

Ing. Vítězslav CALTA¹⁾
 prof. Ing. Jan TYWONIAK, CSc.¹⁾
 Ing. Kateřina SOJKOVÁ, Ph.D.²⁾
 Ing. Zdenko MALÍK²⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta stavební
²⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky
 efektivních budov

Recenzent
 doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.

Vyhodnocení provozu administrativní budovy Otevřená zahrada v Brně (1. část)

Evaluation of the Operation of the Office Building Open Garden in Brno (1st part)

Příspěvek vyhodnocuje dosavadní provoz administrativní budovy Otevřená zahrada v Brně, která byla navržena v pasivním energetickém standardu a uvedena do provozu v lednu 2013. Po bezmála čtyřech letech provozu byla zjišťována zpětná vazba od uživatelů budovy dotazníkovým průzkumem pro letní a zimní provoz. Byl vyhodnocen tepelný komfort ukazatelem Predicted Mean Vote [1] a individuální připomínky k chování budovy. Dále byl na základě měřených provozních dat sestaven jednoduchý měsíční energetický model, jehož výstupy se následně porovnávaly s měřenými spotřebami energií na vytápění a chlazení. Vypočítaná potřeba tepla na vytápění odpovídá naměřeným hodnotám, avšak výsledky výpočtu potřeby chladu se od naměřených hodnot výrazně liší. Z tohoto důvodu byl podrobněji zkoumán provoz vnějších žaluzií jako aktivního prvku energetické bilance. Experimentální vyhodnocení provozu žaluzií bude obsahem 2. části.

Klíčová slova: energetická náročnost, solární zisky, stínění, žaluzie, tepelná pohoda

The contribution evaluates the existing operation of the Open Garden in Brno, which was designed in a passive energy standard and put into operation in January 2013. After almost four years of operation, feedback from the users of the building was surveyed by questionnaires for summer and winter operation. The thermal comfort of the Predicted Mean Vote [1] and individual feedback on building behavior were evaluated. Furthermore, based on the measured operating data, a simple monthly energy model was constructed, the outputs of which were then compared with the measured energy consumption for heating and cooling. The calculated heat demand for heating corresponds to the measured values, but the results of the calculation of the cooling need differ significantly from the measured values. For this reason, the operation of external blinds as an active element of the energy balance was examined in more detail. Experimental evaluation of blinds operation will be part of the 2nd part.

Keywords: energy intensity, solar gains, shading, blinds, thermal comfort

ÚVOD

Administrativních budov navržených a realizovaných v pasivním standardu na našem území zatím není mnoho. Budova Otevřená zahrada v Údolní ulici č. 33 v Brně je jednou z nich a je navíc vybavena nadstandardním systémem monitorování energií. Článek vyhodnocuje provoz budovy během prvních čtyř let jejího užívání.

Předmět zkoumání, administrativní budova Otevřená zahrada (obr. 1), je součástí komplexu budov Nadace Partnerství a nese označení „C“. Na třech podlažích o užitné podlahové ploše cca 1 000 m² se nachází



Obr. 1 Pohled na VJV fasádu: žaluzie jsou děleny – lamely v cca horní čtvrtině je možné natočit odlišně od zbylé části a umožnit tak difúzní osvětlení interiéru

Fig. 1 View on the ESE facade: divided blinds – the lamellae in the upper quarter can be rotated differently from the rest, thus allowing diffuse illumination of the interior

oddělené kanceláře pro 60 osob, zasedací místnosti, sál pro 60 osob, sloužící i veřejnosti, a příslušné technické a hygienické zázemí. Budova je částečně zasazena do svahu Špilberku. Konstrukce přiléhající k zemině jsou masivní, železobetonové s vnějším zateplením z XPS. Nadzemní obvodový plášť je lehký, dřevěný, skeletový, jednoplášťový s konopnou izolací. Stropy jsou železobetonové s tepelně aktivovaným jádrem. Zelená pochozí střecha plynule navazuje na okolní zahradu (obr. 2). Kanceláře jsou umístěny u hlavní VJV fasády s okenními pásy stíněnými vnějšími žaluziemi (viz obr. 1).

V technické místnosti budovy se nachází čtveřice TČ země/voda, o jmenovitém výkonu 4 × 15,7 kW, sloužící jako zdroj tepla a chladu jak pro



Obr. 2 Pohled na ZSZ fasádu a střechu, přecházející do svahu: vlevo je navazující budova B (šedá), vpravo stromy, stínící VJV fasádu

Fig. 2 View on WNW facade and the roof, merging into hill: building B (grey) adjoining on the left, trees shading ESE facade on the right

hodnocenou budovu („C“), tak i pro sousední budovu komplexu („B“). Větrání budovy je nucené se zpětným získáváním tepla.

V textu je prezentováno vyhodnocení uživatelského komfortu pomocí dotazníkového průzkumu, dále spotřeby energií na vytápění a chlazení a jejich porovnání s výsledky výpočtového modelu a analýza solárních zisků a provozu žaluzií.

SPOKOJENOST UŽIVATELŮ

Energetická náročnost budov souvisí s kvalitou vnitřního prostředí. Pro ověření spokojenosti uživatelů, tepelné pohody a případných nedostatků byly provedeny dva dotazníkové průzkumy kvality vnitřního prostředí mapující zimní a letní období (březen 2014 a září 2016).

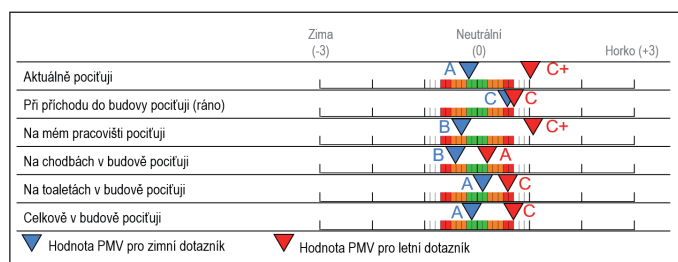
Budovu C využívají čtyři neziskové organizace pro běžnou kancelářskou činnost. Pro všechny organizace jsou kromě kanceláří k dispozici zasedací místnosti, umístěné ve 2. nadzemním podlaží budovy. Přednáškový sál (místnost 2.05) je využíván jak zde sídlícími organizacemi, tak je pronajímán i externě na jednorázové školicí či jiné prezentační akce. Specifikem zde sídlících organizací je jejich profesní vztah k ochraně životního prostředí a udržitelné výstavbě. Toto složení tedy není reprezentativním vzorkem uživatelů kancelářských budov – může se vyznačovat vyšší citlivostí k hospodaření energií v budově a jejímu šetrnému využívání.

Hodnocení tepelné pohody dle ČSN EN ISO 7730 [1]

Hodnocení bylo založeno na slovní stupnici od „zima“ po „horko“ odpovídající číselné stupnici od -3 po +3 s neutrálním názorem 0. Tato stupnice je standardně [1] používána pro vyjádření tepelného komfortu dotazníkovým průzkumem. Z četnosti jednotlivých hodnot je dopočítána hodnota *PMV*. Počet respondentů zimního dotazníku byl 36 osob, letního 22 osob. Vyhodnocení tepelné pohody z dotazníkového průzkumu je znázorněno na obr. 3. Je uvedena kategorie prostředí podle toho, do jakého rozptylu spadá *PMV* dle tabulky A.1 v příloze A [1].

Výsledky zimního průzkumu

Lokální tepelný diskomfort (sálavá asymetrie, průvan apod.) nenastává. Nastavení teploty většinou osob vyhovuje. Z hlediska kvality vzduchu se uživatelé cítí lépe v porovnání s předchozími pracovišti (budovami). Většina (78 %) uživatelů se nicméně vyjádřila, že se jim zdá vzduch „vydýchaný“ a někteří pociťují i zápach (24 %). Problém se špatnou kvalitou vzduchu v ranních hodinách lze přisoudit časové regulaci vzduchotechniky. V případě, že někdo zůstane v kanceláři po obvyklé pracovní době (po 18.00 h), VZT již není v provozu. VZT se opět zapne kolem 7.00 h ráno, ale nestačí během 1 až 2 hodin, kdy již přicházejí první pracovníci, vyvětrat prostor. Z těchto důvodů jsou nuceni si navíc otevřít okna. Okna jsou však otevírána pravidelně i během dne (častěji v letním období), převážně kvůli příjemnému kontaktu s exteriérem – zahradou.



Obr. 3 Vyhodnocení tepelné pohody z dotazníkových průzkumů dle [1]: hodnoty vyšší než 0,7 *PMV* nejsou v normě [1] definovány – jsou označeny symboly C+

Fig. 3 Thermal comfort assessment from questionnaire surveys according to [1]: values higher than 0.7 *PMV* are not defined in standard [1] – they are marked with symbols C+

Výsledky letního průzkumu

Obecně uživatelé v budově pociťují vyšší teploty, než by jim byly příjemné. Tento fakt dokládá hodnota *PMV* v kategorii C či mimo stupnici na obr. 3. Z pohledu lokálního komfortu uživatelé nepociťují chladný tok od vzduchotechniky (82 %). Osálení sluncem – sálavá asymetrie – dělí uživatele na dva přibližně stejně početné tábory (vadí/nevadí) bez neutrální skupiny. Patrně záleží na tom, zda se pracoviště nachází u okna, nebo hlouběji v místnosti.

Při letních teplotních špičkách většina uživatelů (72 %) nepociťuje výrazný chlad od systému chlazení (aktivní stropy nebo vzduchotechnika) v budově. Velká část pracovníků (82 %) si při těchto teplotních špičkách stáhne žaluzie. Z dotazníku vyplývá „uvědomělé“ chování uživatelů, kdy v letních teplotních špičkách neotevírají okna, když je teplota venku vyšší než uvnitř (68 %).

Obvykle si ráno okno otevře 95 % uživatelů, když je po ránu venku chladněji. Dopoledne ho však zavrou (68 % uživatelů). Nejčastěji uváděným důvodem je primárně vyvětrání prostoru po noci, kdy neběží vzduchotechnická jednotka (převzato z individuálních poznámek). Tomu odpovídá i vysoké množství stížností na „vydýchaný vzduch“ (90 %). Na vlhkost vzduchu stížnosti nejsou.

Dalším zjišťovaným prvkem byly vnější žaluzie s dvojitým naklopením lamel (v horní čtvrtině je možné naklopit lamely odlišně od spodní části, což umožňuje i při plném stažení žaluzií a uzavření lamel ve spodní části odrážet světlo na strop a tímto odraženým světlem nepřímo osvětlovat místnost (podrobněji je systém žaluzií popsán např. v [10]). Žaluzie aktivně používá 90 % respondentů. Převážným důvodem (85 %) je oslnění monitoru. Efekt odrazu světla na strop cíleně používá jen cca polovina (52 %) uživatelů. 85 % osob uvedlo, že používají žaluzie aktivně, tj. pokud pomine důvod (oslnění apod.), vytáhnou je.

Výsledky celkové spokojenosti

Jako zdroj rušivého hluku v budově uvádějí nájemci kanceláří ve 2. a 3. nadzemním podlaží časté exkurze a návštěvníky přednáškového sálu. Technická zařízení, zejména vzduchotechnika, nejsou v kancelářích rušivým elementem. Stížnosti na hlučnost vzduchotechniky byly pouze ojedinělé, a to na „pískání“ přefukovaného vzduchu pod dveřmi na chodbu, kde je odsáván.

Vzhledem k hloubce místností a rozměrům oken jsou všechna pracoviště dostatečně osvětlena denním světlem. Pro regulaci oslnění od denního světla uživatelé využívají manuální nastavení žaluzií. Automatické sjíždění/vyjíždění žaluzií je terčem časté kritiky (podrobněji se tomuto tématu věnuje 2. část článku).

Umělé osvětlení, zajišťované liniovými zářivkami, plně vyhovuje, resp. uživatelé si nestěžují. Možnost regulace výkonu zářivek (stmívání) v kancelářích je dle dotazníků málo využívána. Automatické vypínání osvětlení, pokud pohybové čidlo nezaznamená pohyb déle než 30 minut, je však vnímáno negativně. Zajímavým výstupem je fakt, že od jednoho uživatele je připomínkováno zhruba stejné množství nedostatků jako od zbylých 35 respondentů.

ENERGETICKÁ NÁROČNOST

Po celou dobu provozu budovy jsou monitorovány spotřeby energie na vytápění, chlazení, spotřeba elektřiny uživatelské, na osvětlení, větrání, provoz tepelných čerpadel a další. Od zavedení systému Lucid [2] jsou některé údaje veřejně živě publikovány na webu organizace [3]. Pro vyhodnocení provozu budovy byla použita data ze systému MaR. Byl sestaven jednoduchý měsíční výpočetní model dle ČSN EN ISO 13 790

Tab. 1 Souhrn vstupních údajů pro výpočetní modely

Tab. 1 Summary of input data for computational models

Data / Zdroj dat	Model
Geometrie budovy	Dle skutečného stavu.
Součinitele prostupu tepla obalových konstrukcí a tepelný tok prostupem	Vypočítaný, skladby dle projektové dokumentace.
Intenzita větrání a měrný tepelný tok větráním	Pro VZT jednotky nejsou měřeny průtoky, jen doba provozu a stupeň výkonu ventilátorů (0–100 %). Interním výpočtem a odhadem byl dopočítán průměrný objemový tok přes VZT jednotku se zpětným získáváním tepla. Objemový tok přirozeným větráním: je uvažován efekt otevírání oken vč. zahrnutí zvýšené výměny přirozeným větráním v teplejších měsících (jaro až podzim).
Vnitřní zisky od osob	Stanoveny interním výpočtem dle předpokládané obsazenosti na základě hodinových profilů, sestavených dle dotazníkového průzkumu doby užívání budovy.
Vnitřní zisky od vybavení	Pro kancelářské spotřebiče (PC, kopírka apod.) jsou měřeny jmenovité příkony a násobeny hodinovými profily obsazenosti. Pro osvětlení obdobně. Pro serverovnu jsou využity přímé měřené spotřeby zařízení v serverovně. Souhrnné vnitřní zisky od spotřebičů a osvětlení jsou porovnány a kalibrovány se spotřebou elektrické energie, měřenou elektroměrem. Není instalováno oddělené měření dílčích okruhů (osvětlení/zásuvky apod.).
Průměrné měsíční hodnoty teploty venkovního vzduchu	Dle průměrných měsíčních teplot ČHMÚ pro Brno [6].
Data o solárním záření	Měřené globální sluneční ozáření pyranometrem ve stanici TUBO [5] na budově Fakulty stavební VUT v Brně, cca 1 km od budovy C. Ozáření je převedené na orientaci a svislou rovinu pro JV a SZ fasádu. Měsíční úhrnné hodnoty slunečního ozáření.

[4] s okrajovými podmínkami co nejbližší skutečnosti. Vstupní data do modelu jsou popsána v tab. 1.

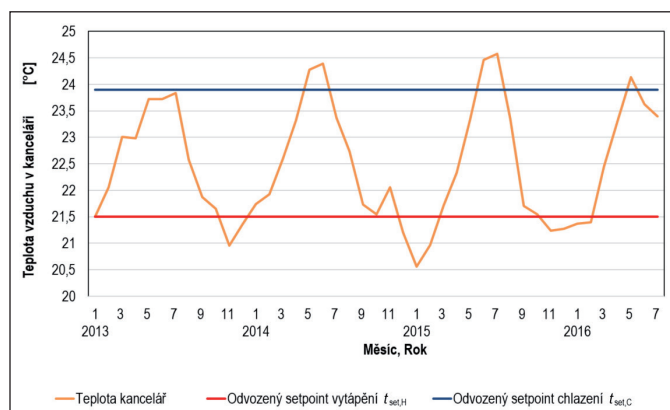
Solární zisky

Vliv stínících překážek (okolní zástavba, stromy, terén) byl zahrnut podrobně, dle detailního hodinového výpočtu v programu Designbuilder [9]. Vliv žaluzií byl zahrnut rámcově. Dobu (resp. podíl energie), kdy jsou žaluzie zataženy, určuje činitel $f_{sh,with}$ (podrobněji v 2. části článku). Odvození časového podílu žaluzií $f_{sh,with}$ bylo pro první bilanční výpočty provedeno na základě hodinových dat, získaných ze stanice TUBO [5]. Celková propustnost sluneční energie zasklení ve směru normály bez žaluzií byla uvažována $g_{gl,n} = 0,50$, po korekci na průměrný úhel dopadu během roku $g_{gl} = 0,9 \cdot 0,50 = 0,45$. Jsou-li stínící prvky aktivovány, je uvažována orientačně propustnost $g_{gl+sh} = 0,25 \cdot 0,45 = 0,11$. Je uvažováno, že horní čtvrtina lamel (viz obr. 1) je plně solárně propustná, zatímco zbylé dolní ¾ lamel zcela nepropustné. Stanovení g_{gl+sh} podrobněji řeší norma [11].

Užívání budovy

Obvyklý začátek pracovní doby je mezi 8 až 9 hodinou, konec bývá mezi 17 až 18 hodinou. Toto potvrzuje i detailní měření spotřeby elektrické energie pro kanceláře. Pracovními dny jsou pondělí až pátek, o sobotách a nedělích je budova užívána pouze výjimečně.

Provoz zasedacích místností ve 2. nadzemním podlaží a přednáškového sálu je nárazový. Byla uvažována průměrná obsazenost 10 osob po stejnou dobu jako provoz kanceláří.



Obr. 4 Průběh teploty vzduchu v kanceláři 2.10 použité pro odvození „setpointu“ vytápění a chlazení do výpočtového modelu

Fig. 4 Air temperature course in office 2.10 used to derive the „set point“ for heating and cooling in the computational model

Teploty vnitřního vzduchu

Teploty vnitřního vzduchu pro celou budovu byly odvozeny z dat naměřených systémem MaR v charakteristické kanceláři 2.10 ve 2. nadzemním podlaží. Průběh teploty vzduchu v této místnosti během hodnocených čtyř let provozu je zachycen na obr. 4. Na základě tohoto průběhu byly odvozeny setpointy vytápění a chlazení pro výpočty jako $t_{set,H} = 21,5 \text{ °C}$ pro vytápění (stanoven jako aritmetický průměr za období říjen až březen) a $t_{set,C} = 23,9 \text{ °C}$ pro chlazení (analogicky pro červen až srpen).

Průběhy teplot vzduchu naměřené v místnosti 2.10 ukazují nízkou proměnlivost. Teploty o víkendech v zimním období zpravidla neklesnou pod 20 °C . Tlumený provoz vytápění ani chlazení nejsou použity.

Větrání

V měsíční energetické bilanci jsou uvažovány denní profily nuceného i přirozeného větrání, odpovídající době pobytu osob.

Nucené větrání

V budově jsou instalovány 2 větrací jednotky se zpětným získáváním tepla. Hlavní jednotka je umístěna v technické místnosti a zásobuje čerstvým vzduchem kanceláře, společné prostory vč. kuchyně a toalet administrativy a sál. Zpětné získávání tepla zajišťuje rotační výměník. Dále je jednotka vybavena dohříváčem a chladičem, napojenými na zdroj tepla/chlady v budově. Vzduch za výměníkem ZZT je dohříván/dochlazen tak, aby měl na výstupu teplotu mezi 20 až 26 °C .

Podružná jednotka je umístěna na toaletách ve 3. nadzemním podlaží za sálem a je určena jen k větrání toalet a zázemí sálu. Jedná se o kompaktní jednotku s křížovým rekuperačním výměníkem.

Obě VZT jednotky jsou v provozu od cca 7.00 do 18.00 hodin. Kanceláře jsou větrány po celou tuto dobu konstantním průtokem. Zasedací místnosti a sál se od července 2014 regulují manuálně buď správcem budovy, nebo tlačítky u dveří na 20, 40, 80 nebo 100 % průtoku. Do června 2014 byly tyto místnosti bez regulace průtoku, tj. větrány na 100 %.

Celkový průměrný průtok jednotkami nuceného větrání je uvažován $1\,245 \text{ m}^3/\text{h}$. Hodnota je odvozena na základě projekčního předpokladu návrhových průtoků a doby provozu VZT jednotek. Sezónní účinnost zpětného získávání tepla vycházející z měření rozdílu teplot na výměníku ZZT systémem MaR (měřeno pouze citelné teplo) činí v zimním období cca 70 %.

Přirozené větrání a zahrnutí vlivu otevírání oken

Z individuálních připomínek v dotazníku vyplývá, že uživatelé obvykle otevírají okna ráno, protože se jim zdá vzduch „vydýchaný“. Jsou-li teploty venkovního vzduchu blízké 20 °C (zejména na jaře, ale i v létě), uživatelé rádi otevírají okna i během dne. Celkový objemový průtok přirozeným větráním $\dot{V}_{nat,b}$ včetně zahrnutí obsazenosti a předpokládaného zvýšeného větrání v letních měsících je uvažován následujícím vztahem:

$$\dot{V}_{nat,b} = n_b f_{w,b} f_{t,b} V \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1)$$

kde je:

- n_b uvažovaná intenzita větrání, hodnota 0,2 h⁻¹ byla stanovena odborným odhadem,
- V objem místností s okny, kde se uvažuje přirozené větrání, tj. kanceláře, zasedací místnosti a chodby [m³],
- $f_{w,b}$ týdenní součinitel, vyjadřuje poměrnou dobu pobytu osob za týden (uvažován týdenní cyklus, zohlednění víkendů) [h/h],
- $f_{t,b}$ teplotní součinitel zavedený autorem, který vyjadřuje zvýšenou intenzitu přirozeného větrání, jsou-li si blízké venkovní a vnitřní teploty.

Teplotní součinitel $f_{t,b}$ je určen vlastním odhadem dle rovnice (2):

$$f_{t,b} = 0,3 \left(2 + \sqrt{10 \frac{|t_i - t_e|}{|t_i|}} \right) \quad [-] \quad (2)$$

kde t_i , t_e jsou průměrné měsíční teploty vzduchu v interiéru, resp. exteriéru [°C].

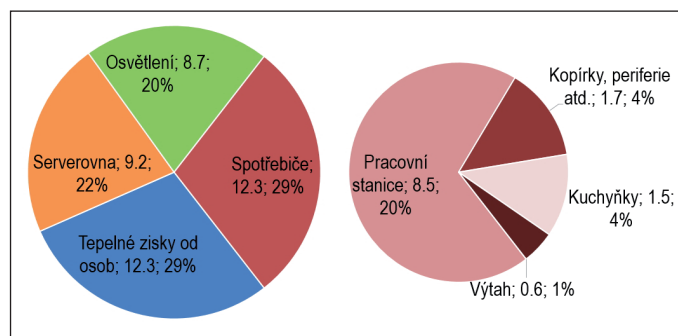
Součinitel $f_{t,b}$ nabývá přibližně hodnot od 0,8 (zima) po 1,4 (léto) a snaží se zohlednit větší četnost otevírání oken v teplejším počasí. Výsledný průtok vzduchu při přirozeném větrání $\dot{V}_{nat,b}$ tak nabývá hodnot od 100 do 170 m³/h (odpovídá pro celou budovu $n = 0,03$ až 0,06 h⁻¹).

Průtok vzduchu infiltrací je vzhledem k vysoké vzduchotěsnosti budovy (naměřená hodnota $n_{50} = 0,52$ h⁻¹) minimální a dle odstavce C.3 ČSN EN 13 789 [7] je vypočítán jako 13 m³/h.

Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky jsou uvažovány od osob, kancelářských spotřebičů (PC sestavy, kopírky, ostatní vybavení kanceláří atd.), vybavení v kuchyňkách, spotřebičů v serverovně a osvětlení. Pro sestavení energetického modelu, který má odpovídat reálnému provozu budovy, bylo třeba co nejvěrohodněji popsat vnitřní provoz budovy.

Vnitřní zisky od spotřebičů jsou odvozeny z měřené spotřeby elektřiny.



Obr. 5 Poměrné zastoupení jednotlivých kategorií na vnitřních tepelných ziscích (vlevo) a podíl jednotlivých zdrojů v kategorii „spotřebiče“ (vpravo); hodnoty jsou uvedeny v MWh/rok a %

Fig. 5 Proportion of particular categories on internal heat gains (left) and ratio of particular sources in the category „appliances“ (right); values are given in MWh/year and %

Okruh serverovny je měřen samostatně. Uživatelská elektřina (spotřebiče v kancelářích a kuchyňkách) a osvětlení jsou měřeny dohromady; část osvětlení je navíc měřena společně s nouzovými okruhy elektronické požární signalizace. Měření systémem MaR bylo proto doplněno krátkodobým měřením příkonů vybavení vybrané kanceláře: příkon typické pracovní stanice (stolní PC + 22“ monitor) činil průměrně 55 W, příkon kopírovacího stroje průměrně 148 W a příkon typického zářivkového svítidla 7 až 40 W (v závislosti na regulaci intenzity osvětlení). Z naměřených údajů byly sestaveny hodinové profily užívání jednotlivých spotřebičů tak, aby suma energie na spotřebiče a osvětlení v každém měsíci přibližně odpovídala spotřebě elektřiny naměřené systémem MaR.

Vnitřní tepelné zisky od osob jsou stanoveny na základě obsazenosti. Obsazenost je odvozena z dotazníkového průzkumu a informací od správce budovy. Maximální obsazenost kanceláří je 60 osob. Skutečná průměrná denní obsazenost rezidenty v kancelářích je nižší, cca 45 osob (dle dotazníkového průzkumu). Ve výpočtu je uvažována průměrná obsazenost budovy v pracovní době 55 osob (45 osob kanceláře + 10 osob sál). Tepelný zisk od jedné osoby je uvažován hodnotou 80 W.

Průměrné vnitřní tepelné zisky pro jednotlivé měsíce jsou použity jako vstupní údaj pro měsíční energetickou bilanci tepla a chladu. Rozdělení tepelných zisků je zobrazeno na obr. 5.

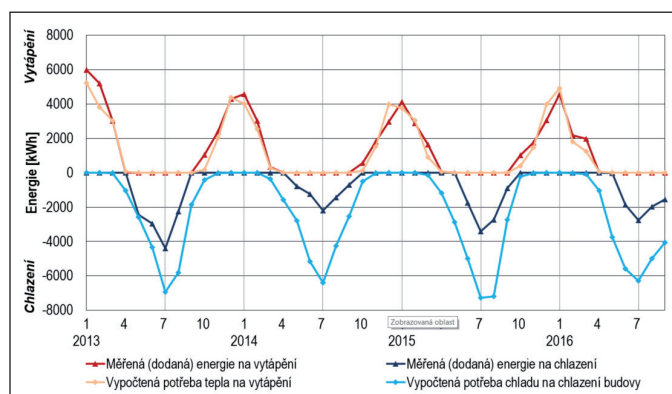
Potřeba versus spotřeba energie

Měření potřeby energie na vytápění a chlazení je nerealizovatelné. Měřená hodnota vždy bude obsahovat vliv účinnosti technického zařízení. V předmětné budově se energie na vytápění/chlazení měří kalorimetry na patě jednotlivých větví (VZT, aktivované stropy, podlahové vytápění – prakticky nepoužívané), umístěných v technické místnosti. Ztráta na distribuci mezi kalorimetry a prvky sdílení energie je zanedbávána. V hodnotách měřených kalorimetry je zahrnuta potřeba energie a energetické ztráty sdílením. Účinnost sdílení tepla a chladu souvisí mj. s pružností otopné/chladičské soustavy a schopností její regulace. V tomto článku je účinnost sdílení zahrnuta do setpointu vytápění/chlazení, viz předchozí část. Měřené hodnoty na kalorimetrech jsou tedy přímo porovnávány s výpočtovou potřebou energie na vytápění/chlazení.

Dále je měřena spotřeba elektrické energie zdroji, tj. tepelnými čerpadly, a jejich dodávka tepelné energie. Z toho je orientačně stanovena účinnost rozvodu a účinnost tepelných čerpadel, viz dále.

Výsledky bilančního měsíčního výpočtu a porovnání s měřenými spotřebami

Celá budova je ve výpočtu uvažována jako jedna zóna. Výsledné potřeby energií pro jednotlivé varianty výpočtu jsou znázorněny na obr. 6, dopl-



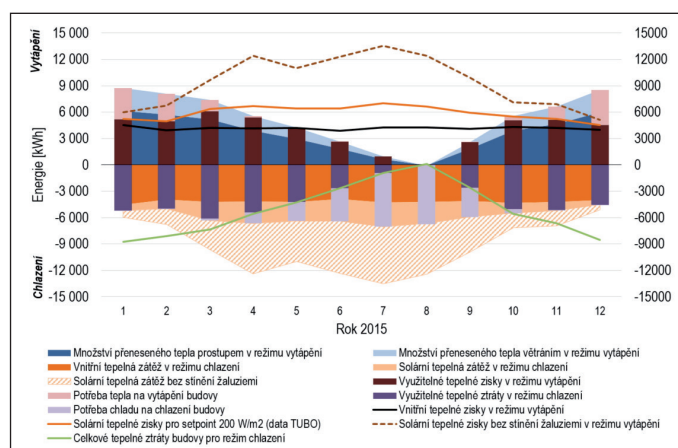
Obr. 6 Graf měsíčních potřeb energií na vytápění a chlazení pro výpočetní modely a jejich porovnání s měřenými údaji z kalorimetrů

Fig. 6 Graph of monthly energy needs for heating and cooling for computational models and their comparison with data measured by calorimeters

něné měřeními údaji z kalorimetrů. Vypočítané hodnoty potřeby tepla na vytápění přibližně odpovídají měřeným hodnotám. Pro režim chlazení však výpočetní model dává výrazně vyšší potřeby energie na chlazení, než jsou reálné měřené hodnoty.

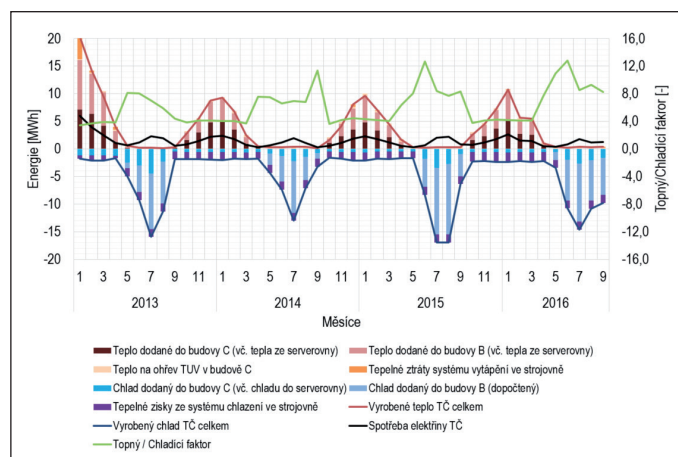
Obr. 7 zobrazuje měsíční bilance tepelných ztrát a využitelných tepelných zisků, resp. tepelných zisků a využitelných tepelných ztrát (údaje pro vybraný rok 2015). V grafu jsou zobrazeny solární zisky bez stínění, tak i redukované solární zisky při uvažování stínění žaluziemi, přesáhne-li dopadající sluneční záření 200 W/m². Podrobněji o vlivu solárních zisků pojednává 2. část článku.

Poznámka: Vybavení serverovny je největší vnitřní tepelný zisk a je chlazeno celoročně. Ve výpočtu je jednoduše uvažováno jako vnitřní zisk. Systémem MaR je tento zisk měřen 2×. Poprvé kalorimetrem jako dodaný chlad (odebrané teplo). Podruhé, je-li v budově po teple poptávka, je měřen kalorimetrem vytápění jako zpětně dodané teplo přes soustavu TČ. Pro potřeby porovnání s výpočtovým modelem je proto v měsících, kdy se vytápí, od měřené energie na vytápění odečtena energie odebraná ze serverovny. Obdobně u měřené energie na chlazení se pro kalorimetr u serverovny za odebranou energii považuje pouze ta, která není do budovy zpět vrácena (tj. v měsících, kdy se nevytápí).



Obr. 7 Měsíční bilance energií a potřeby energie na vytápění a chlazení pro vybraný rok 2015

Fig. 7 Monthly balance of energy and energy needs for heating and cooling in the selected year 2015



Obr. 8 Dodávka tepla a chladu z TČ, teplo a chlad dodané do budovy B a C a topný/chladicí faktor

Fig. 8 Supply of heat and cold from the HP, heat and cold supplied to buildings B and C and heating/cooling factors

Tab. 2 Souhrn hlavních parametrů a porovnání měřených dat s výsledky energetických výpočtů

Tab. 2 Summary of the main characteristics and comparison of the measured data with the results of the energy calculations

Parametr	Projektový předpoklad ¹⁾	Realita	Modelovaná varianta
Celková energeticky vztažná plocha z vnějších rozměrů [m ²]	1 221 ²⁾	1 221 ²⁾	1 221 ²⁾
Celková podlahová plocha (z celkových vnitřních rozměrů) [m ²]	959 ¹⁾	1 040 ²⁾	1 040 ²⁾
Objem budovy (z vnějších rozměrů) [m ³]	4 560	-	4 593
Plocha teplosměnné obálky budovy [m ²]	2 143	-	2 070
Objemový faktor tvaru A/V [m ² /m ³]	0,47	-	0,45
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	0,209	-	0,210
Měrný tepelný tok prostupem tepla H_T [W/K]	445,2	-	436
Měrný tepelný tok větráním H_V [W/K]	82,4	-	188
Setpoint vytápění $t_{set,H}$ [°C]	21	-	21,5
Setpoint chlazení $t_{set,C}$ [°C]	28	-	23,9
Teploty venkovního vzduchu – zdroj dat	dle [8]	-	dle [6]
Solární data – zdroj dat	Dle [8]	-	Stanice TUBO [5]
Průměrné vnitřní tepelné zisky (vztažené na podlahovou plochu z celkových vnitřních rozměrů) [W/m ²]	4,1	-	5,5
Časová konstanta zóny [h]	139	-	114 ³⁾
Režim vytápění			
Roční potřeba energie na vytápění [MWh/rok]	7,1	16,2	16,1
Měrná roční potřeba energie na vytápění ⁶⁾ [kWh/(m ² ·rok)]	7,0	13,3	13,2
Spotřebovaná elektrická energie na provoz TČ pro režim vytápění [MWh/rok] ⁴⁾	-	4,1	4,0
Spotřeba neobnovitelné primární energie na provoz TČ pro režim vytápění [MWh/rok] ⁵⁾	-	12,3	12,0
Měrná neobnovitelná primární energie na provoz TČ pro režim vytápění [kWh/(m ² ·rok)] ^{5),6)}	-	10,0	9,8
Režim chlazení			
Roční potřeba energie na chlazení [MWh/rok]	18,8	8,9	22,4
Měrná roční potřeba energie na chlazení ⁶⁾ [kWh/(m ² ·rok)]	18,4	7,2	18,3
Spotřebovaná elektrická energie na provoz TČ pro režim chlazení [MWh/rok] ⁷⁾	-	1,1	2,8
Spotřeba neobnovitelné primární energie na provoz TČ pro režim chlazení [MWh/rok] ⁷⁾	-	3,3	8,4
Měrná neobnovitelná primární energie na provoz TČ pro režim chlazení [kWh/(m ² ·rok)] ^{6),7)}	-	2,7	6,9

¹⁾ Stavebně energetická studie [8], ve studii nebylo uvažováno s recepcí.

²⁾ Plocha sálu započítána pouze ve 2. nadzemním podlaží, tj. celkem 1×.

³⁾ Vypočítána orientačně jako 260 kJ/(m²·K) × celková vnitřní podlahová plocha.

⁴⁾ Stanovená orientačně jako spotřeba tepla na vytápění/topný faktor pro otopnou sezónu, tj. 4,0.

⁵⁾ Faktor neobnovitelné primární energie uvažován hodnotou 3,0 pro elektrickou energii.

⁶⁾ Vztaženo na celkovou energeticky vztažnou plochu 1 221 m².

⁷⁾ Stanovená orientačně jako spotřeba energie na chlazení/průměrný chladicí faktor pro režim chlazení, tj. 8,0.

Zdroj tepla a chladu – tepelná čerpadla

TČ napájejí 600litrové zásobníky tepla a chladu (pro budovu B a C) a 300litrový zásobník teplé vody pro budovu C. Z akumulčních zásobníků se odděluje soustava pro budovu B, která je měřena samostatně. Pro budovu C se okruh vytápění a chlazení dělí na VZT jednotku a teplovodní vytápění/chlazení do jednotlivých okruhů ve stropech. Každý jednotlivý okruh je měřen samostatným kalorimetrem. Teplotní rozdíl mezi přívodem a vratným potrubím je obvykle velmi malý – i při nejvyšším výkonu do několika stupňů, obvykle se však pohybuje v rozdílu několika desetín stupně. Vzniká tak relativně velká chyba na kalorimetru. To byl případ kalorimetru chladu pro budovu B, který byl opakovaně kalibrován, a přesto udává nedůvěryhodné výsledky. Část chladu dodaného do budovy B tedy byla určena odborným odhadem.

Systém TČ zaznamenává denní množství přečerpané energie, spotřebované elektrické energie a motohodiny. Ze zaznamenaných údajů je přibližně stanoven sezónní topný faktor pro režim vytápění 4,0 a pro režim chlazení dokonce 8,0. Průměrný roční topný faktor je 5,5. Průběh topného/chladičného faktoru během roku je znázorněn na obr. 8.

Účinnost rozvodu odpovídá ztrátám/ziskům technického zařízení ve strojně. Je odvozena jako rozdíl mezi množstvím tepla dodaného TČ a součtem odběru tepla všemi okruhy. Pro režim vytápění je účinnost rozvodu téměř 100 %. Pro chlazení v letních měsících, kdy je chlazená celá budova, je účinnost rozvodu přibližně 85 až 90 %. Pro ostatní měsíce, kdy je chlazená pouze serverovna a odběr chladu je tedy výrazně menší (jen cca 15 % letní potřeby chladu), avšak zisky systému chlazení jsou konstantní, je účinnost pohybů 25 až 30 %.

Souhrnné výsledky

Souhrn hlavních parametrů, výsledky výpočtu modelované varianty a její porovnání s měřeními skutečnými hodnotami jsou uvedeny v tab. 2.

Vypočítaná potřeba chladu (viz tab. 2) vykazuje velký rozdíl (2,8násobek) oproti naměřenému množství chladu dodanému do budovy v reálném provozu. Jedním z výrazných prvků vstupujících do energetické bilance jak chlazení, tak vytápění, kterému lze tento rozdíl přisuzovat, jsou solární zisky. Byl tedy podrobněji zkoumán provoz žaluzií za účelem zpřesnění jejich vlivu v energetických výpočtech. Ve 2. části článku bude popsán jak způsob modelování solárních zisků použitý v původních výpočtech, tak experimentální měření, jehož výstupy byly následně použity pro úpravu vstupních dat týkajících se výpočtu solárních zisků.

DISKUZE A ZÁVĚR

Byl vyhodnocen provoz nové administrativní budovy Otevřená zahrada v Brně za téměř čtyři roky jejího užívání. Dotazníkovým průzkumem byla ověřena spokojenost uživatelů a zjištěny jejich připomínky. Tepelná pohoda hodnocená metodou PMV dle [1] spadá pro zimní provoz do kategorie A, pro letní provoz do kategorie C. V zimním provozu nebyly uživateli připomínkovány výraznější problémy. V letním provozu jsou připomínkovány vyšší teploty, než by byly příjemné; většina uživatelů ale toto řeší otevřením okna, je-li to možné, převážně ráno.

Dále byl sestaven jednoduchý energetický model dle [4], jehož výstupy byly porovnány se skutečnou naměřenou spotřebou energií na vytápění a chlazení. Výstupy z modelu relativně odpovídají měřeným potřebám energií na vytápění. Průměrná měřená spotřeba energie (rozdílení potřeby a spotřeby energie viz výše v kapitole Energetická náročnost) na vytápění je za uplynulých 3 zim na úrovni 13 kWh/(m²·rok). Vypočítaná potřeba tepla je 13 kWh/(m²·rok). Hodnoty jsou přibližně dvojnásobné oproti původnímu projektovému předpokladu, který činil 7 kWh/(m²·rok). Pro chlazení však model dává výrazně vyšší hodnoty, než je měřená spo-

třeba chladu. Stávající průměrná spotřeba energie na chlazení v budově je na úrovni 7 kWh/(m²·rok), zatímco z uvedeného výpočetního modelu vychází potřeba chladu přibližně 18 kWh/(m²·rok), stejnou hodnotu uváděl i původní projektový předpoklad.

Jako možná příčina rozdílu mezi modelem a skutečností se jeví nepřesné zahrnutí solárních zisků, respektive jejich redukce vnějšími žaluziemi. Podrobnější analýza vlivu vnějších žaluzií na energetickou bilanci je předmětem 2. části článku.

Na budově nadále probíhá kontinuální měření. Online je dostupné například na webových stránkách budovy [3].

Kontakt na autora: Vitezslav.Calta@fsv.cvut.cz

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory studentské grantové soutěže ČVUT, číslo grantu SGS16/008/OHK1/1T/11 a za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605.

Seznam zkratk:

PMV (Predicted Mean Vote)
XPS (extrudovaný polystyren)
TČ (tepelné čerpadlo)
VJV (východovýchod)
ZSZ (západoseverozápad)
MaR (měření a regulace)
ZZT (Zpětné získávání tepla)
VZT (vzduchotechnika)

Použité zdroje:

- [1] ČSN EN ISO 7730:1997. Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody.
- [2] Lucid, systém monitoringu spotřeby energie a vody pro budovy [online]. 2017. Dostupné z: <https://lucidconnects.com/>
- [3] Systém monitorování spotřeb energie budovy Otevřená zahrada [online]. 2017. Dostupné z: <http://www.otevrenazahrada.cz/Pasivni-budovy/Lucid.aspx>
- [4] ČSN EN ISO 13 790:2009. Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.
- [5] Permanentní GPS stanice TUBO, Meteostanice [online]. Dostupné z: <http://tubo.fce.vutbr.cz/new/meteoExport.asp>
- [6] TZB-Info. Výpočet denostupňů [online]. 2017. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu>
- [7] ČSN EN ISO 13 789:2009. Tepelné chování budov – Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním – Výpočtová metoda.
- [8] SUBSTANCE. Expertní centrum ČVUT. Stavebně energetická studie NNO Údolní, Brno. Praha, 2009.
- [9] DesignBuilder Software Ltd. DesignBuilder verze 4.2.0.054 [software].
- [10] ŽENKA, M., STANĚK, K. Pasivní administrativní budova v letním provozu (1. část: Stínění vs. přirozené denní osvětlení). Vytápění, větrání, instalace. 2011, č. 1, s. 13–16. ISSN 1210-1389.
- [11] ČSN EN 13363-1+A1:2008. Zařízení protisluneční ochrany kombinované se zasklením – Výpočet propustnosti solární energie a světla – Část 1: Zjednodušená metoda.
- [12] CALTA, V. Analýza skutečných energetických vlastností budovy Nadace Partnerství v Brně. Diplomová práce. Praha, ČVUT v Praze. 2014.

Roos s patentovaným výměníkem

Firma Roos GmbH, Boppard vystavila na veletrhu ISH/Aircontact 2017 tepelný výměník patentované konstrukce větracího zařízení Airfox. Zajímavý protiproudý výměník je tvořen tenkostěnnými plastovými trubičkami (jejichž světlost ani materiál pramen neuvádí) o tloušťce stěny 0,1 mm, které byly na koncích rozšířeny, upraveny do šestihranu a svařeny, takže tvoří trubkovnici voštinového tvaru. Decentrální větrání Airfox je určeno pro obytné prostory.

Pramen: CCI 06/2017, s. 9

(AB)