpočet nahradil válcový zdroj (trubku) přímkovým zdrojem (úsečkou) v ose trubky. Dále předpokládal vrstvu mezi trubkami z dobře tepelně vodivého materiálu a uvažoval izolační vrstvu za trubkami, kde by mělo být teplo rozváděno rovnoběžně s povrchem.



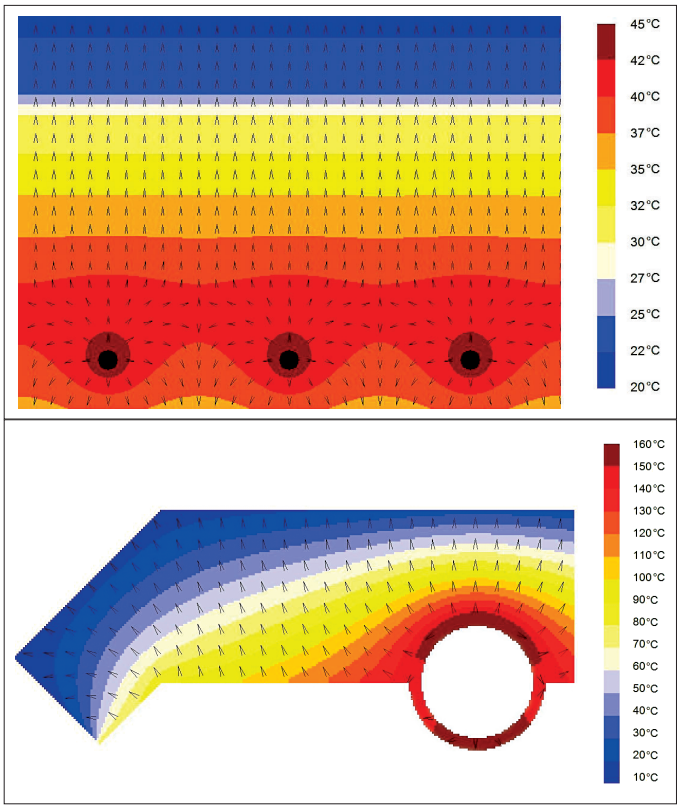
Obr. 1 Principy metod 1D

Základní představa sdílení tepla pro 1D metody je vyobrazena na obr. 1. Tento přístup k modelování velkoplošných systémů byl dále rozvíjen a zpřesňován několika autory viz např. [1], [2], [3], [4] a je často teoretickým základem firemních softwarů.

Ze srovnání s podrobnějšími modely plyne, že 1D modely vykazují určité nepřesnosti při výpočtu povrchových teplot. Zejména při větších osových vzdálenostech – roztečích otopných či chladicích hadů dochází k významným chybám a to zejména v místě pod trubkou. To může například vést k nepřesnému, a tak i nesprávnému vyhodnocení rizika kondenzace vodních par na aktivním povrchu chladicích stropů, nebo maximální povrchové teploty u podlahového vytápění. Podrobněji viz [4].

2D METODY

Jsou založené na časově ustálené, či neustálené numerické simulaci 2D vedení tepla. Přínosem této metody je zpřesnění výpočtu rozložení povr-



Obr. 2 Příklady výstupů 2D metody

chových teplot a tepelných toků v charakteristickém příčném řezu velkoplošného systému. Dále umožní zohlednit ztrátový tepelný výkon do vedlejších místností, exteriéru, či zeminy a to při respektování tepelných mostů, nekruhových tvarů otopného potrubí apod. Typickým způsobem aplikace 2D metody je využití vhodného výpočetního softwaru jako je například software CalA – viz [6]. Časově neustálené simulace jsou možné na ortogonální výpočetní síti metodou kontrolních objemů.

3D METODY

Tato skupina metod zahrnuje nejpokročilejší a nejpodrobnější přístupy založené na metodě CFD (Computational Fluid Dynamic) umožňující zohlednit všechny geometrické vlivy na vedení, přestup a sálání tepla, a to jak při časově ustálených, tak při časově neustálených podmínkách. Umožňují tak jednoznačně odlišit konvekční a sálavý výkon velkoplošných systémů, což umožní jejich optimalizaci. Další předností je možnost výpočtu rozložení všech potřebných fyzikálních parametrů, které velkoplošný systém – a nejen on – vytváří ve vytápěném prostoru. Na základě těchto parametrů pak lze vypočítat a vyhodnotit kritéria tepelného komfortu v souladu např. s [8]. Velmi cenným přínosem této metody je také možnost svázat přenos tepla s hydraulikou otopné vody a získat pro konkrétní případ informaci o jejím ochlazení, tedy o konkrétní dosažené změně teploty teplonosné látky.

VYHODNOCENÍ A DISKUZE

Pro zhodnocení výše naznačených úrovní modelování velkoplošných systémů je třeba zvolit určitá kritéria. Zde bych si dovolil redukovat vše pouze na dvě kritéria. Prvním kritériem je nepřesnost daného modelu/metody postihnout co nejvýstižněji a nejkomplexněji danou problematiku. Druhým kritériem je náročnost dané metody pro uživatele. Toto kritérium vyjadřuje souhrnně náročnost časovou, finanční a také náročnost na specifické odborné znalosti.

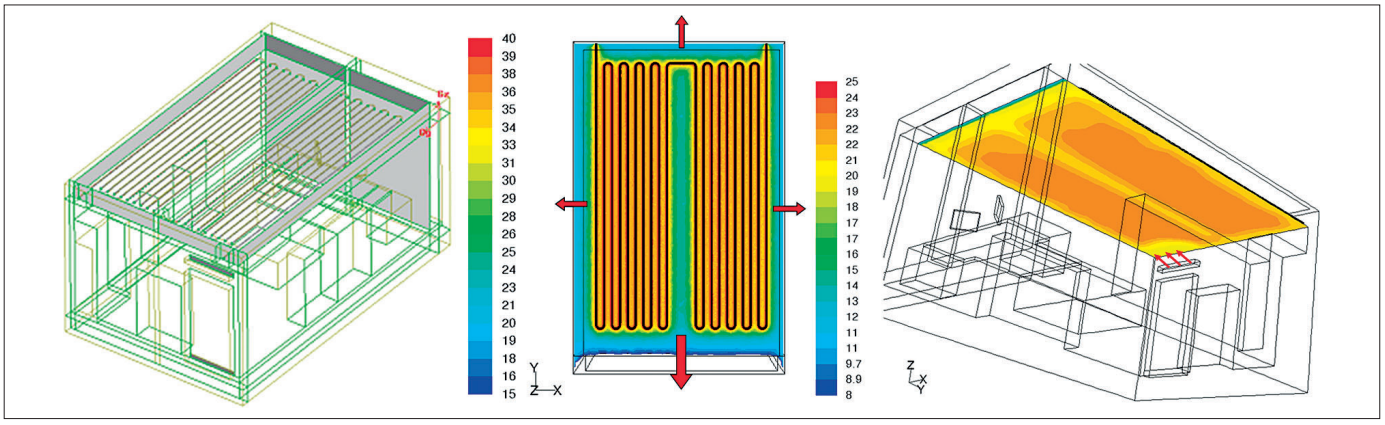
Metody 0D a 1D jsou využitelné pouze pro přibližné stanovení výkonu a střední povrchové teploty v typickém výseku při časově ustáleném sdílení tepla. Vykazují tedy nejvyšší hodnotu kritéria nepřesnosti avšak současně velmi nízkou náročnost.
Modely 2D oproti tomu vykazují znatelně zlepšenou přesnost za znatelně zvýšených nároků na uživatele.
Modely 3D pak dosahují maximální míry přesnosti a to zejména při modelování časově neustálených dějů. Náročnost těchto přístupů je však extrémně vysoká.

Optimální model je tedy ten z obou hledisek nejpřijatelnější. Z tohoto důvodu lze vyloučit 3D modely a doporučit kombinaci modelů 0D a 2D.

ZÁVĚR

Pro běžnou projekční praxi jsou jistě nejpoužívanější ty nejjednodušší metody 0D, případně 1D ve formě samostatného výpočetního softwaru nebo excelovské tabulky. Rizika plynoucí z nepřesností těchto metod jsou projektanty do značné míry eliminována dimenzováním tzv. na stranu „bezpečnou“. Tímto přístupem je možné přivést dostatečný výkon do vytápěné místnosti avšak často nehospodárně, případně za překročení maximální hygienicky přípustně teploty podlahy. Modely 2D a zejména pak časově neustálené jsou vhodným doplňkem těch nejjednodušších metod v geometricky složitějších případech, nebo v situaci, kdy je požadována optimalizace návrhu a především pak provozování velkoplošných systémů. Z hlediska náročnosti jsou zvládnutelné a použitelné širší odbornou veřejností a mohou tvořit vyšší standard navrhování současných projekčních kanceláří.

Modely 3D jsou v současnosti typicky kabinetní záležitostí akademických pracovišť a je možné odhadnout, že tomu tak i nadále ještě minimálně jednu generaci bude.



Obr. 3 Příklady výstupů 3D metody – geometrie, teploty v rovině otopného meandru, teploty na spodním líci stropu

Poděkování: příspěvek vznikl za podpory programu TRVALÁ PROSPERITA národní program výzkumu II., MPOČR kód 2A – 1TP1/119 a specifického výzkumu 2011 na VUT v Brně s číslem FAST-S-11-1.
Kontakt na autora: sikula.o@fce.vutbr.cz

Použité zdroje:

[1] Cihelka, V., Sálavé otopné panely. Praha: SNTL, 1961

[2] Petráš, D., Koudelková, D., Kabele, K., Teplovodní a elektrické podlahové vytápění. Bratislava: Jaga group, 2004. – 216 s. ISBN 80–88905–97–4

[3] Bašta, J., Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. – 328 s. ISBN 80–01–02365–6

[4] Šikula, O., Plášek, J., Konfrontace vybraných metod tepelně-technického návrhu velkoplošných sálavých systémů, příspěvek na konferenci, ISBN 978–80–7204–629–4, Brno: University of Technology, Brno, 2009

[5] Plášek, J., Šikula, O., Petrůjová, H., Modelovanie povrchových teplot sálavých prvkov, príspevek na konferenci Zborník prednášok z 20. konferencie Vnútorná klíma budov 2009, ISBN 978–80–89216–31–4, Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia ZSVTS Bratislava, Bratislava, 2009

[6] Šikula, O., Manuál k softwaru CalA, , ISBN 978–80–7399–879–0, Tribun EU s.r.o., Brno, 2009.

[7] Šikula, O., Plášek, J., CalA 3.2 v 1024, [Výpočetní program]. Verze Beta 3.2. Brno, 2010 http://www.fce.vutbr.cz/TZB/sikula.o/cala_uvod.html

[8] ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu výpočtem ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu, 2006.

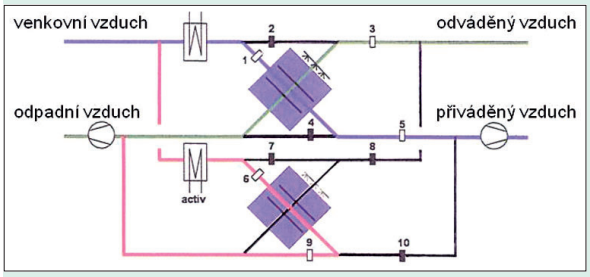
[9] Šikula, O., Podrobný CFD model stropního sálavého vytápění, příspěvek na konferenci Simulace budov a techniky prostředí. Sborník 6. konference IBPSA–CZ, ISBN 978–80–254–8661–0, IBPSA–CZ, Praha, 2010. ■

* „Ecos“ – chlazení přiváděného vzduchu

Fraunhofer-Institut ISE pro solární systémy spolu s firmou Robert Bosch GmbH vyvinuli v rámci výzkumného projektu podporovaného spolkovým ministerstvem hospodářství nové sorpční vzduchotechnické zařízení s průtokem vzduchu do 1000 m^3/h.

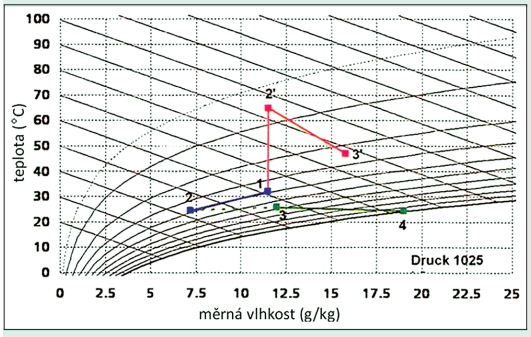
Principem této nové koncepce Ecos (Evaporatively Cooled Sorptive Heat Exchanger, odpařováním chlazený sorpční výměník tepla) jsou dva shodné deskové výměníky tepla vzduch – vzduch, které pracují v pulzním režimu. Strany desek, které obtéká venkovní vzduch jsou opatřeny sorpční vrstvou. Strany desek, které obtéká odváděný vzduch mají hydrofilní povrchovou vrstvu.

Zatím co jeden výměník vychlazuje sorpčním odebíráním vlhkosti venkovního vzduchu na parametry přiváděného vzduchu, druhý výměník se regeneruje odstraňováním vlhkosti ze sorpční vrstvy teplem.



Obr. 1

Na obr. 1 je znázoněna funkce zařízení Ecos se dvěma shodnými výměníky tepla a soustavou klapek, jejímž řízením se překlápí u výměníků vychlazovací funkce na regenerační.



Obr. 2 h-x diagram úpravy vzduchu

Na obr. 2 jsou v h-x diagramu znázorněny následující procesy:

- Vychlazování venkovního vzduchu na parametry přiváděného vzduchu 1→2.
- Dovlhčování odváděného vzduchu na hodnoty odpadního vzduchu 3→4.
- Regenerační proces 1→2´→3´.

Potřebné teplo pro vytěsňování vlhkosti ze sorpční vrstvy je možno získat ze solárních kolektorů nebo otopné soustavy.

Toto nové technické řešení je v počátcích provozního využití, je však možné, že v budoucnu bude běžně vyráběno a využíváno.

CCI 05/2011 *(Le)*

* Vzduchové filtry GEA Delbag certifikovány podle P-Mark

Švédský ústav SP Technical Research Institute, Boras, atestoval firmu GEA Exos Ventilation AB, Enköping, podle vlastního kritéria P-Mark a udělil certifikaci P-Mark ve třídě F7 vzduchovým filtrům GEA Delbag. Laboratoře ústavu totiž zkouší vzduchové filtry dle podmínek Eurovent v prostředí blízkém reálnému provozu po dobu 6 měsíců pro posouzení schopnosti odlučování částic. Podle Eurovent se rovněž zkouší dlouhodobá stálost filtrační schopnosti a vystavuje potřebná dokumentace.

P-Mark, jako certifikát určený původně jen pro švédský trh, získal uznávané renomé jako průkaz kvality podle příslušných norem ale i podle dodatečných zkoušek jako součástí testů. Zkoušení filtrů po dobu 6 měsíců je mimořádně časově náročné a provádí se jinými institucemi jen zřídka.

CCI 05/2010 *(AB)*

* Ziehl-Abegg – 100 let

Přední evropský výrobce motorů, ventilátorů a regulační techniky pro klimatizační a chladírenskou techniku Ziehl-Abegg AG v Künzelsau (Bádensko-Württembersko) oslavil 13. 6. 2010 výročí 100 let od svého založení. Za více než 60 let, od nejhorších roků po 2. světové válce, po znárodnění firmy, sídlící tehdy ve východním Berlíně, docílil v září 2010 nejlepšího měsíčního obratu za celou svou historii. Pro celý rok 2010 očekává obrat 310 mil. €, navzdory krizi větší než ve svém nejlepším roce 2008. Na rekordním obratu se podílí zejména prodej ventilátorů ECblue, nových středotlakých axiálních a průmyslových ventilátorů pro procesní vzduch.

V jubilejním roce vyhlásil Ziehl-Abegg prémii životního prostředí 50 € pro prvních 1000 zákazníků ze zemědělství, kteří nahradí svou zastaralou techniku chlévů a zakoupí si v době od 16. listopadu 2010 frekvenční měnič s integrovaným sinusovým filtrem Fcontrol řad typu FXET, FSET a FTET pro neomezený bezproblémový paralelní provoz motorů bez stíněných přívodů, který umožňuje tichý provoz motoru bez elektromagnetických šumů bez potenciálů nebezpečných pro vinutí a ložiska.

CCI 5/2010 *(AB)*