

Vysoké Učení Technické v Brně  
Fakulta Informačních Technologií

## IMS projekt

Vytápění budov odpadním teplem ze serverů

Jan Chaloupka (xchalo16)  
Jan Láncoš (xlanco00)

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>2</b>
1.1. Zdroje faktů	3
1.2. Ověření validity	3
<b>2. Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>	<b>4</b>
2.1. Popis použitých postupů	4
2.2. Zdroj použitých postupů	4
<b>3. Koncepce</b>	<b>5</b>
<b>4. Implementace</b>	<b>8</b>
<b>5. Experimenty</b>	<b>9</b>
5.1. Postup experimentování	9
5.2. Dokumentace jednotlivých experimentů	10
5.3. Závěry experimentů	11
<b>6. Závěr</b>	<b>12</b>

# 1. Úvod

V rámci zvoleného tématu jsme se rozhodli zaměřit na odpadní teplo firemních serverů, konkrétně na ověření hypotézy, že je možné jej efektivně využít k vytápění budov.

Intenzivně využívané a výkonné servery potřebují aktivní chlazení. O to se v praxi většinou stará klimatizační jednotka, která excesivní teplo od serverů odebírá a pouští jej ven z budovy. Obzvláště v zimních měsících je však právě teplo v budovách potřeba, například přímo v kancelářích.

Teplo, které server vydává, je vedlejším produktem a přesto je v něj transformována veškerá vstupní energie. Má-li server k výpočetní činnosti pádný důvod a jeho práce se zužitkuje, tohle odpadní teplo provozovatele nic nestojí a využít jej pro další účely potřeby se jeví jako logický krok. Kanceláře s dostatečně výkonnými servery by tak mohly ušetřit značnou část energie potřebné k zimnímu vytápění, či dokonce svými servery topnou sezónu pokrýt úplně. Přesto však tohle zatím není normou.

Pomineme-li fakt, že se za uspořené energie ušetří provozovatel finance využitelné jinde, tento způsob vytápění je šetrnější k přírodě. Méně zbytečného vytápění dnes znamená méně spálených fosilních paliv a potažmo tedy méně oxidu uhličitého ve vzduchu.

Pro již stojící budovy je pravděpodobně přechod na tento styl vytápění příliš nákladná záležitost. Je však bezpochyby možné nové budovy projektovat již s tímto systémem v plánu.

Otázkou však je – vyplatí se investovat do technologií efektivně umožňující tento druh vytápění pro naši plánovanou kancelář, jenž nemá zrovna velkou serverovnu?

Cílem naší simulační studie je tedy na tuto otázku co nejrealističtěji odpovědět každému, kdo o svém budoucím projektu poskytne potřebné údaje, a ověřit obecnou validitu tohoto způsobu vytápění pomocí matematické simulace.

Součástí naší práce je také program provádějící zmíněnou simulaci, a který na základě několika uživatelem specifikovaných vstupních údajů determinuje, zda-li je koncept v daném případě aplikovatelný.

## 1.1. Zdroje faktů

- Tomáš Kašpárek z centra výpočetní techniky FITu, nám poskytl údaje o spotřebě jednotlivých racků serverovny uvnitř budovy Q v areálu VUT FIT.
- Údaje o emisích CO<sub>2</sub> uvolňovaných spalováním jsou převzaté z přílohy č. 6 k vyhlášce číslo 480/2012 Sb. (vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku). **Zdroj:** <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>
- Průměrný součinitel prostupu tepla pláštěm budovy ( $U_{em} = 0.37$ ) vychází z limitu energetické náročnosti pro novostavby od 1. 1. 2015. **Zdroj:** <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/17871-administrativni-budova-oc-fenix-jako-budova-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-stavebne-technicke-reseni>
- Údaje o tepelné kapacitě a hustotě vzduchu. Pro naše potřeby simulace jsou použity konstanty  $c=1000$  a  $\rho=1.200$ . **Zdroj:** <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/38-fyzikalni-hodnoty-pro-suchy-vzduch-pri-tlaku-100-kpa>
- Teplotní statistiky za rok 2018 v místě Brno Židenice. **Zdroj:** <http://www.meteo.jankovic.cz/zaznamy/rok-2018/>

## 1.2. Ověření validity

Nezpochybnitelně ověřit koncept se nám nepodařilo. Kromě článku pojednávajícím o problematice se nám podařilo najít reportáž o panelovém domě, kde podobný systém aktivně využívají, ačkoliv na servery není spoléháno úplně.

- <https://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/11391-vyuziti-odpadnih-o-tepla-z-pocitacu-pro-vytapeni-budovy>
- <https://www.root.cz/clanky/teplo-ze-serveru-muze-ohrivat-vodu-ukazuje-posk-ytovatel-spoje-net/>

Kromě těchto informací jsme se z nespolehlivých zdrojů dozvěděli, že firma WEDOS využívá vlastních serverů k vytápění veškerých svých budov a několika panelových domů v okolí. Naše vlastní práce nám může pomoci rozhodnout, zda je to vůbec teoreticky možné.

Dále jsme se podobná tvrzení dočetli na zahraničních serverech o jiných tamějších firmách.

## 2. Rozbor tématu a použitých metod/technologií

### 2.1. Popis použitých postupů

Vzorec výpočtu změny vnitřní teploty je odvozen z fyzikálního vzorce pro výpočet tepla nutného pro ohřev látky (v našem případě vzduchu):  $Q = c * m * (t_a - t_n)$ . Konstanta  $c$  je vždy stejná, týká se měrné tepelné kapacity vzduchu, která je  $1000 \text{ J}/(\text{kg} * ^\circ\text{C})$ . Rozdíl teploty je rozdílem mezi novou a starou teplotou. Hmotnost vzduchu  $m$  lze získat vzorcem pro výpočet hmotnosti látky  $m = \rho * V$ , kde hustota je  $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$  a potřebujeme znát objem vzduchu počítané budovy. Výsledné teplo je značeno jako  $Q$  a jednotka jsou Jouly (J). Pro naše použití je nutné tento vzorec upravit na tvar  $t_n = t_a + Q/(c * m)$ , abychom mohli dosadit aktuální teplotu, dodané teplo a objem vzduchu v budově.

Dále je třeba výpočet tepla z příkonu topení (kamna/servery). Teplo je čas\*výkon, tedy  $Q_t = P * t$ . Čas je v našem případě délka jednoho kroku simulace (60s) a  $P$  je výkon kamen/serverů. Pro výpočet ztrátového tepla je použit vzorec přestupu tepla přes látku (v našem případě kontaktní plochy domu - zdi, střecha, podlahy, ...)

$Q_z = U_{em} * S * time * \Delta t$ . Vstupem je tedy  $U_{em}$  - součinitel prostupu tepla pláštěm budovy, Obsah pláště domu, čas kroku simulace a rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou. Ze vzorce je patrné že tepelná ztráta je větší, čím větší je rozdíl teplot.

Pro výpočet celkového tepla stačí tyto dvě teplotní síly od sebe odečíst -  $Q = Q_t - Q_z$ . Toto lze dosadit do úvodního vzorce výpočty změny teploty  $t_n = t_a + Q/(c * m)$  a následnou iterací v čase po daném časovém intervalu se aktuální teplota v místnosti mění podle dodávaného výkonu a tepelné ztráty budovy.

### 2.2. Zdroj použitých postupů

- Řešené příklady ze stavební fyziky, šíření tepla konstrukcí, pro ověření správného použití vzorců. **Zdroj:**  
[http://kps.fsv.cvut.cz/file\\_download.php?fid=4767](http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=4767)
- Newtonův vztah pro výpočet přechodu tepla - součinitel přenosu tepla. **Zdroj:**  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99estup\\_tepla](https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99estup_tepla)

### 3. Koncepce

Simuluje se tedy budova specifikovaná předem danými parametry, jejíž vnitřní teplota se v čase mění na základě měnící se teploty venkovní, i na základě teplot, kterých dosahují vnitřní topná tělesa.

Údajů však nemáme na přesnou simulaci dostatek, proto je třeba popsany model logicky zjednodušit.

V první řadě vycházíme z hypotézy, že u většiny kancelářských či průmyslových budov se nevyplácí nechat klesnout přes noc či přes víkend teplotu. Proto také z důvodu zjednodušení výpočtu a eliminace náběžných hran teploty simulujeme v rámci topné sezóny vytápění nepřetržitě. Výlučně denní vytápění by bylo náročné modelovat kvůli specifikaci konkrétních časových intervalů a výsledky by nešly jednoznačně vyhodnotit. Výchozí teplotu budovy určí uživatel (jedná se o stejnou teplotu, ke které bude vytápění budovy cílit).

Interní struktura budovy v modelu není uvažována a předpokládá se prázdný prostor vyplněný vzduchem. Výsledky simulace tohle však ovlivní spíše kladně, neboť budova členěná na místnosti obsahující nábytek zadrží teplo tím spíše, což je naším cílem.

Simulace také zanedbává vytápěcí výkon topných těles - předpokládá se, že topný systém je schopen pojmout jakékoliv množství tepla, celoplošně po celé budově.

Data pro vnější teplotu též nejsou kompletní. Pro každý den je k dispozici pouze teplota v 7:00 ráno, 14:00 odpoledne a 21:00 večer. Pro realističtější a spojitý průběh teploty jsme se rozhodli data proložit pomyslnými úsečkami. Vynechali jsme tím tedy nám známé minimální denní teploty (které jsou narozdíl od těch maximálních pro náš model relevantní), ke kterým většinou došlo pravděpodobně v rámci několika hodin před sedmou hodinou ranní. Většinou se však od teploty v sedm ráno nelišily o více, než 1°C, a takový rozdíl lze v našem modelu dle našeho názoru bezpečně zanedbat.

Teplota serverů může v rámci jednoho dne a případně i v rámci jiných časových úseků fluktuovat. V našem modelu je tento fakt implementován zjednodušeně zadáním průměrného denního výkonu. V rámci dne je navíc možné specifikovat dva různé výkony serveru, jeden při zadané pracovní době, a druhý mimo ni. Pracovní dobu lze specifikovat na přesnost jedné hodiny. Fluktuace výkonu serverů obecně nelze simulovat nijak přesněji; každý případ je jiný.

Veškeré informace o budově jsou tedy objem vnitřního prostoru budovy, obsah všech venkovních ploch budovy vynásobené s průměrným součinitelem přestupu tepla

budovy. Jsou to snadno zjistitelné a k výpočtům vhodné informace. V případě součinitele přestupu tepla platí, že budova v České republice nesmí mít tento koeficient vyšší než 0,37 (Zdroj uveden ve zdrojích faktů). Nezná-li uživatel hodnotu tohoto součinitele, může v rámci opatrnosti předpokládat nejhorší možnou variantu.

Aplikujeme-li všechny výše uvedené omezení, lze matematický model popsat následujícím pseudokódem:

---

```
c = 1000;
m = 1.2 * objem_budovy;
minuta = 60

pro každou minutu topné sezóny:
    když teplota_uvnitř < požadovaná_teplota, tak zapnout topení
    jinak vypnout topení

    když je vypnuté topení tak síla_topení = 0

    tepelný_zisk_topením = síla_topení * minuta

    tepelná_ztráta_budovy = efektivita_budovy * (vnitřní_teplota
-
                                vnější_teplota) * minuta

    vnitřní_teplota = vnitřní_teplota + (tepelný_zisk_topením -
                                tepelná_ztráta_budovy ) / (c * m)
```

---

Vlastní mechanika simulace je tedy cyklus, jenž v jedné iteraci reprezentuje změnu teplot v rámci jedné minuty, dohromady pak celé jedné topné sezóny. V každé iteraci se na základě dostupných údajů aktualizují hodnoty vnější teploty a teploty topných těles. Společně s využitím aktuální teploty interiéru je dále vypočítána nová teplota interiéru, jenž je následně použita v následujícím minutovém cyklu. Tyto vypočítané údaje o vnitřní teplotě jsou zaznamenávány.

Z výsledného průběhu teplot v místnosti lze vyvodit závěry o efektivitě a smysluplnosti testovaného způsobu topení.

Naše simulace současně testuje tři přístupy.

- topení servery samotnými
- topení standardními topnými prostředky

- hybridní přístup, kdy se přídatné topení spustí pouze v případě, kdy servery nestíhají

Před spuštěním těchto běhů je nejprve proveden kalibrační běh, jenž vypočítá vhodný výkon topení pro daný objekt. Prvotní výkon topení je nula, a dokud teplota v místnosti klesá, je výkon topení každou minutu navýšen o 1000 W. S touto hodnotou je poté vykonán zbytek simulačních běhů. V případě hybridního topení je od této hodnoty odečten výkon serverů (přídatné topení není nutné tak silné, pomáhají-li mu servery). Přídatné topení je spuštěno, klesne-li vnitřní teplota více jak 1°C pod požadovanou teplotu a vypne v okamžiku, kdy je tato teplota o 1°C překonána.

Vzhledem k tomu, že vytápění nejde přímo regulovat (neboť je binárního charakteru), je jak využití tepla ze serveru tak vytápění tradičním způsobem spuštěno v případě, že teplota klesne pod požadovanou teplotu, a vypnuto v případě, že ji překoná o více jak 1°C.

Kromě teploty v budově je také zaznamenáván podíl využitého tepla ze serverů (pokud servery přetápí, pro teplo už skutečně není žádné jiné využití a je z budovy vypuštěno) a množství oxidu uhličitého teoreticky vytvořeného tradičním topením.



## 4. Implementace

Program je implementován v C++ za použití standardních knihoven.

Program k funkčnosti potřebuje od uživatele čtyři povinné parametry:

- -t Desetinné číslo určující cílovou teplotu místnosti
- -P Desetinné číslo určující společný výkon serverů
- -V Objem vzduchu budovy/místnosti
- -K Desetinné číslo určující součinitel přestupu tepla ( $\alpha$ ) násobený obsahem všech stěn v kontaktu s vnějším

Nepovinné argumenty (které je však nutné v případě specifikace nočního režimu pro servery zadat všechny):

- -s Celé číslo určující hodinu počátku pracovní doby
- -e Celé číslo určující hodinu konce pracovní doby
- -n Desetinné číslo určující společný výkon serverů mimo pracovní dobu

Na základě těchto informací program provede všechny potřebné výpočty a získaná data uživateli vypíše na standardní výstup. Všechny principy i vzorce jsou v programu identické s modelem popsáním v předchozí kapitole – po kalibračním běhu jsou provedeny tři běhy reprezentující každý jeden přístup k vytápění.

Program následně uživatele informuje, zda by jeho budova šla vytopit pouze servery, jaký výkon topení je v jeho případě vhodný, jaký podíl tepla ze serverů je využit a kolik tun oxidu uhličitého by bylo vytvořeno možnými způsoby vytápění.

Simulaci lze spustit následujícími parametry: (všechny parametry jsou povinné)

```
make run t=<cílová teplota> P=<výkon serveru> K=<Koeficient  
úniku tepla budovy> V=<Objem budovy>
```

- Cílová teplota je termostatem udržovaná teplota budovy ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Výkon serveru je výkon všech serverů v serverovně (W)
- Koeficient úniku tepla budovy je celkový obsah venkovních ploch budovy ( $\text{m}^2$ ) vynásobeno průměrným součinitelem prostupu tepla pláštěm budovy -  $U_{\text{em}}$

Příklad: `make run t=20 P=6000 K=345 V=3600`

## 5. Experimenty

K provádění skutečně praktických experimentů jsme bohužel neměli dostatek spolehlivých dat. Zjistit výkon skutečné serverovny se nám podařilo pouze u instituce VUT FIT v Brně, u které se nám zase nepodařilo zjistit efektivitu budovy. Její architektura je navíc značně složitá.

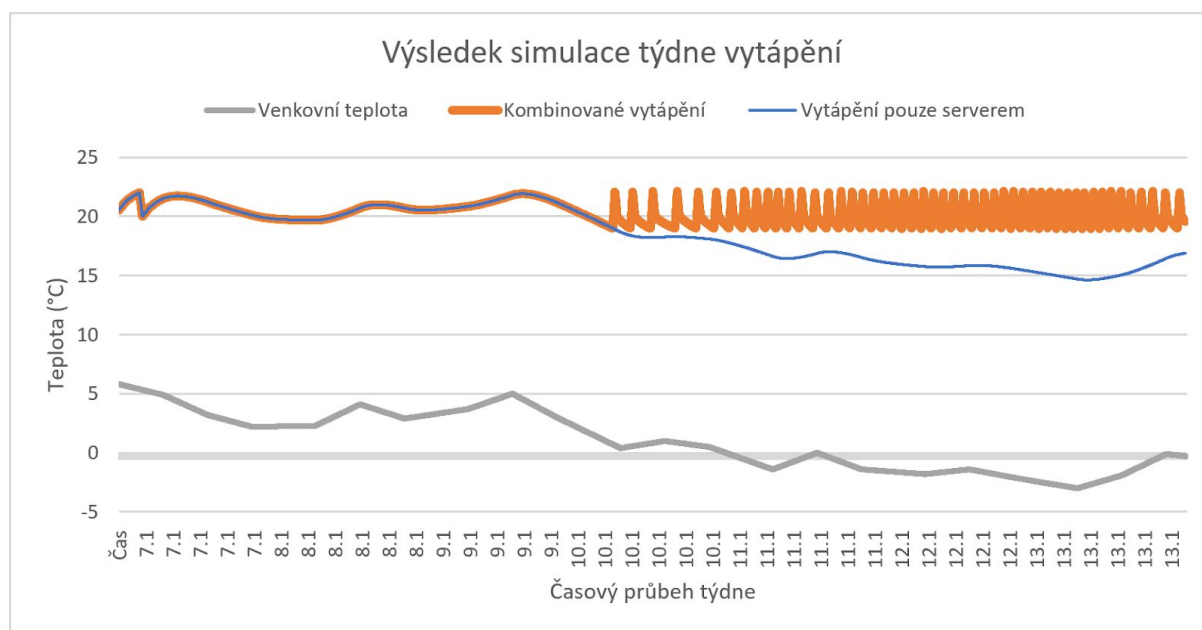
U ostatních firem a institucí, kde se tyto informace zjistit daly a budovy byly méně komplexní byl naopak problém s evidentně nedostatečným výkonem či nedostatkem serverů.

### 5.1. Postup experimentování

Nabízely se nám tedy dva přístupy k experimentům. Na základě informací o budově zjistit, jak výkonná by musela být její serverovna, aby se instalace hybridního/serverového vytápění vyplatila, nebo opačný přístup, na základě výkonu serverovny zjistit, jak velkou budovu (za předpokladu minimálního legálního zateplení) je možno efektivně vytápět.

Samotný postup experimentů tedy probíhal opakovaným vkládáním zjištěných spolehlivých dat a doplňováním ostatních hodnot tak, aby výsledek simulace oznámil úspěšně udržení teploty pouze přičiněním serverů, případně snížení množství vyprodukovaného množství oxidu uhličitého díky hybridnímu topení v takové míře, že by se instalace takového topení vyplatila už jen kvůli životnímu prostředí.

## 5.2. Dokumentace jednotlivých experimentů



Ukázka výstupu dat simulace vytápění kanceláře o objemu 3600 m<sup>3</sup>, kontaktní ploše s venkem 1150 m<sup>2</sup>, koeficientu přestupu tepla 0,37, výkonu serverů 6 kW a požadované teplotě 20°C.

Z grafu je vidět, že jakmile se venkovní teplota dostala do záporných hodnot, servery přestaly vytápění stíhat, a muselo jim pomoci tradiční topení o síle dalších 6 kW.

Simulace dále doporučuje jako vhodný výkon topení pro specifikovanou kancelář 12 kW. Takové topení by však za rok normálního topení vytvořilo 5.19617 t oxidu uhličitého.

Hybridní topení (které je oranžově vyobrazeno v grafu) však vytvořilo pouze 0.933539 t oxidu uhličitého. Přes čtyři tuny tohoto skleníkového plynu tedy bylo ušetřeno!

Odpadního tepla ze serverů bylo tak využito 76%.

V případě VUT FIT a serverovny Q108, která má relativně stálý výkon 52kW by například nebyl problém vytopit budovu o velikosti 50x50x4 metry s minimálním koeficientem přestupu tepla, tedy 0,37, která stojí samostatně. Za rok by se tak ušetřilo 18,4 tun oxidu uhličitého.

V případě firmy otce jednoho z autorů, která stojí samostatně, je kvádrového tvaru a rozměry má 23x10x5 metrů, bylo již na první pohled jasné, že jeden server o maximálním výkonu 100 W jim s vytápěním valně nepomůže.

Předpokládáme-li však minimální zateplení, obdobná firma s jiným zaměřením a větší potřebou výpočetní síly, která má servery s výkonem 12 kW, by s nimi byla schopna topit po celý rok. Pouhé přidání devíti serverů o 100 W k původnímu by snížilo produkci oxidu uhličitého za rok o půl jedné tuny.

Investici do potřebných technologií a cenu za jejich výrobu v podobě dalšího vyprodukovaného oxidu uhličitého to pravděpodobně nevyváží, avšak stavět podobné projekty s pohledem do budoucna stále není od věci.

Každý další hybridně protopený rok množství ušetřených peněz i oxidu uhličitého navyšuje.

### 5.3. Závěry experimentů

Experimentů jsme provedli desítky.

Experimenty však, stejně jako nastudovaná problematika, dle našeho názoru jednoznačně potvrzují, že v určitých institucích je vytápění serverama nejen možné, ale i všestranně prospěšné.

Jakmile firma nevlastní samotný jeden server, ale má tzv. server racky, výkony se nasčítají na čísla hodná bližšího prozkoumání a zvážení dalšího využití.

V případě instituce VUT FIT a tamějších serveroven například není důvod alespoň určité množství místností/učeben servery nevytápět. Výkonu je na to dost.

## 6. Závěr

Vytápění budov pomocí serverů je validní.

Nejsme zdaleka první, kdo s tímto nápadem přišel, podobné systémy jsou již různě po světě nasazeny a přestože se o nich zatím moc nemluví, podle všeho fungují.

Naše simulace tento koncept potvrzuje. Není přesná, ale je založena na základních fyzikálních principech, a výsledná čísla jsou v určitých případech tak velká a jednoznačná, že nepřesnost modelu a různé odchylky platnost modelu dle našeho názoru nevyvrací.

Program, jenž v rámci práce vznikl, by šel použít jako orientační (tedy ne jednoznačně spolehlivý) nástroj pro testování aplikovatelnosti alternativního vytápění budov servery v praxi.