

# POČÍTAČOVÉ MODELOVÁNÍ TEPELNĚ AKTIVOVANÝCH KONSTRUKCÍ

Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav TZB, Veveří 95, 602 00 Brno, ČR,  
sikula.o@fce.vutbr.cz

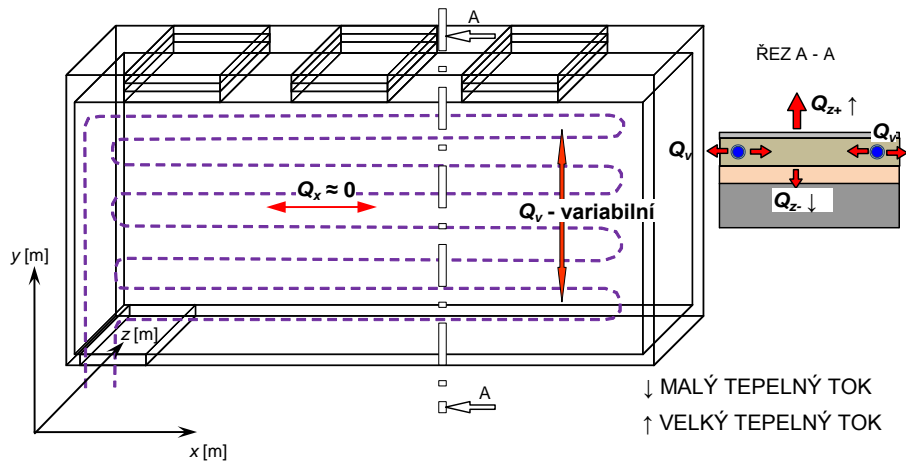
**Abstract:** *The contribution deals with the description of computer design methods of thermally activated structures. A large band of simplifications of mathematical and physical models is shown and discussed. At the end there are some recommendations for practice.*

**Keywords:** *thermally activated structures, numerical models,*

## 1. ÚVOD

Tepelně aktivovanými konstrukcemi jsou myšleny především konstrukce stropní, stěnové a podlahové, tedy systémy velkoplošného vytápění a chlazení. Tepelný výkon velkoplošných 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 a látky 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/neustálené. Hlavní náplní tohoto příspěvku je prezentovat matematicko fyzikální modely velkoplošných systémů od těch nejjednodušších – používaných běžně v praxi – až po ty nejkompexnější a také diskutovat jejich výhody a nevýhody.

Oprávněnost použití zjednodušených modelů bude doložena níže na příkladu podlahového vytápění. Zde je uvažován případ místnosti – například tělocvičny – která má jednu venkovní stěnu, nemá vnitřní vybavení a je vytápěna podlahovým vytápěním – viz obr. 1. Těsnost a kvalitní tepelně-technické vlastnosti zde uvažovaných oken výrazně napomáhají eliminaci vzniku chladných konvekčních proudů vzduchu. Taktéž napomáhají udržet vnitřní povrchovou teplotu zasklení na teplotní úrovni blízké ostatním vnitřním povrchům, čímž je dosaženo i rovnoměrné sálavé složky. Z důvodů absence vnitřního vybavení, a využití celé podlahové plochy k vytápění místnosti, také odpadá riziko vzniku radiačních stínů. V takovéto místnosti je též dosaženo příznivého rozložení teplot po výšce místnosti. Z výše uvedeného vyplývá, že celý prostor je teplotně velmi homogenní. V takovémto případě je pak možno omezit pozornost na dosažení potřebného tepelného výkonu pro eliminaci tepelných ztrát a kontroly nejvýše přípustné teploty podlahy z hygienických důvodů.



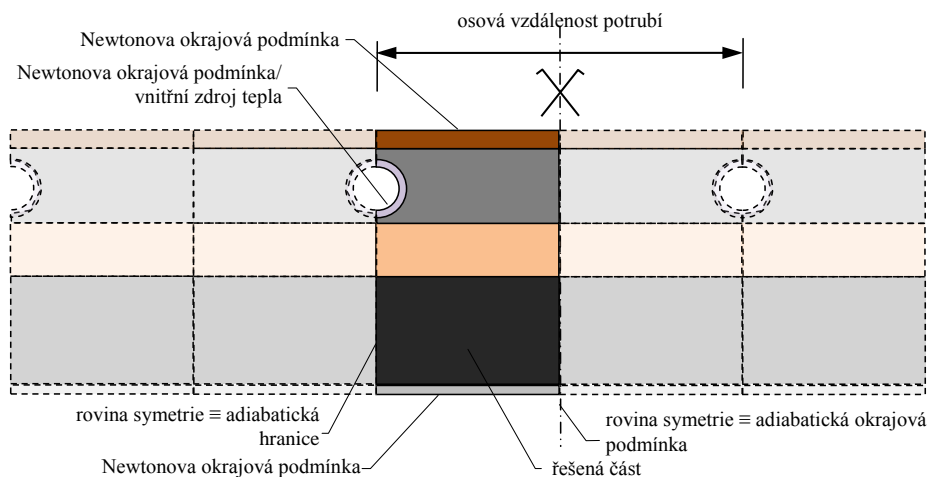
Obr. 1 Schéma sdílení tepla podlahovým vytápěním

Obecně všechny uplatněné mechanismy přenosu tepla tak lze zúžit na vedení s přestupem tepla. V součiniteli přestupu tepla je pak možno postihnout vliv konvekce i tepelného sálání. Samotné vedení tepla je však obecně trojrozměrné a časově neustálené a jeho řešení je poměrně náročné. Ve zvolené místnosti je použit meandrový způsob kladení otopného potrubí, což umožňuje celý problém dále zjednodušit. Předně lze zanedbat tepelný tok sdílený ve směru  $x$ , protože pokles teploty teplotonosné tekutiny bývá relativně malý. Tento teplotní gradient je navíc rozložen po délce místnosti a teplotní gradient je tedy v tomto směru menší než  $0,1 \text{ K/m}$ . Také tepelný tok ve směru  $y$  lze v některých částech konstrukce zanedbat. Jedná se především o tepelný tok na okraji podlahy u vnitřní stěny, případně u stěny venkovní, a to zejména v případech, kdy má dilatační vrstva na okraji TA vrstvy dostatečný tepelný odpor. Naopak tepelný tok ve směru  $y$  mezi trubkami je rozhodně nezanedbatelný a je nutné jej v každém případě podrobně sledovat, protože zásadně ovlivňuje výkon podlahového vytápění a rozložení povrchových teplot. Pro úplnost je třeba dodat, že tento tepelný tok je nulový v polovině rozteče trubek. Rozhodně neopomenutelný je také tepelný tok ve směru  $z$  a to v kladném i záporném směru, i když tepelný tok v záporném směru – zde jde o ztrátový tok – je požadováno udržovat co nejnižší a bývá přibližně pouze  $1/10$  užitečného tepelného toku směrem nahoru. Z výše provedené analýzy tedy plyne oprávněnost redukovat v tomto případě celý komplexní problém na 1D případně 2D vedení tepla, a to časově ustálené či neustálené.

0D metody jsou založeny na „jednočíslených“ způsobech návrhu a posouzení tepelně aktivovaných které vycházejí z tabulkových, či grafických podkladů experimentálně či teoreticky získaných. Tyto hodnoty (výkonu, teploty, ...) platí pouze pro konkrétní geometrické a materiálové řešení tepelně aktivovaných konstrukcí. Aplikuje se zde ČSN EN 1264-2, návrhové grafy, či software.

1D metody pro řešení tepelně aktivovaných konstrukcí aplikují základní fyzikální teorii avšak za mnoha zjednodušujících předpokladů. Veškeré působení tepelně aktivovaných konstrukcí na vytápěnou místnost redukují na výpočet časově ustáleného působení – obvykle průměrné – povrchové teploty. 1D modely vychází z teorie vedení tepla v žeburu vypracovaného H. Groeberem, které se předpokládá mezi trubkami a kde by mělo být teplo rozváděno rovnoběžně s povrchem. Ze srovnání s podrobnějšími modely však vyplývá, že 1D modely vykazují určité nepřesnosti při výpočtu povrchových teplot. Zejména při větších osových vzdálenostech topných či chladicích trubek 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 - podrobněji viz [4].

2D metody jsou založené na časově ustálené, či neustálené numerické simulaci 2D vedení tepla. Přínosem této metody je zpřesnění výpočtu rozložení povrchových teplot a tepelných toků v charakteristickém příčném řezu tepelně aktivované konstrukce. Z důvodu existence řady potrubí se stejnou roztečí je možno najít opakující se geometrické uspořádání a značně redukovat výpočetní pole – viz obr. 2.



Obr. 2 Využití symetrie při 2D modelech

2D metody 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. [5], [6]. Časově neustálené simulace je zde možno provést na ortogonální výpočetní síti metodou kontrolních objemů.

Skupina 3D metod zahrnuje nejpokročilejší a nejpodrobnější přístupy založené na metodě CFD (computational fluid dynamic) umožňující zohlednit všechny geometrické vlivy na vedení proudění a sálání tepla a to jak při časově ustálených, tak při časově neustálených podmínkách. Umožňují tak jednoznačně odlišit konvekční a sálavý výkon tepelně aktivovaných konstrukcí což umožní jejich optimalizaci. Další předností je možnost výpočtu rozložení všech potřebných fyzikálních parametrů, které tepelně aktivované konstrukce – a nejen ty – vytvářejí ve vytápěném prostoru. Na základě těchto parametrů pak lze vypočítat a vyhodnotit kritéria tepelného komfortu v souladu např. s [7]. 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 konkrétním dosaženém teplotním spádu teplotnosné látky.

## 2. VYHODNOCENÍ A DISKUSE

Pro zhodnocení výše naznačených úrovní modelování tepelně aktivovaných konstrukcí je třeba zvolit určitá kritéria. Zde bych si dovolil redukovat vše pouze na dvě kritéria. Prvním kritériem je nepřesnost daného modelu/metody. Druhým kritériem je náročnost dané metody pro uživatele a nutnost použití PC. Toto kritérium vyjadřuje souhrnně náročnost časovou, finanční, a také náročnost na specifické odborné znalosti. (Obr. 1).

Tab. 1 Přehled metod

metoda	výhody	nevýhody
0D	rychlé	neúplné informace, (někdy nutné PC)
1D	znalost průměrné povrchové teploty	nepřesné povrchové teploty, vhodné PC
2D	znalost podrobného rozložení teplot, výkonu a chování v čase	časově náročnější, nutné PC
3D	komplexní metoda	extrémně náročné, nutné PC

Optimální mode je tedy ten z obou hledisek nejpřijatelnější. Z tohoto důvodu lze vyloučit 3D modely a doporučit kombinaci modelů 1D a 2D.

### 3. ZÁVĚR

Pro běžnou projekční praxi jsou jistě nejpoužívanější ty nejjednodušší metody 0D, případně 1D ve formě grafu, 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 nevhodně, případně za překročení maximální hygienicky přípustné 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. Jejich použití je nutné při dimenzování chladicích stropů z důvodu požadavku na přesnou znalost povrchových teplot kvůli riziku kondenzace. Z hlediska náročnosti jsou zvládnutelné a použitelné širší odbornou veřejností a mohou tvořit vyšší standard navrhování současných projekčních kanceláří. Modely 3D jsou vhodné pro vysoce náročné a významné případy tepelně aktivovaných konstrukcí a pro výzkum.

### PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory programu Specifický výzkum 2011 na Vysokém učení technickém v Brně s číslem FAST-S-11-1.

### SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Cihleka, Sálavé otopné panely, SNTL Praha 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] ŠIKULA, O., Manuál k softwaru CalA, , ISBN 978-80-7399-879-0, Tribun EU s.r.o., Brno, 2009
- [6] 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](http://www.fce.vutbr.cz/TZB/sikula.o/cala_uvod.html)
- [7] ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. 2006
- [8] ŠIKULA, O., Zjednodušené a pokročilé metody návrhu velkoplošných otopných systémů, článek v Vytápění, větrání, instalace, ISSN 1210-1389, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2011(04)