

Dr. Ing. Michal JAROŠ
Ing. Petr KUBÁT
Energetický ústav, odbor termo-
mechaniky a techniky prostředí
Fakulta strojního inženýrství VUT
v Brně
Ing. Jitka MOHELNÍKOVÁ, Ph.D.
Ústav pozemního stavitelství
Fakulta stavební VUT v Brně

Vnitřní prostředí v kancelářských prostorech s vysokým podílem prosklení

1. část – Simulace spotřeby energie

Indoor Environment in Office Rooms with High Rate of Glazing

Part 1 – Simulation of Energy Consumption

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Článek se zabývá energetickou simulací zasedací místnosti pobočky Všeobecné zdravotní pojišťovny (VZP) v Brně, která je příkladem moderní administrativní budovy s vysokým podílem prosklení v obvodovém plášti. Cílem simulace programem TRNSYS 16 je posouzení vlivu zvýšeného podílu prosklených ploch na energetickou bilanci vytápění a klimatizace při zajištění dostatečné pohody vnitřního prostředí. Mimoto je rovněž posouzena účinnost různých druhů protisluneční ochrany (slunolamy, vnější a vnitřní žaluzie) a vliv tepelně-technických parametrů materiálů vnitřních konstrukcí.

Klíčová slova: potřeba energie, vytápění, klimatizace, protisluneční ochrana budovy

The article deals with an energy simulation of the conference room in General Health Insurance Company branch office in Brno, which is an example of modern administrative building with highly glazed façade. The simulation was carried out using TRNSYS 16 code with the aim, to assess the influence of increased portion of glazed areas on the energy consumption of heating and air conditioning under condition of good indoor environment. The effectiveness of various kinds of solar protection was evaluated as well.

Key words: Energy demand, heating, air-conditioning, building anti-solar protection

Moderní kancelářské budovy se většinou vyznačují vysokým podílem prosklení obvodového pláště. Tento trend má nezanedbatelný vliv na vnitřní prostředí přilehlých prostor. Na jedné straně se tím zvětšuje podíl přirozeného denního světla, na straně druhé vznikají i negativní dopady, a to jak na vnitřní prostředí v budově (viz např. [1], [2]), tak na její energetickou bilanci [3].

Významným činitelem jsou u takovýchto objektů zejména solární zisky, které ovlivňují stav vnitřního prostředí a s tím spojené náklady na jeho udržení v předepsaných mezích. K jejich snížení přispívá vhodné architektonické řešení, které uvažuje všechny ovlivňující faktory: orientaci budovy ke světovým stranám, velikost a kvalitu prosklených ploch, provedení stínících systémů i schopnost vnitřních materiálů akumulovat teplo.

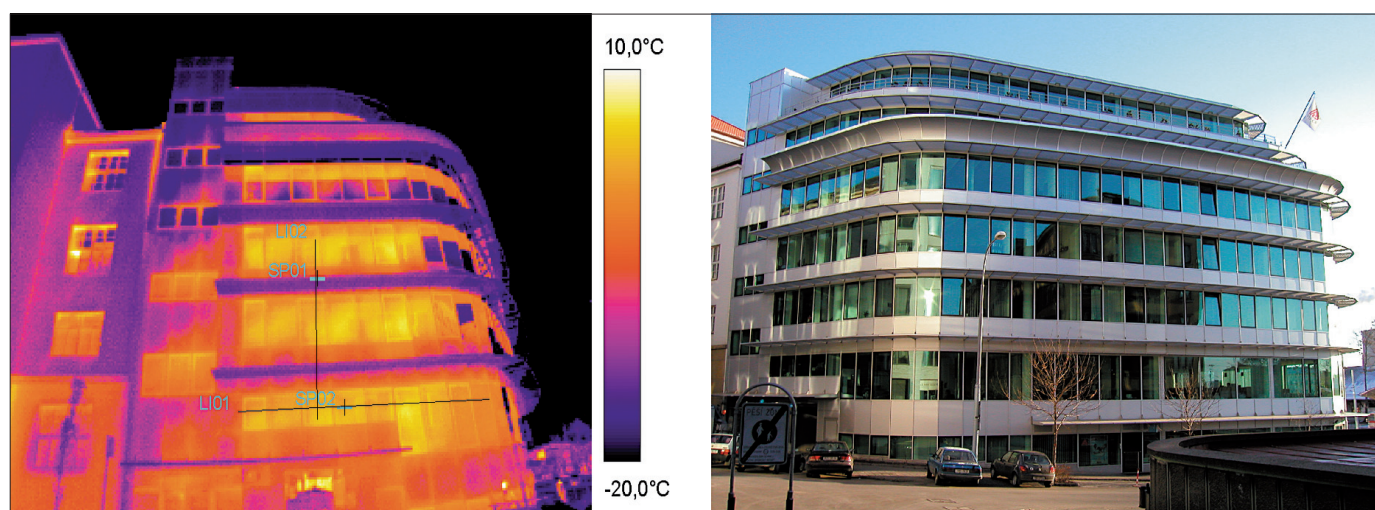
Cílem tohoto článku je upozornit na možné negativní dopady prosklených fasádních ploch a naznačit, jakým způsobem lze jejich vliv eliminovat či

omezit. První část vycházející z diplomové práce [4] odhaduje na základě celoroční simulace provozu dané místnosti vliv jednotlivých činitelů na energetickou bilanci vytápění a klimatizace a porovnává ji s klasickou stavbou. Druhá část článku pak uvádí výsledky souběžně probíhajících měření vnitřního prostředí v místnosti.

POPIS ZKOUMANÉHO OBJEKTU

Administrativní budova okresní pobočky VZP v Brně (obr. 1) je situována na nároží Benešovy třídy a Novobranské ulice, s orientací venkovních fasád na jihovýchod, jih a jihozápad. Trojúhelníkové řešení půdorysu nadzemních podlaží využívá k prosvětlení i dvorní fasádu. Všechny místnosti s dlouhodobým pobytem lidí jsou tak přirozeně osvětleny i větrány.

Svislou nosnou konstrukci tvoří obvodové sloupky z monolitického betonu o průměru 0,4 až 0,6 m, nosnou konstrukci stropů pak monolitické



Obr. 1 Termovizní a denní fotografie prosklené fasády budovy VZP v Brně



Obr. 2
Slunolamy
na budově
VZP



Obr. 3
Zasedací
místnost VZP
s přilehlou
terasou

betonové desky tloušťky 260 mm, které jsou po obvodu zalomeny do železobetonových monolitických atik a parapetů. Obvodový plášť, kotvený do stropních desek, je tvořen kombinací pásových oken a parapetů. Výplň parapetů tvoří hliníkový plech s tepelnou izolací minerálními deskami. Okna s rámy z eloxovaných hliníkových profilů jsou zasklena dvěma skly Planibel G 6 mm se vzduchovou mezerou 16 mm (světelná propustnost 65 %, solární faktor $g = 63 \%$ a součinitel prostupu tepla $U = 1,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$).

Zděné příčky tl. 100 a 150 mm jsou použity ve středních polích budovy v prostorách sanitárních zařízení. Jsou konstruovány z přesných pórobetonových tvárnic spojovaných lepením. Ostatní příčky jsou montované z kovových profilů, se sádkartonovým opláštěním $2 \times 12,5 \text{ mm}$ a s výplní z minerální vlny. Použity jsou opět v tloušťkách 100 a 150 mm.

Ve všech podlažích kromě suterénu jsou instalovány lehké montované podhledy, a to nad celou plochou půdorysu v 1., 2. a 7. NP; v ostatních podlažích pak pouze na chodbách a hygienických zařízeních. Prostor nad nimi je využit pro vedení instalací. V akusticky zatížených místnostech jsou použity podhledy se skrytým nosným systémem a s maximální pohltivostí v oblasti mluveného slova (250 až 2000 Hz), v ostatních místnostech podhledy sádkartonové, s kovovou nosnou konstrukcí na pozinkovaných závěsech.

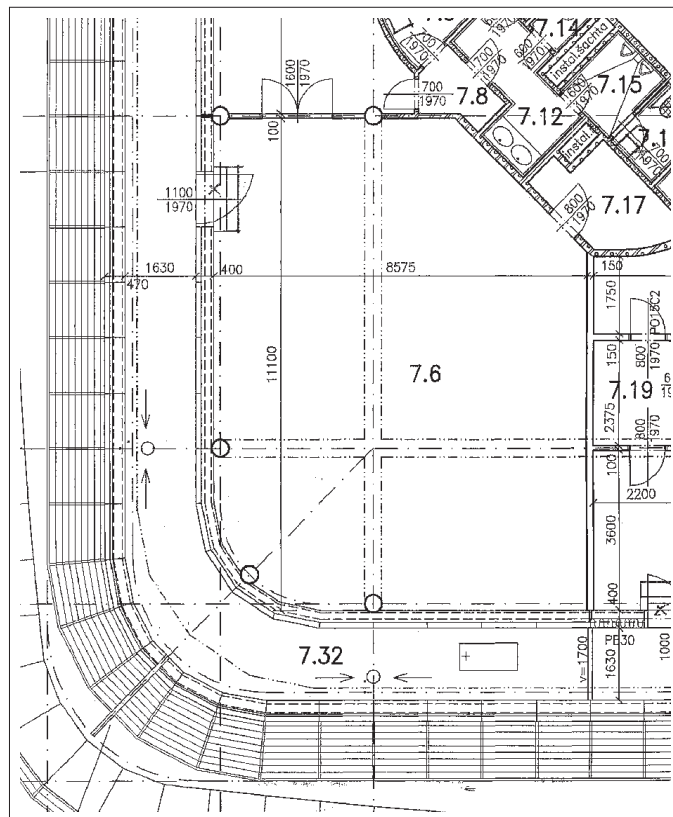
Ke stínění proti přímému slunečnímu záření jsou na uličních fasádách ve 2. až 7. NP instalovány lehké slunolamy. Ty jsou tvořeny horizontálními lamelami z hliníkových profilů průřezu L, uchycenými do kónických konzol s vysazením cca 1300 mm od líce fasády (obr. 2). Konzoly jsou kotveny do nosných sloupků fasády tak, aby slunolam při údržbě fasády unesl zatížení jednou osobou. Integrální součástí fasády je i markýza nad 1. NP, která je konzolovitě vysazena 1550 mm z líce fasády. Konstruována je z pozinkované oceli s opláštěním z eloxovaného hliníkového plechu.

Pro zkoumání vlivu prosklení byla zvolena zasedací místnost pobočky, situovaná v 7. NP, přímo pod střechou. Důvodů pro tuto volbu bylo několik:

- ❑ Okna jsou zde instalována v celé ploše fasády a směřují na jihovýchod, jih a jihozápad (obr. 3). Sluneční záření sem tedy dopadá takřka po celý den.
- ❑ Nejvyšší patro budovy, v němž se místnost nachází, není prakticky stíněno okolní zástavbou.
- ❑ Pohyb osob v místnosti je malý, což snižuje riziko zásahu do měřicí aparatury a omezuje rušivé vlivy, působící na měření.

Místnost má přibližně tvar obdélníku o rozměrech $11,1 \text{ m} \times 8,5 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ s vnějším rohem zaobleným a vnitřním rohem zkoseným (obr. 4). Podlahová plocha činí $88,6 \text{ m}^2$ a objem $230,3 \text{ m}^3$. Vnější stěny místnosti tvoří prosklená fasáda, vnitřní stěny pórobetonové a sádkartonové příčky. Podlaha vysoká 90 mm je složena z kročejové vrstvy, betonové mazaniny a kerberce. Strop místnosti je snížen sádkartonovým podhledem, v němž je umístěno osvětlení a vдуchotechnika. Místnost je vybavena lehkým kancelářským nábytkem – stoly a židlemi.

Otopný systém je tvořen cirkulačními teplovodními fan-coily umístěnými pod okny. Doplňkově je místnost přitápěna teplovzdušným větráním. Chlazení zajišťuje cirkulační vodní podstropní jednotka. Provozně je místnost zatížena pouze ojedinělými akcemi.

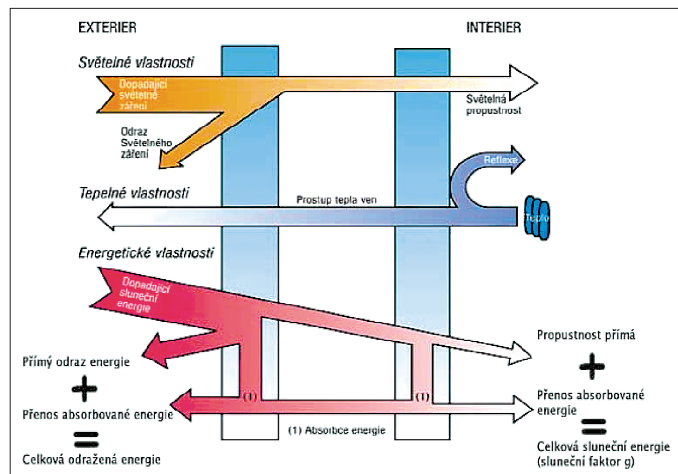


Obr. 4 Půdorys zasedací místnosti VZP

ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

Prostup energie okny

Sluneční záření dopadající na povrch okna je částečně odraženo zpět (reflexe), částečně oknem prochází a částečně je v něm absorbováno (obr. 5). Absorbované záření je zčásti opět vyzářeno zpět do exteriéru, zčásti prostupuje do interiéru. Procentuelní množství sluneční energie, které prochází přímo do interiéru, definuje tzv. *přímou energetickou propustnost*. Přidáme-li ještě tu část absorbované energie, která je přenesena do interiéru sekundárně, dostaneme tzv. *celkovou energetickou propustnost* neboli *solární faktor g* (či také *celkový činitel prostupu sluneční energie* [6]). Detailní popis chování zasklívacích systémů a jejich parametrů (včetně spektrální a směrové závislosti) nalezne čtenář například v příspěvku [7].



Obr. 5 Schéma průchodu solární energie oknem (převzato z [5])

Pro orientační posouzení kvality okna v zimním období lze použít poměr solárního faktoru g k součiniteli prostupu tepla oknem U . Jeho hodnoty se obvykle pohybují od 0,25 pro běžné dvojité zasklení do cca 1,0 pro velmi kvalitní vícenásobné zasklení. Lze tedy říci, že čím je tento poměr větší, tím je okno kvalitnější.

Pro jižní fasády jsou zpravidla výhodnější vyšší hodnoty U a g (při stejném poměru g/U), zatímco pro severní fasády se doporučují spíše nižší hodnoty. Vyšší hodnoty g na jižní straně budovy totiž přináší větší solární zisky a přispívají tak ke snižování nákladů na vytápění.

Energetická bilance prosklených ploch

je dána vzájemným poměrem tepelných ztrát prostupem tepla během otopného období

$$Q_T = 24 \cdot 10^{-3} \cdot U \cdot D \cdot S \quad (1)$$

a odpovídajících solárních zisků

$$Q_S = q_{S, \text{top}} \cdot g \cdot f_b \cdot S \quad (2)$$

Podle hodnoty rozdílu $Q_S - Q_T$ lze hovořit o pozitivní nebo negativní bilanci zasklení. Pokud jsou zisky a ztráty v rovnováze, je zasklení neutrální [8].

Například tepelná ztráta běžného dvojskla je při venkovní teplotě 0°C kompenzována tepelným ziskem ze slunečního záření s intenzitou 120 W/m^2 . Při venkovní teplotě -20°C je pro dosažení energetické neutrality dvojskla potřeba již 190 W/m^2 . Okna s vyšším poměrem g/U dosahují energetické neutrality při nižší intenzitě slunečního záření. Základním předpokladem využití solární energie k úsporám tepla však je, že příjmové plochy nebudou zastíněny okolními budovami nebo krajinou. Toto je nutno brát v úvahu již při volbě umístění budovy.

Letní tepelná ochrana budovy

Dosavadní úvahy se týkaly především zimního období, kdy je solární energie využívána k úsporám tepla. V létě však nastává opačný problém – solární zisky zachycené v budově je nutno odvádět, nemá-li dojít ke zhoršení vnitřního prostředí.

Významným prostředkem snížení letní tepelné zátěže jsou *stínící zařízení*. Pojmem „slunolam“ se souhrnně označují stínící a fasádní prvky, které chrání budovy a jejich uživatele před přímým slunečním zářením i před tepelnou radiací. Tato zařízení výrazně snižují instalační a provozní náklady na klimatizaci a větrání budov.

Akumulace energetických zisků

Akumulace tepla v budově zachová část získané sluneční energie, resp. energetických přebytků, na období s menšími solárními zisky. Tímto způsobem je lze lépe využít a spotřeba energie klesá. V létě se mohou akumulující hmoty naopak nočním větráním ochladit a během dne pak pojmout část přicházejícího tepla. Tím klesá i letní klimatická zátěž. Akumulace tepla má příznivý vliv i na klima v místnosti, které je vyrovnanější.

Teplo ze solárních zisků vstupuje do akumulujících hmot dvěma mechanismy:

- ☐ přímým ozářením (tzv. primární akumulace),
- ☐ konvektivním přenosem tepla z ostatních ozářených ploch prostřednictvím ohřátého vzduchu (sekundární akumulace).

Primární akumulace je zhruba čtyřikrát účinnější než sekundární [9]; výhodou sekundární akumulace je naopak obvykle podstatně větší teplosměnný povrch.

Souhra obou těchto jevů je hlavním problémem akumulace. Spojovacím prvkem mezi primární a sekundární akumulací je totiž vzduch v místnosti, jehož teplotu uživatelé bezprostředně pociťují.

Měřítkem rychlosti akumulace tepla je *tepelná pohltivost*

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (3)$$

Teplo proto nejlépe akumulují materiály s vysokými hodnotami měrné tepelné kapacity, tepelné vodivosti a hustoty – tedy těžké stavební konstrukce. Naopak izolační materiály akumulují teplo minimálně.

Dobrymi zásobníky tepla jsou masivní obvodové stěny bez vnitřních izolací. Velký význam má podlaha, protože je sluncem z velké části zpravidla přímo ozářena.

Z hlediska akumulace by nejlepším řešením bylo použití materiálů s velkou tepelnou pohltivostí (kamenné nebo keramické desky). To je ovšem v protikladu s požadavkem uživatelů na „teplou“ podlahu. Vhodnou variantou jsou proto tenké nášlapné vrstvy na těžké cihlové nebo betonové konstrukci. Protože vzduch pod stropem bývá teplejší než u podlahy, podporuje tepelnou akumulaci také vhodný materiál stropu – např. keramické prvky (hurdisky).

Rovněž zařízení bytu akumuluje teplo, a to více, než se předpokládá. Na druhou stranu, nábytek brání proudění vzduchu a tím snižuje sekundární akumulaci. Velké obrazy, vysoké koberce a stropní obklady akumulaci tepla brání [9].

ENERGETICKÁ SIMULACE PROVOZU MÍSTNOSTI

byla vedena snahou posoudit vliv zvýšeného podílu prosklených ploch – míněno v porovnání s klasickou stavbou – na energetickou bilanci vytápění

ní a klimatizace místnosti, a to při zajištění dostatečné pohody vnitřního prostředí. V jejím rámci byla posouzena i účinnost různých druhů protisluneční ochrany (slunolamy, vnější a vnitřní žaluzie) a vliv tepelně-technických parametrů materiálů vnitřních konstrukcí. Celoroční simulace provozu byla zpracována v programu TRNSYS 16.

Simulační program TRNSYS

– TRaNsient SYstem Simulation – je modulární program určený pro energetické bilance budov, solárních soustav, vzduchotechnických systémů apod.

Funkce programu spočívá v řešení rovnic, které charakterizují jednotlivé moduly. Tyto moduly představují stavební prvky reálného systému – jednotlivé místnosti nebo jejich části, různé typy technických zařízení budov apod. Lze je vybírat z předdefinovaných knihoven nebo definovat uživatelsky. Jednotlivé moduly se propojují prostřednictvím vstupních a výstupních veličin. Toto sestavování modelu simulovaného systému probíhá graficky na obrazovce počítače. Po odladění modelu je spuštěna vlastní simulace, jejímž výsledkem jsou průběhy libovolných vybraných veličin v časovém rozmezí až jednoho roku a z nich odvozené další údaje.

Důležitou součástí programového balíku TRNSYS je program PREBID, který umožňuje definovat tepelně-technické vlastnosti budovy a její provozní režim. Geometrický model budovy se vytváří dalšími nadstavbovými programy, popř. na základě DXF výkresu půdorysu. Parametry venkovního prostředí se do řešení vnáší prostřednictvím vstupních klimatických dat.

Pro zadání parametrů oken slouží další pomocný program Window 5.2. Jejich hodnoty lze opět vybrat z databáze, nebo si je uživatel může nastavit sám. Výstupní textový soubor lze následně vkopírovat do knihoven TRNSYSu a simulovat tak okna různých parametrů a vlastností.

Model simulované místnosti

byl vytvořen s určitými zjednodušeními:

- ☐ Prosklený obloukový roh (viz obr. 4) byl nahrazen dvěma okny směřujícími přímo na jih; podokenní parapety nebyly uvažovány.
- ☐ Sousední místnosti byly modelovány jako samostatné zóny, místnost pod zasedací místností jako fiktivní zóna se stejnými parametry.
- ☐ Provoz (pohyb osob) v místnosti byl zanedbán. Protože místnost není vybavena kancelářskou technikou, nebyly uvažovány ani žádné jiné vnitřní zdroje tepla a vlhkosti.

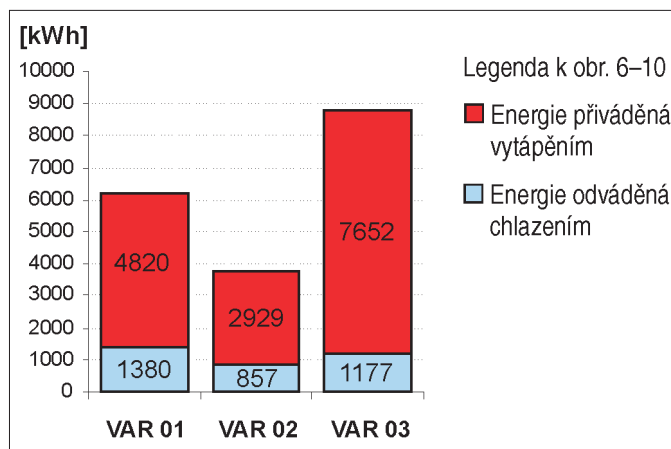
Významným faktorem ovlivňujícím prostředí v místnosti je infiltrace. Její skutečnou velikost však lze zjistit pouze měřením. Protože výsledky takovýchto měření nebyly k dispozici, byly jednotlivé varianty modelovány bez působení infiltrace. Vliv samotné infiltrace na energetickou bilanci byl pak simulován zvlášť.

ŘEŠENÉ VARIANTY A JEJICH VÝSLEDKY

Hlavním výstupem provedených simulací jsou úhrnné celoroční hodnoty energie přiváděné vytápěním a odváděné citelným chlazením v místnosti (tedy nikoliv přímo spotřeba energie na klimatizaci, protože ta by byla ovlivněna použitou klimatizační jednotkou), které jsou potřebné k udržení tepelného komfortu v místnosti (požadovaná vnitřní teplota 20 až 26 °C). Vliv jednotlivých činitelů je shrnut v následujících bodech.

Kvalita oken

je rozhodujícím faktorem tepelných ztrát. Pro posouzení jejího vlivu byly simulovány tři varianty s různými typy skel. Mimo stávajících oken se součinitelem prostupu tepla $U = 1,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ a solárním faktorem $g = 63 \%$



Obr. 6 Vliv kvality oken na energetickou bilanci simulované místnosti

(VAR 01) byla simulována varianta s kvalitnějšími okny (VAR 02: předdefinovaný typ WSV3KR1 knihovny TRNSYSu – trojsklo s kryptonovou výplní a hodnotami $U = 0,7 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ a $g = 40 \%$). Dále pak okna s horšími vlastnostmi (typ ISOLIER – klasické dvojsklo plněné vzduchem s parametry $U = 2,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ a $g = 75 \%$) jako VAR 03.

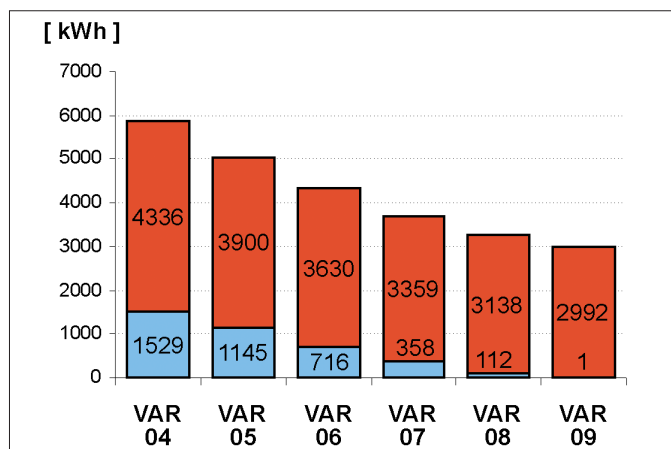
Z hlediska spotřeby energie (obr. 6) je nejvýhodnější varianta s kvalitnějšími okny (VAR 02). Oproti stávajícímu stavu klesá jak spotřeba energie na vytápění během otopného období (což je způsobeno především nízkým součinitelem prostupu tepla U), tak množství energie potřebné na chlazení v letních měsících (což odpovídá nižší hodnotě solárního faktoru g).

Varianta s horšími okny (VAR 03) paradoxně potřebnou odváděnou energii snižuje, a to i přes jejich vyšší solární faktor. To je zapříčiněno vyšším nočním vychlazováním místnosti, které je ovlivněno velkým součinitelem prostupu tepla.

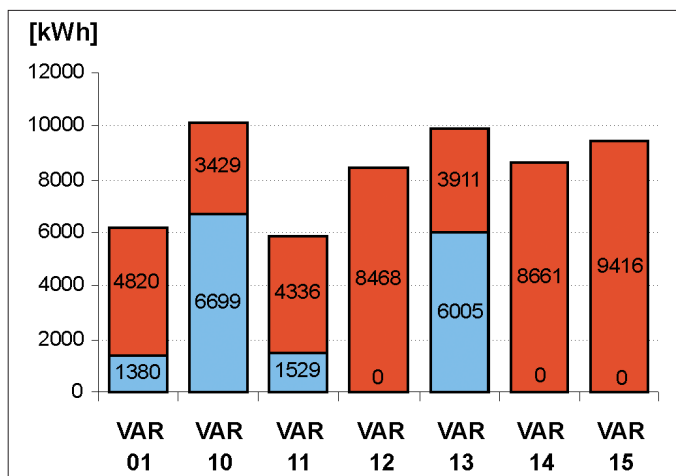
Velikost prosklených ploch

je rozhodujícím faktorem celkové energetické spotřeby. Její vliv byl porovnáván v šesti variantách s postupným snižováním plochy oken ze stávajícího stavu (100 %) po 15 % až na 25 % původní plochy prosklení (VAR 04 až VAR 09). Prostor vzniklý zúžením oken byl nahrazen zdí s součinitelem prostupu tepla $U = 0,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Simulovaná okna byla zastíněna pouze slunolamami.

U modelované místnosti představuje celková plocha prosklení cca 60 % podlahové plochy. Výsledky uvedené na obr. 7 potvrzují předpoklad, že s jejím zmenšováním klesá spotřeba energie na regulaci vnitřního prostředí – vytápění i chlazení. V případě nejmenší povolené plochy prosklení, která podle ČSN 73 0580 činí 10 až 15 % podlahové plochy



Obr. 7 Vliv velikosti prosklení na energetickou bilanci simulované místnosti



Obr. 8 Vliv různých způsobů stínění na energetickou bilanci simulované místnosti

místnosti (což odpovídá variantě VAR 09), potřeba chlazení dokonce prakticky zaniká.

Způsob zastínění místnosti

proti pronikání slunečního záření je rozhodující z hlediska klimatizace, protože určuje velikost tepelných zisků, které je potřeba v letních měsících odvádět. Vhodným použitím stínících prvků – slunolamů, vnitřních či vnějších žaluzií, případně jejich kombinací – lze snížit požadavky na chlazení a do značné míry tak eliminovat nepříznivý vliv velkých prosklených ploch na přehřívání budovy.

Pro porovnání se stávajícím stavem – místnost je zastíněna slunolamami a vnitřními vertikálními textilními žaluziemi (varianta VAR 01) – byl proto simulován stav bez zastínění (VAR 10). Ve variantě VAR 11 je simulován stávající stav s vynecháním vnitřních žaluzií (zastínění pouze slunolamem).

Velmi výhodné mohou být stavitelné vnější žaluzie s automatickým ovládáním podle aktuálních podmínek. Jejich simulace by však byla velmi obtížná, proto byly pouze uvažovány žaluzie sklopené pod úhlem 45° (VAR 12). Varianta VAR 13 simuluje zastínění pouze vnitřními žaluziemi, VAR 14 pak vnitřními i vnějšími žaluziemi. V poslední variantě (VAR 15) je použito zastínění se všemi stínícími prvky.

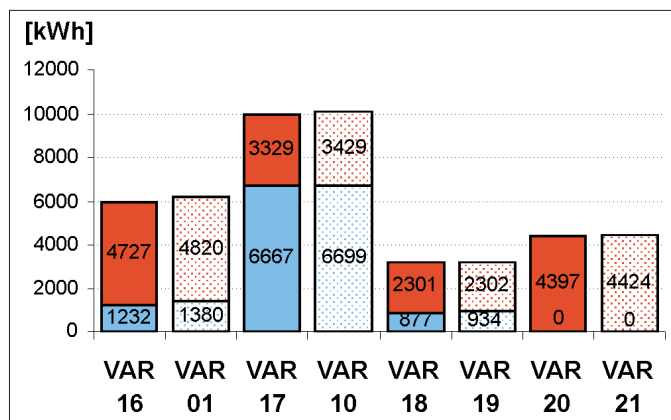
Výsledky simulace jednotlivých variant stínění jsou uvedeny na obr. 8. Z grafu je zřejmé, že použití slunolamů je pro nízkou spotřebu energie zásadní. Bez nich by bylo zapotřebí odvádět klimatizací takřka pětkrát více energie (VAR 10 vs. VAR 11). Na druhou stranu, slunolamy poněkud zvětší spotřebu energie na vytápění, což je důsledek snížení solárních zisků. Použití vnitřních žaluzií (VAR 10 vs. VAR 13) nemá z hlediska energetické bilance příliš velký význam. Většina zachycené sluneční energie zůstává v místnosti a přenáší se do ostatního prostoru.

Hodnocení výsledků variant s vnějšími žaluziemi (VAR 12, 14 a 15) je problematické. Je patrné, že při vhodném natočení lamel eliminují potřebu chlazení. Na druhou stranu jejich neměnné nastavení vedlo ke značnému nárůstu spotřeby energie na topení, což je způsobeno takřka úplným zastíněním oken.

Ve výsledcích není ovšem zahrnuto případné snížení tepelných ztrát budovy v důsledku ovlivnění vnější konvekce i radiace. Přesto se zdá, že nejvhodnějším řešením jsou dálkově ovládané žaluzie.

Vliv akumulace vnitřních materiálů

S nástupem nových stavebních technologií dochází k nahrazení klasických masivních materiálů jako cihla a beton sádrokartonem a pórobetonem. Tyto materiály vynikají výbornými tepelně izolačními vlastnostmi, zároveň však



Obr. 9 Vliv materiálů vnitřních konstrukcí na energetickou bilanci simulované místnosti

mají malou akumulační schopnost. Vlivu tepelné akumulace na vnitřní prostředí v budovách byla věnována řada prací; v tomto příspěvku se zaměříme pouze na její vliv z hlediska spotřeby energie.

Vliv akumulační schopnosti stěn na energetickou bilanci místnosti byl posuzován čtyřmi dvojicemi modelů, které se navzájem lišily pouze materiálem vnitřních konstrukcí. Původní sádrokartonové a pórobetonové příčky byly nahrazeny zdíkem z plných pálených cihel; mírně byla pozměněna i skladba podlahy (beton místo kročejové vrstvy). Jednotlivá řešení jsme opět porovnali z hlediska přiváděné a odváděné energie potřebné k udržení tepelného komfortu v místnosti.

Jako alternativa stávajícího stavu (VAR 01) byla simulována varianta VAR 16. Podobně varianta VAR 17 je alternativou VAR 10, tzn. stavu bez stínících prvků. Dále jsou porovnány výsledky pro místnost se šesti menšími okny o rozměrech 1,2 × 1,6 m bez zastínění (VAR 18 vs. 19) a tatáž situace s vnějšími i vnitřními žaluziemi (VAR 20 vs. 21).

Z obr. 9 je patrné, že změna materiálu vnitřních konstrukcí nemá na spotřebu energie ani v jednom z uvažovaných případů takřka žádný vliv. Jediným důsledkem je mírné snížení maximálních denních teplot, pokud by nebyla v provozu klimatizace, a to ze 36,5 na 35,5 °C [4].

Vliv infiltrace

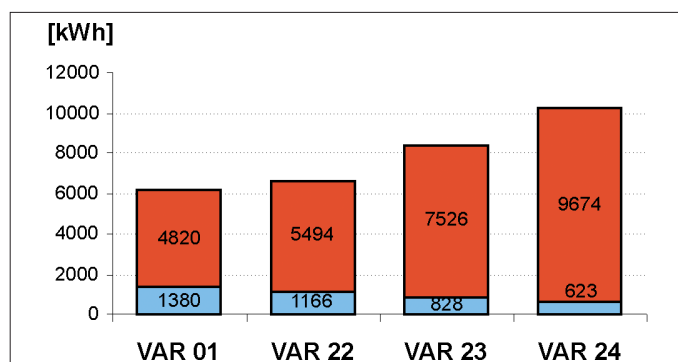
Tepelné ztráty spojené s přirozeným větráním jsou u moderních oken a dveří snižovány zdokonalováním těsnosti spár. Větrání infiltrací je často potlačeno až pod hranici potřebnou k odvodu vodní páry, formaldehydu a jiných škodlivin.

Jak bylo uvedeno výše, vzhledem k neznalosti skutečné velikosti infiltrace byly všechny dosavadní varianty simulovány bez jejího vlivu. Posouzení vlivu infiltrace jsme provedli postupným navyšováním její intenzity ve třech krocích: oproti základní variantě bez infiltrace (VAR 01) simuluje varianta VAR 22 výměnu 0,1 objemu místnosti za hodinu, varianty VAR 23 a VAR 24 pak intenzitu infiltrace 0,4 a 0,7/hodinu.

Výsledky (obr. 10) kvantifikují logické očekávání, že se vzrůstající intenzitou infiltrace vzrůstá i množství energie potřebné k vytápění místnosti. Na druhou stranu, s rostoucím množstvím vyměněného vzduchu klesá potřeba letního chlazení. Nárůst spotřeby energie na vytápění však převyšuje pokles odvodu energie při chlazení. Z energetického hlediska je tedy výhodnější minimální podíl infiltrace.

DISKUSE

Z výsledků jednotlivých řešených variant vyplývá, že klíčovým parametrem ovlivňujícím energetickou náročnost vytápění a klimatizace moderních budov s definovaným vnitřním prostředím je velikost a kvalita proskle-



Obr. 10 Vliv intenzity infiltrace na energetickou bilanci simulované místnosti

ných ploch. V uvažovaném případě představuje celková plocha prosklení 53 m² cca 60 % podlahové plochy místnosti. Požadavek normy ČSN 73 0580, podle níž by plocha prosklení neměla být menší než 10 až 15 % podlahové plochy, je tedy výrazně překročen.

Míra prosklení budovy je dána především jejím architektonickým řešením. Je však potřeba mít na zřeteli, že zvýšený podíl prosklených ploch v obvodovém plášti výrazně zvyšuje energetickou náročnost budovy – v daném případě zhruba na dvojnásobek (viz obr. 7), a to jak z důvodu nárůstu spotřeby energie na vytápění, tak zejména na chlazení v letním období.

Tento negativní trend lze částečně eliminovat použitím pokročilých okeních systémů – především s nízkým solárním faktorem, který snižuje přehřívání místnosti, ale i nízkou hodnotou součinitele prostupu tepla. Tímto způsobem lze spotřebu energie snížit o desítky procent (konkrétně o 39 % u varianty VAR 02). Nevhodná volba oken naopak přináší ztráty, které svou výší přesáhnou cenu kvalitnějšího zasklení.

Především však je nezbytně nutné použít vhodný systém protisluneční ochrany, který je schopen efektivně regulovat tepelné zisky, zejména v letním období. Pro tento účel jsou nejvhodnější vnější žaluzie, jejichž ovládání je účelné automatizovat a propojit s měřicím a regulačním systémem budovy. Uživatelé jednotlivých prostor by však měli mít možnost ovlivnit nastavení žaluzií podle svých individuálních potřeb.

Naopak volba materiálů vnitřních konstrukcí nemá na energetickou bilanci budovy takřka žádný vliv – alespoň u velkých místností s malým poměrem ploch vnitřních stěn k jejich objemu (což částečně popírá tvrzení v příspěvku [10]). Rovněž infiltrace venkovního vzduchu je sice z hlediska spotřeby energie nežádoucím jevem, napomáhá však odvodu škodlivin i letnímu chlazení místnosti. Optimálním řešením je nucené větrání s rekuperací tepla.

ZÁVĚR

Moderní administrativní budovy se od klasických staveb odlišují mj. velkým podílem prosklených ploch v obvodovém plášti. Jejich velikost a kvalita má největší vliv jak na vnitřní prostředí budovy, tak na náklady na jeho udržení v předepsaných mezích.

Cílem tohoto příspěvku bylo prostřednictvím celoroční energetické simulace kvantifikovat vliv jednotlivých faktorů na energetickou bilanci vytápění a klimatizace při požadavku zajištění tepelné pohody vnitřního prostředí.

Simulace zasedací místnosti pobočky Všeobecné zdravotní pojišťovny v Brně byla provedena simulačním programem TRNSYS 16 pro celkem 24 variant. Jednotlivé varianty byly voleny tak, aby mohl být posouzen vliv

kvality a velikosti prosklení, význam stínících prvků a vliv materiálů vnitřních konstrukcí.

Získané výsledky mohou poskytnout určité vodítko architektům a projektantům obdobných staveb ([10], [11]). Ve sledované místnosti navíc probíhají od ledna 2006 měření, jejichž vyhodnocení ve druhé části tohoto příspěvku poskytne údaje o skutečných provozních podmínkách v průběhu roku.

Přehled označení

D	počet denostupňů [K·d/r]
Q_s	solární zisky během otopného období [kW·h]
Q_T	tepelné ztráty během otopného období [kW·h]
S	plocha zasklení [m ²]
U	součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]
b	tepelná pohltivost [W·s ^{0.5} /(m ² ·K)]
c	měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)]
f_b	redukční faktor zastínění a zašpinění [–]
g	solární faktor [–]
$q_{s, \text{top}}$	celková energie slunečního záření dopadající na 1 m ² zasklení během otopného období [kW·h·m ⁻²]
λ	součinitel tepelné vodivosti [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
ρ	hustota [kg·m ⁻³]

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory grantového projektu GAČR 101/05/H018 „Výzkum efektivních systémů pro zlepšení kvality vnitřního prostředí“.

Spojení na autora: Energetický ústav, odbor termomechaniky a techniky prostředí, Technická 2, 616 69 Brno, tel.: 541 143 282, fax: 541 143 269, e-mail: jaros@fme.vutbr.cz

Příspěvek byl ve zkrácené formě přednesen na konferenci Klimatizace a větrání 2008.

Použité zdroje:

- [1] Dvořák, J.: Letní teploty v moderních novostavbách. Sborník konf. „Klimatizace a větrání 2002“. Praha: STP, 2002, s. 22-26. ISBN 80-02-01477-4.
- [2] Mathauserová, Z.: Vnitřní prostředí v administrativních budovách. Sborník konf. „Klimatizace a větrání 2004“. Praha: STP, 2004, s. 82-85. ISBN 80-02-01598-3.
- [3] Čuprová, D., Kalousek, M.: Obalové konstrukce a energetická hospodárnost objektů. Sborník 13. mezinár. konf. „Tepelná ochrana budov 2006“. Praha: CZB ČR, 2006, s. 65-68.
- [4] Kubát, P.: Energetická simulace administrativní budovy VZP. Diplomová práce. Brno: FSI VUT, 2006.
- [5] www izolacniskla.cz. Firemní internetové stránky. Brno: Izolační skla a. s., 2006.
- [6] ČSN EN 410: Sklo ve stavebnictví – Stanovení světelných a slunečních charakteristik. Praha: ČNI, 2000.
- [7] Chmel, P., Drkal, F., Lain, M.: Tepelné zisky od sluneční radiace oknem. Sborník konf. „Klimatizace a větrání 2004“. Praha: STP, 2004, s. 32-37. ISBN 80-02-01598-3.
- [8] Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Praha: Nakl. T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [9] Humm, O.: Nízkoenergetické domy. Praha: Grada Publ., 1999. ISBN 80-7169-657-9.
- [10] Petlach, J.: Klimatizace nadstandardních administrativních ploch s převažujícím podílem prosklení fasád. Sborník konf. „Klimatizace a větrání 2002“. STP, Praha, 2002, s. 171-182. ISBN 80-02-01477-4.
- [11] Šnajdr, R.: Realizace lehkých obvodových plášťů a aplikace tepelně technických norem do praxe. Sborník 13. mezinár. konf. „Tepelná ochrana budov 2006“. Praha: CZB ČR, 2006, s. 209-211. ■