

Ing. Pavel KOPECKÝ, Ph.D.
Ing. Kateřina SOJKOVÁ, Ph.D.
ČVUT v Praze, Univerzitní
centrum energeticky efektivních
budov

0 přiměřeném podílu prosklení obálky administrativních budov

On Reasonable Glazing Ratio of Building Enclosure of Office Buildings

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Príspevek se zabývá vlivem podílu prosklení jednoduché, velmi dobře tepelně izolované kanceláře na její tepelnou bilanci. Byly provedeny dynamické tepelné simulace, přičemž se sledovaly trendy vybraných výstupních údajů ze simulace při změně zastoupení plochy zasklení v ploše fasády a změně účinnosti venkovního stínění (jejich vzájemné kombinace). Sledovaly se potřeby tepla na vytápění a chlazení (ukazatele energetické efektivity), špičkové výkony vytápění a chlazení (ukazatele velikosti investice do zdrojů energie a koncových prvků pro sdílení tepla) a rozdíl maximální roční vnitřní operativní teploty od požadované teploty vnitřního vzduchu (ukazatel tepelného komfortu). Zvyšování podílu prosklení obálky modelové kanceláře zvyšovalo potřeby tepla a špičkové výkony vytápění i chlazení. Kombinace vysokého podílu prosklení a chybějícího či špatně provozovaného systému venkovního stínění může současně vést k problémům s tepelnou pohodou uživatelů. Použití funkčního systému venkovního stínění naopak zvyšuje pravděpodobnost dosažení tepelné pohody uživatelů a výrazně snižuje potřebu tepla na chlazení i špičkový výkon chlazení.

Klíčová slova: administrativní budovy, podíl prosklení fasády, stínění, letní přehřívání, dynamická tepelná simulace

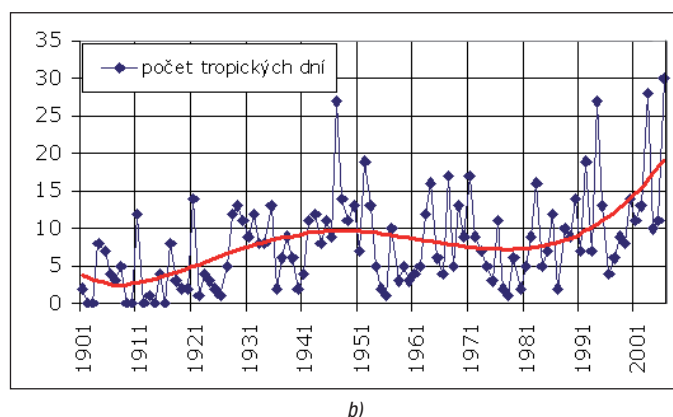
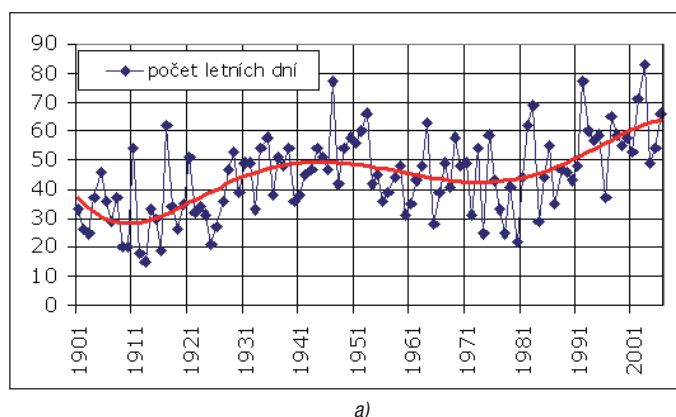
This paper deals with the impact of glazing ratio on thermal balance of a simple well insulated test office. First, dynamic thermal simulations of the test office were performed with variable setting of glazing ratio and the effectivity of external shading system. Then, the selected calculated outputs were depicted as a function of glazing ratio and the effectivity of shading system. Heating and cooling energy needs (energy efficiency indicators), heating and cooling peak loads (indicators of investment costs in technical systems), and the difference between maximum annual operative temperature and set-point temperature (indicator of thermal comfort) were evaluated. It was observed that the increase of the glazing ratio increased energy demands and peak heating and cooling loads of the test office. The combination of high glazing ratio and a missing or poorly operated external shading system can lead to poor thermal comfort of occupants. In conclusion, utilization of an effective external shading system increases the likelihood of thermal comfort of occupants and significantly reduces cooling energy demand and peak cooling load.

Keywords: office buildings, glazing ratio, shading, summer overheating, dynamic thermal simulation

ÚVOD

Po roce 1990 vyrostlo ve větších městech ČR mnoho administrativních budov s vysokým podílem prosklení fasád. Sklo je nesporně klíčovým prvkem fasády. Přivádí denní světlo a solární tepelné zisky do interiéru budovy, spoluvytváří vzhled budovy a umožňuje uživateli vizuální kontakt s venkovním prostředím.

V posledních letech stoupá počet letních a tropických dnů [1], což lze dokumentovat na existujících a veřejně dostupných datech (viz obr. 1). Roste také počet tropických nocí – tento jev je citelný zejména ve městech. Současně stoupají teploty v zimním období, mimo jiné klesá počet dnů, kdy venkovní teplota klesá pod nulu. Změna klimatických podmínek má dopad na tepelnou bilanci budov.



Obr. 1 Počet letních (a) a tropických dnů (b) – ilustrace trendů 20. století, počty stanoveny na základě venkovních teplot měřených na stanici Praha Klementinum [2]
Fig. 1 Number of summer (a) and tropical days (b) – representation of 20th century trends, the numbers are based on outdoor temperatures measured at Prague Klementinum Station [2]



a)



b)

Obr. 2 Příklad administrativních budov s velmi vysokým podílem prosklení: a) bez instalovaného systému venkovního stínění (PPF Gate); b) s instalovaným systémem venkovního stínění (CIIRC, ČVUT v Praze)

Fig. Example of office buildings with a very high glazing ratio: a) without any external shading system (PPF Gate); b) with installed external shading system (CIIRC, CTU in Prague)

Typická moderní administrativní budova obvykle mívá vysoké zastoupení plochy zasklení v celkové ploše fasády (viz obr. 2). Často se dokonce jedná o 100% zasklení bez parapetu. Oblíbenost skla zřejmě plyne z jeho dnešní dostupnosti, vysoké technické úrovně současných lehkých obvodových pláštů a také osobního postoje architektů. Skleněné výplně, byť dnešní kvality, však stále mají značně horší tepelněizolační schopnost než neprůsvitné prvky obálky budovy.

I přes výrazný podíl zasklení fasády jsou některé budovy zcela bez systému venkovního stínění (obr. 2a). Některé fasády administrativních budov jsou naopak vybaveny systémem pohyblivého venkovního stínění (obr. 2b). Provozování takového systému je často ponecháno na uživateli, který ale v letním období může být na pracovišti dlouhodobě nepřítomen (dovolená). Navíc se uživatel často o zatažení žaluzií nerozhoduje zcela racionálně. Např. nemusí být kvalitně informovaný o dopadech použití či nepoužití systému stínění na tepelnou bilanci své kanceláře. Reálné (ne)použití venkovních žaluzií na administrativní budově v květnovém horkém dni ukazuje obr. 3.

Dnešní administrativní budovy jsou obvykle stavěny jako poměrně lehké stavby. Nosnou konstrukci často tvoří železobetonový skelet obalený lehkým obvodovým pláštěm. Nejsou zde tedy žádné masivní obvodové

stěny ani masivní vnitřní nosné stěny. Oddělení vnitřních prostorů bývá kvůli požadavkům na prostorovou flexibilitu řešeno pomocí lehkých montovaných konstrukcí opláštěných tenkými deskami o nízké hmotnosti. Jedinou výraznou akumulační hmotou tak bývá stropní deska, případně prostorové ztužení budovy. Strop je ale často ze spodní strany přikrytý podhledovou vrstvou a z vrchní strany souvrstvím podlahy. Obojí do značné míry omezuje sdílení tepla mezi interiérem a hmotou stropu.

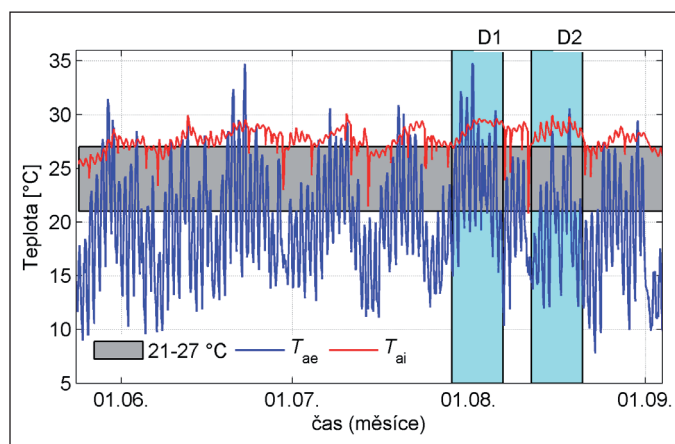
Další charakteristikou dnešních administrativních budov je vysoká úroveň vnitřních tepelných zisků. Na velmi malé ploše může být vměstnáno mnoho pracovníků. Prakticky každý z nich používá počítač a další elektrické spotřebiče (např. tiskárny, kopírky, chladničky, rychlovarné konvice). Vnitřní tepelné zisky se realizují v průběhu denní (pracovní) doby, a tedy existuje časový souběh vnitřních a solárních tepelných zisků.

Díky kombinaci solárních a vnitřních tepelných zisků a dobré tepelněizolační schopnosti obálky může mít vnitřní teplota uvnitř administrativních budov tendenci přesahovat přiměřenou úroveň. Na obr. 4 jsou zobrazeny měřené údaje z kanceláře v budově „A“ Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Naměřené teploty vnitřního vzduchu systematicky překračovaly 27 °C. Tato tendence je zde patrná, přestože v kanceláři o ploše cca 15 m² sedí jen jeden uživatel, který navíc důsledně používá systém venkovního stínění.



Obr. 3 Budova „A“, ČVUT, Fakulta stavební, JZ fasáda, 19. 5. 2017 v 15.00 hodin, přibližně 2/3 žaluzií jsou vytaženy

Fig. 3 Building „A“, CTU, Faculty of Civil Engineering, SW facade, 19. 5. 2017 at 3 pm, about 2/3 of blinds are opened



Obr. 4 Měřené údaje z kanceláře A431 na ČVUT, Fakulta stavební, budova „A“, JZ fasáda, barevně jsou vyznačena dvě časová období bez přítomnosti uživatele (dovolená): žaluzie plně zataženy (D1), žaluzie plně vytaženy (D2)

Fig. 4 Measured data from office A431 at CTU, Faculty of Civil Engineering, building „A“, SW facade, two time-periods without presence of occupants (vacation) are marked by colours: blinds fully closed (D1), blinds fully opened (D2)

Cílem tohoto článku je provést rozbor tepelné bilance jednoduché modelové kanceláře v administrativní budově. Účelem je zjistit, jaký vliv má zastoupení zasklených ploch v ploše fasády a účinnost systému pohyblivého stínění solárních zisků na vybrané ukazatele energetického chování. Těmito ukazateli jsou měrná potřeba tepla na vytápění a chlazení (v kWh/(m²a); ukazatele energetické efektivity budovy), měrný špičkový výkon vytápění a chlazení (ve W/m²; ukazatel velikosti investice do zdrojů energie a koncových prvků pro sdílení tepla) a rozdíl mezi požadovanou teplotou vnitřního vzduchu a operativní teplotou v modelové kanceláři (ve °C; ukazatel tepelné pohody).

METODA

Modelová místnost

Modelová místnost představuje kancelář pro dvě osoby při jižní fasádě administrativní budovy (viz obr. 5). Fasádu kanceláře charakterizuje vysoká tepelněizolační kvalita parapetu i zasklení a poměrně nízká

propustnost zasklení pro solární energii. Kancelář je větrána systémem nuceného větrání, v chladných obdobích se zpětným získáváním tepla. Podrobné informace o modelové místnosti jsou shrnuty v tab. 1.

Výpočtový model

Výpočty byly provedeny s vlastním zjednodušeným simulačním modelem, který je schematicky zobrazen na obr. 6.

Každý uzel v modelu představuje obyčejnou diferenciální rovnici prvního řádu, která vyjadřuje zákon zachování energie. Soustava obyčejných diferenciálních rovnic může být zapsána ve formě stavového modelu:

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (1)$$

kde je:

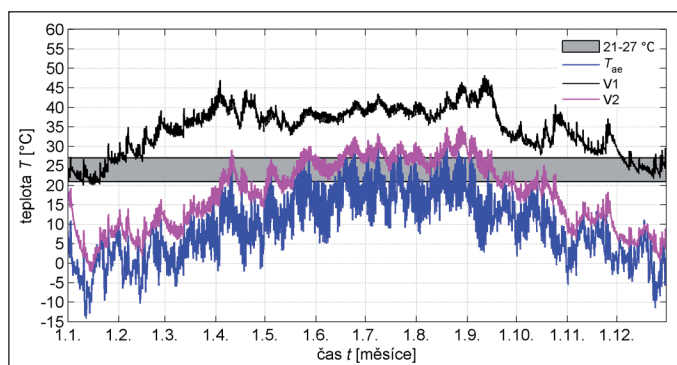
A matice systému,

B matice vazeb systému na vstupy,

Tab. 1 Souhrn informací o modelové místnosti

Tab. 1 Summary of information about the test room

Základní údaje	
Poloha v rámci budovy	jižní fasáda
Vnitřní rozměry	3,0 m × 5,2 m × 3,3 m
Objem vzduchu	51,5 m ³
Podlahová plocha	15,6 m ²
Počet osob	2 os (7,8 m ² /os)
Teplosměnná plocha obálky	9,9 m ²
Podíl plochy transparentní části k ploše fasády A_w/A_{fas}	proměnná v rozmezí <0–1,0> za referenční variantu se považuje $F_w = 0,55$
Stavební prvky ve styku s venkovním prostředím (ext)	
Transparentní část	součinitel prostupu tepla 1,0 W/(m ² K) (rám + zasklení dohromady)
	propustnost zasklení pro solární energii 0,40 (pro kolmý dopad); v modelu se uvažuje závislost propustnosti na úhlu dopadu
	podíl rámu v ploše okna 0,07
Parapetní část	součinitel prostupu tepla 0,24 W/(m ² K), odpovídá cca 16 cm minerální vaty
Tepelněizolační vlastnosti U_{em}	průměrný součinitel prostupu tepla obálky modelové místnosti, pro referenční variantu $U_{em} = 0,66$ W/(m ² K)
Vnitřní stavební prvky (int)	
Příčky mezi kancelářemi	panely na bázi dřeva tl. 100 mm, vylehčené vzduchovými dutinami
Stěna do chodby	zdivo z keramických cihel 150 mm vylehčených vzduchovými dutinami
Strop s podlahou	koberec 10 mm, železobeton 200 mm, bez podhledu
Tepelné mosty a vazby (tb)	
Příčky a sloupky fasády jsou započítány do hodnoty součinitele prostupu tepla.	
Obsazenost a vnitřní tepelné zisky	
2 osoby/kancelář – v pracovních hodinách (Po–Pá 8.00–17.00); 60 W/os metabolické teplo, 120 W na elektrické spotřebiče, tj. celkem 240 W (odpovídá 15,4 W/m ² podlahové plochy), mimo pracovní dobu 20 W.	
Technické systémy	
Umělé osvětlení	Paušálně zahrnuto v hodnotě 240 W (viz výše). V simulaci jinak neuvažováno – velmi závisí na uživateli a dostupnosti denního světla. Korelace mezi stíněním a rozsvícením zářivek nebyla modelována.
Systém větrání	Průtok vzduchu 60 m ³ /h v pracovních hodinách (30 m ³ /(h os)) + konstantní průtok vzduchu 3 m ³ /h (netěsnosti). Účinnost ZZT 85 %; bypass aktivován, když $T_{ae} > 15$ °C; bypass deaktivován, když $T_{ae} < 5$ °C. Do větrací jednotky se přivádí vzduch o venkovní teplotě ¹⁾ . Noční větrání se neuvažuje.
Systém vytápění a chlazení	Požadované teploty 21 °C/27 °C (teplota vnitřního vzduchu), výkon vytápění a chlazení neomezený a okamžitě dostupný, předpokládá se výkon sdílený ze 100 % konvektivně. Neuvažuje se předchlazování v nočním období.
Stínicí systém	Předpokládá se venkovní pohyblivý stínicí systém ²⁾ . Stínění je aktivováno (nastaví se konstantní hodnota činitele stínění F_{sh} , za referenční variantu se považuje $F_{sh} = 0,3$), když operativní teplota $T_{op} > 26$ °C. Stínění je deaktivováno (nastaví se $F_{sh} = 1$), když $T_{op} < 23$ °C ³⁾ .
Poznámky: ¹⁾ Ve skutečnosti by v létě byl větrací vzduch během dne patrně dochlazován na přiměřeně nízkou teplotu. V simulačním výpočtu se nezohledňuje možný požadavek na odvlhčování přiváděného vzduchu. ²⁾ Stínění vlivem okolního horizontu není v simulačním modelu uvažováno. ³⁾ Operativní teplotou se míní průměrná operativní teplota v místnosti (průměrná hodnota pro celý vnitřní prostor). Algoritmus provozu stínicího systému předpokládá, že existuje korelace mezi akcí uživatele (použití stínicího prostředku) a průměrnou operativní teplotou. Stažení žaluzií jako reakce na oslnění uživatele či špatnou čitelnost monitoru nebylo v modelu uvažováno.	



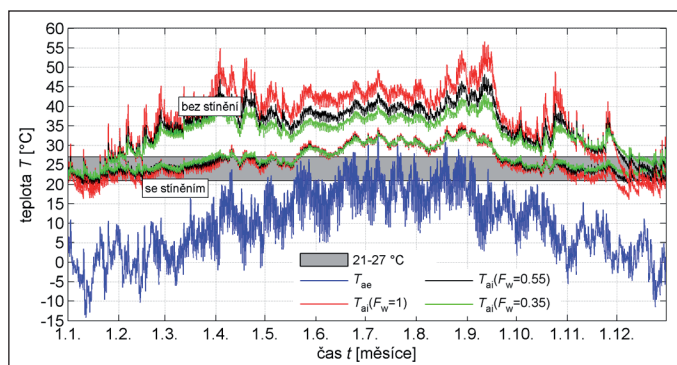
Obr. 7 Teplota vnitřního vzduchu v modelové kanceláři během roku v režimu, kdy by kancelář nebyla ani vytápěna ani chlazená: V1 – kancelář s referenčními parametry dle tab. 1; V2 – kancelář geometricky shodná, avšak s mnohem hůře tepelně izolovanou obálkou

Fig. 7 Internal air temperature in the test office during a year when the office was neither heated nor cooled: V1 – office with reference parameters according to Tab. 1; V2 – geometrically identical office with much less thermally insulated enclosure

Kvůli špatné tepelněizolační kvalitě obálky u varianty V2 solární a vnitřní tepelné zisky příliš nezvedají teplotu vnitřního vzduchu. Místnost je potřeba vytápět přibližně sedm měsíců v roce, ale zároveň v letním období teplota vnitřního vzduchu přesahuje 35 °C. Obálka budovy u varianty V1 (odpovídá současnému stavu) je výrazně lépe tepelně izolována než u V2. Průběh teploty vnitřního vzduchu u V1 se proto posunul směrem vzhůru a systematicky značnou část roku překračuje horní mez komfortního pásma. Modelová kancelář o těchto parametrech se téměř obejde bez vytápění, ale značně se prodloužilo období, kdy by bylo potřeba její chlazení.

Dále je analyzován vliv změny podílu prosklení obálky a přítomnosti systému stínění na průběh teploty vnitřního vzduchu v modelové kanceláři s vlastnostmi dle tab. 1. Na obr. 8 jsou zobrazeny průběhy teploty vnitřního vzduchu v modelové kanceláři pro tři hodnoty podílu prosklení F_w ve variantách se stíněním a bez stínění.

Potřeby tepla na vytápění, resp. chlazení jsou úměrné velikosti ploch v grafu ležících mezi průběhem teploty vnitřního vzduchu a dolní, resp. horní mezí komfortního pásma. Teplotní rozdíl, který by bylo třeba eliminovat vytápěním, je velmi malý, a to u všech variant podílu prosklení i činitele stínění. To je důsledek kombinace vysokých vnitřních tepelných zisků a dobré tepelněizolační schopnosti obálky budovy. Je však také patrné, že rozdíl teploty vnitřního vzduchu od dolní meze komfortního



Obr. 8 Teplota vnitřního vzduchu v modelové kanceláři během roku v režimu, kdy by kancelář nebyla vytápěna ani chlazená (uvažován různý podíl prosklení F_w pro varianty se stíněním a bez stínění)

Fig. 8 Internal air temperature in the test office during a year when the office was neither heated nor cooled (with consideration of different glazing ratio F_w for the variants with shading and without shading)

pásma se přece jenom zvyšuje se zvyšujícím se podílem prosklení. Se zvyšujícím podílem prosklení se tedy bude zvyšovat i potřeba tepla na vytápění a špičkový výkon vytápění.

U nestíněných variant je vzdálenost teploty vnitřního vzduchu od horní meze pásma komfortu značná, a to nejenom během letního období, ale i během brzkého jara, resp. pozdního podzimu. Jedním z důvodů je to, že na jižně orientovanou svislou plochu dopadá nejvíce energie v jarních, resp. podzimních měsících. Samotné snížení podílu prosklení situaci o něco zlepšit, ale zdaleka nevyřeší. Naopak stínění transparentní části velmi přiblíží průběh teploty vnitřního vzduchu k horní hranici komfortního pásma a zároveň se zkrátí doba, kdy teplota vnitřního vzduchu překročí horní mez komfortního pásma. I se stíněním ($F_{sh} = 0,3$) však po určitou část roku teplota vnitřního vzduchu vystupuje nad horní mez komfortního pásma, a tedy existuje potřeba chlazení. Nicméně z velikosti teplotního rozdílu, který by bylo potřeba dochladit, lze usuzovat, že potřeba tepla na chlazení bude v porovnání s nestíněnými variantami o mnoho nižší. Existence funkčního stínění také prakticky smazává rozdíl vznikající kvůli různé míře prosklení fasády.

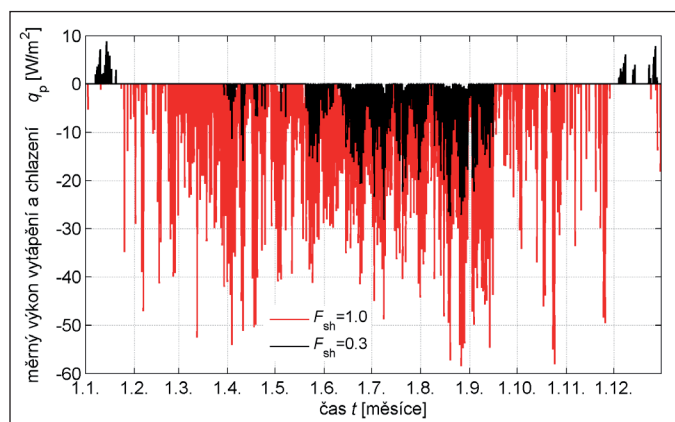
Kancelář s vytápěním a chlazením

Jedná se o výsledky referenční varianty modelové kanceláře ($F_w = 0,55$) za předpokladu, že je teplota vnitřního vzduchu udržována systémem vytápění a chlazení v zadaných mezích (viz tab. 1). Nejprve jsou zobrazeny měrné výkony vytápění a chlazení pro varianty se stíněním a bez stínění (viz obr. 9).

V absolutních hodnotách odpovídá špičkový výkon pro modelovou kancelář přibližně 120 W pro vytápění (cca 8 W/m²) a 420 W pro chlazení pro variantu se stíněním (cca 27 W/m²), resp. 900 W pro variantu bez stínění (cca 60 W/m²). Z průběhu výkonu je zřejmé, že chlazení představuje převážující potřebu během roku, a to u obou variant. U varianty zcela bez stínění ovšem existuje potřeba chladit od února do listopadu, kdežto u varianty se stíněním je chlazení potřeba jen během velmi teplých období.

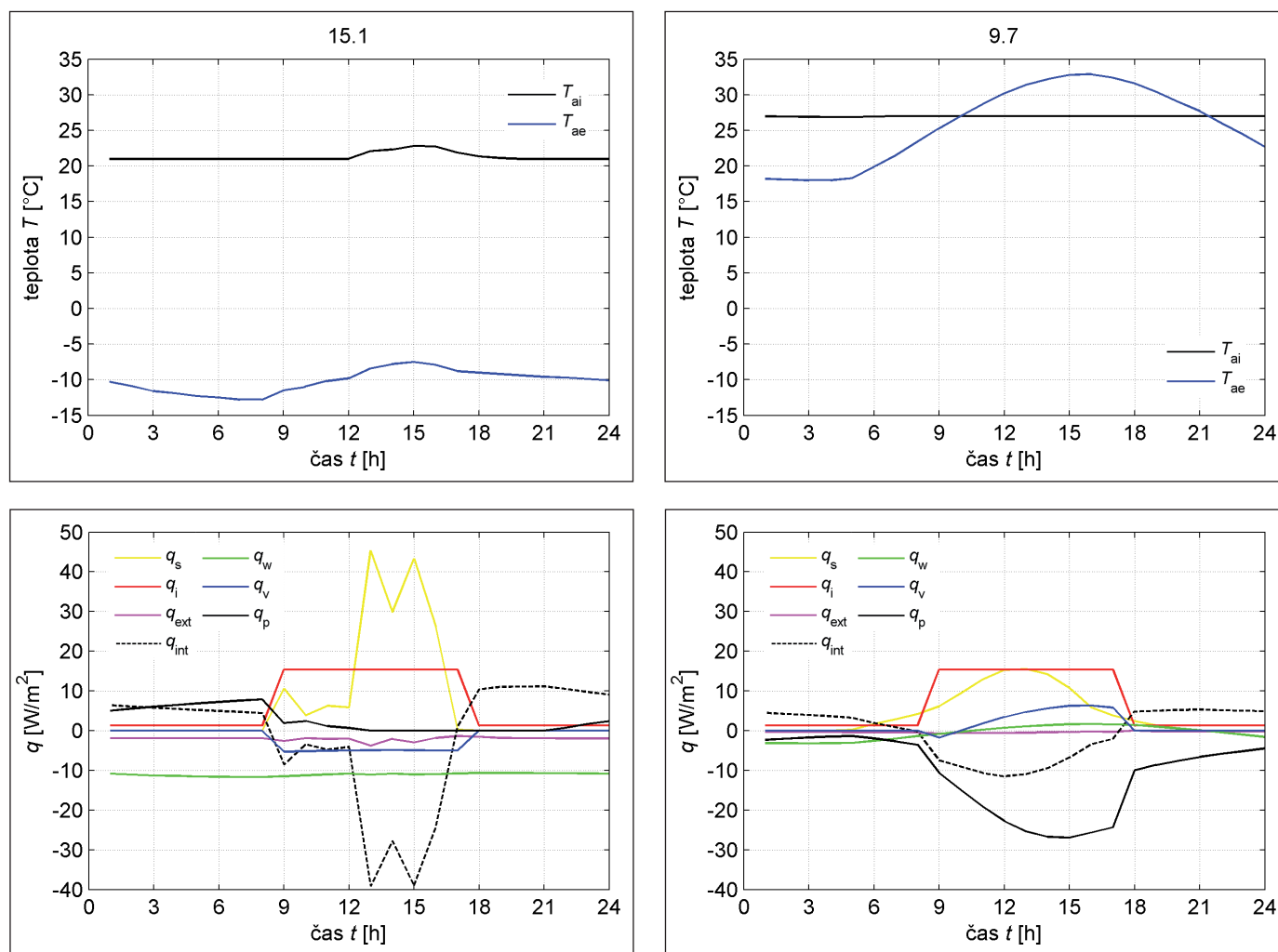
Na obr. 10 jsou zobrazeny průběhy teplot a jednotlivé měrné tepelné toky v modelové místnosti během dnů, kdy došlo ke špičkovým výkonům vytápění a chlazení. Všechny tepelné toky jsou vztahy k velikosti podlahové plochy modelové místnosti a mají tedy rozměr W/m². Kladné hodnoty znamenají tepelný zisk (směřují dovnitř prostoru vymezeného vnitřními rozměry). Záporné hodnoty směřují ven z vnitřního prostoru.

Špičkový výkon vytápění q_p nastal 15. ledna přibližně v 8.00 h (těsně před východem slunce v nejchladnějším dnu v roce). Velikost špičkového



Obr. 9 Měrné výkony vytápění (kladné hodnoty) a chlazení (záporné hodnoty) během simulovaného roku pro referenční variantu kanceláře a dvě varianty koeficientu stínění F_{sh}

Fig. 9 Specific heating (positive values) and cooling (negative values) loads during the simulated year for the reference variant of the office and two variants of the shading factor F_{sh}



Obr. 10 Tepelná bilance modelové kanceláře během dnů se špičkovými výkony vytápění (15. ledna – vlevo) a chlazení (9. července – vpravo)

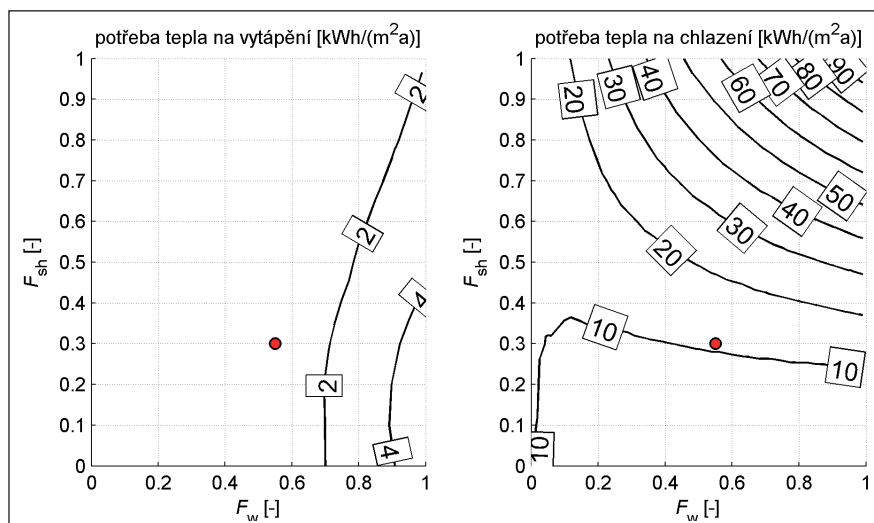
Fig. 10 Heat balance of the test office during the days with peak heating load (15th January – left) and peak cooling load (9th July – right)

výkonu přibližně odpovídá tepelné ztrátě prostupem přes transparentní část obálky budovy q_w . Teplo akumulované během předchozího dne ve vnitřních stavebních prvcích q_{int} (strop, podlaha, přičky) totiž přibližně pokrývá tepelnou ztrátu přes parapet q_{ext} a tepelnou ztrátu větráním q_v , a tedy snižuje velikost špičkového výkonu vytápění.

Solární tepelné zisky mohou ve velmi chladném slunném zimním dnu zcela kompenzovat tepelné ztráty, přestože je teplota venkovního vzduchu hluboce pod nulou. Využití solárních tepelných zisků je ale závislé na přítomnosti akumulační hmoty uvnitř prostoru a také na dostatečně pružné regulaci otopného systému (v simulaci se předpokládá dokonalá regulace, realita je vždy v nějaké míře odlišná).

Špičkový výkon chlazení q_p nastal odpoledne 9. července přibližně ve 14.30 h (odpoledne slunného horkého dne). Existuje časový souběh solárních q_s a vnitřních q_i tepelných zisků, prostupu tepla přes transparentní část obálky budovy q_w (z venkovního prostředí směrem dovnitř) a zároveň potřeby větrat q_v (teplým venkovním vzduchem) kvůli přítomným uživatelům. Solární tepelné zisky q_s procházející přes transparentní část obálky budovy jsou zásadně

redukovány systémem venkovního stínění. I přes odstínění je však dovnitř prošlá část svojí hodnotou řádově podobná vnitřním tepelným ziskům q_i . Teplo akumulované během denní doby ve vnitřních stavebních prvcích q_{int}



Obr. 11 Měrná potřeba tepla na vytápění a chlazení modelové kanceláře pro různé kombinace podílů prosklení a korekčního činitele stínění

Fig. 11 Specific heating and cooling needs of the test office for various combinations of glazing ratio and shading correction factors

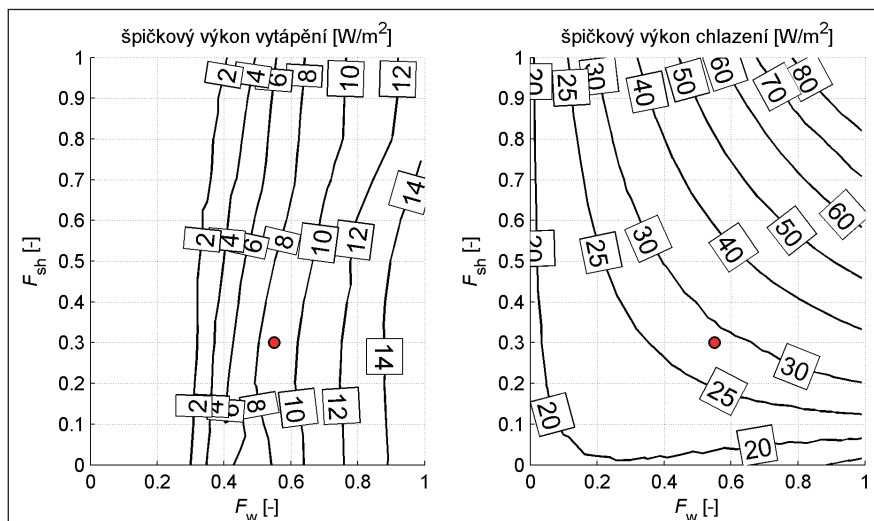
z podstatné části kompenzuje solární tepelné zisky q_s , a tedy snižuje velikost špičkového výkonu chlazení q_p (o cca 10 W/m²). Toto snížení špičkového výkonu odpovídá přibližně jedné třetině v porovnání s případem bez možnosti akumulace tepla ve vnitřních stavebních prvcích. Vlivem tepelného toku do vnitřních stavebních prvků také dochází k posunutí okamžiku, kdy ke špičkové hodnotě chladicího výkonu dochází (odsunutí špičky o cca 2 hodiny). Naakumulované teplo je nicméně potřeba postupně odebírat během následující noci.

Zobrazení trendů

Na obr. 11 až 13 jsou výsledky simulace modelové místnosti (měrná potřeba tepla na vytápění a chlazení, špičkové měrné výkony vytápění a chlazení, ukazatele tepelného komfortu) vyneseny v závislosti na obou proměnných faktorech – podílu prosklení F_w a korekčním činitelem stínění F_{sh} . Červený bod v grafech označuje referenční variantu (podíl prosklení $F_w = 0,55$, korekční činitel stínění $F_{sh} = 0,3$, při splnění předpokládaných podmínek pro aktivaci stínění, viz tab. 1). Solární tepelné zisky jsou ovlivněny oběma proměnnými faktory – podílem prosklení i korekčním činitelem stínění. Podíl prosklení také ovlivňuje tepelněizolační kvalitu obálky (vyjádřitelnou hodnotou průměrného součinitele prostupu tepla obálky U_{em}). Zvyšování podílu prosklení vede k růstu průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} (od teoretické hodnoty 0,24 W/(m²K) při nulovém prosklení do 1,0 W/(m²K) při 100% prosklení).

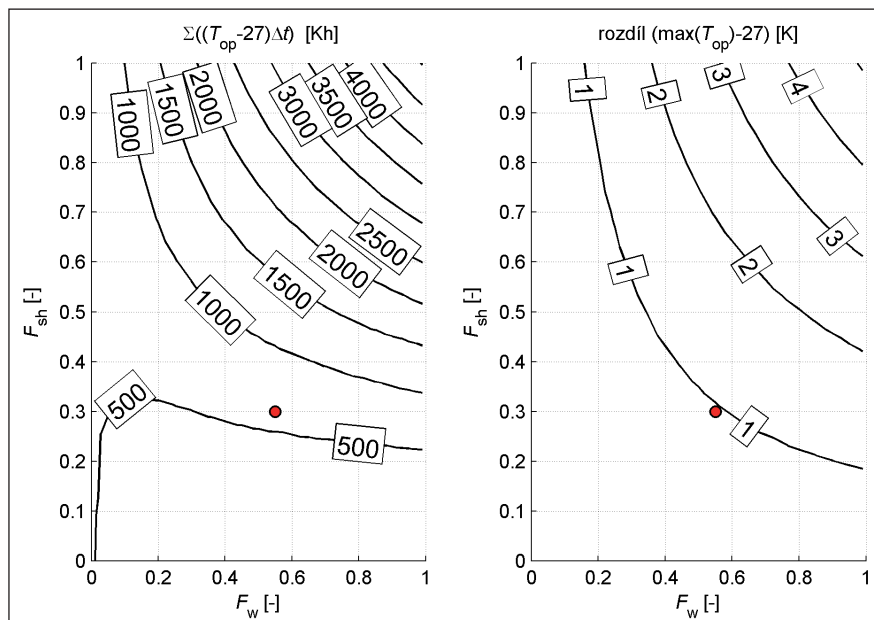
Zvýšení podílu prosklení v daném rozsahu vedlo ke zvyšování špičkového výkonu vytápění (rozmezí 2 až 14 W/m²) a k velmi malému zvýšení hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění (rozmezí 2 až 4 kWh/(m²a)). Změna korekčního činitele stínění neměla výrazný vliv na měrnou potřebu tepla na vytápění ani na špičkový výkon vytápění. Toto ovšem platí pro simulaci předpokládaný algoritmus provozu žaluzií (viz tab. 1), kdy se nemodeluje stahování žaluzií kvůli oslnění uživatele či zvýšení čitelnosti monitoru (což může být také ovlivněno existencí stínících prvků na vnitřní straně zasklení). Obě akce se během zimního období (slunce je nízké nad obzorem) mohou v provozu kanceláře ve skutečnosti systematicky uplatňovat.

Změna podílu prosklení při dostatečně účinném stínění příliš neovlivňovala potřebu tepla na chlazení – viz plocha ve spodní části pravého grafu na obr. 11, kde měrná potřeba tepla na chlazení je nižší než 10 kWh/(m²a). Změna podílu prosklení při nedostatečně účinném stínění naopak ovlivňovala potřebu tepla na chlazení zásadně (viz rozptyl 10 až 90 kWh/(m²a) pro $F_{sh} = 1$). I za předpokladu dokonalého odstínění solárních tepelných zisků však nastala potřeba chlazení ve velmi teplých dnech (špičkový výkon chlazení byl nižší než 20 W/m²). Teplo, které je potřeba chlazením odvést, způsobují vnitřní tepelné zisky a potřeba větrat. Zvyšování hodnoty korekčního činitele stínění vedlo u variant s vysokým podílem prosklení ke značnému zvýšení špičkového výkonu chlazení. Špičkový výkon chlazení byl u kanceláře s plně prosklenou nestíněnou fasádou čtyřnásobný (cca 80 W/m²) v porovnání se stejnou, ale dobře stíněnou kancelář (cca 20 W/m²). Snižování hodnoty



Obr. 12 Měrné špičkové výkony vytápění a chlazení modelové kanceláře pro různé kombinace podílu prosklení a korekčního činitele stínění

Fig. 12 Specific peak heating and cooling loads of the test office for various combinations of the glazing ratios and shading correction factors



Obr. 13 Vlevo: kumulovaný rozdíl operativní teploty a požadované teploty vnitřního vzduchu (počet hodinostupňů za období chlazení); vpravo: rozdíl ročního maxima vnitřní operativní teploty a požadované teploty vnitřního vzduchu pro různé kombinace podílu prosklení a korekčního činitele stínění
Fig. 13 Left: accumulated difference in operating temperature and set-point internal air temperature (number of degreehours per cooling period); right: difference between the annual maximum of the indoor operative temperature and set-point internal air temperature for various combinations of the glazing ratios and shading correction factors

korekčního činitele stínění nemusí ve skutečnosti představovat jen nižší účinnost samotného stínicího prostředku. Vysoké hodnoty korekčního činitele mohou do jisté míry představovat situaci, kdy by stínicí systém sice byl přítomný, ale nebyl by správně používán.

Kumulovaný rozdíl operativní teploty od požadované teploty vnitřního vzduchu (tj. počet hodinostupňů za období chlazení, kdy operativní teplota překročila požadovanou teplotu vnitřního vzduchu), resp. rozdíl maximální roční hodnoty operativní teploty od požadované teploty vnitřního vzduchu pro chlazení (27 °C), jsou zvolené ukazatele tepelné pohody (viz obr. 13). Čím nižší bude rozdíl operativní teploty od teploty vnitřní-

ho vzduchu, tím větší bude pravděpodobnost dosažení tepelné pohody uživatelů (samozřejmě za předpokladu, že je návrhová teplota vnitřního vzduchu správně nastavena). Rozdíl operativní teploty a požadované teploty vnitřního vzduchu při vysokém podílu prosklení fasády bez venkovního stínění přesahoval 4 °C. Rozdíl operativní teploty a teploty vnitřního vzduchu se zmenšoval se snižujícími se hodnotami korekčního činitele stínění a podílu prosklení. Kumulovaný rozdíl operativní teploty od požadované teploty vnitřního vzduchu rovněž klesal se snížením podílu prosklení a vyšší účinností stínění.

DISKUZE

Celkový přehled o potřebách energie a špičkových výkonech v závislosti na dvou důležitých ovlivňujících faktorech (podíl prosklení fasády, korekční činitel stínění) by mohl architektovi pomoci zvolit přiměřený kompromis v návrhu obálky budovy. Dobrých kombinací může být více.

Při interpretaci výsledků je vhodné mít na paměti, že pozorované trendy jsou platné pro danou modelovou místnost a okrajové podmínky, ale nemusí být úplně obecně platné. I proto je vhodné, aby byl návrh výpočtově prověřován již ve fázi architektonické studie, k čemuž ovšem v praxi zpravidla nedochází.

Potřeba chladit může u administrativních budov vznikat kombinací vysokých vnitřních tepelných zisků (obsazenost budovy pracovníky a intenzivní využití elektrických spotřebičů) a dobré tepelněizolační kvality obálky budovy podle dnešních požadavků. V našich klimatických podmínkách i s dokonalým odstíněním solárních tepelných zisků budou pravděpodobně existovat období, kdy by teplota uvnitř kanceláře bez chlazení stoupala nad horní mez pásma komfortu.

Účinným systémem venkovního stínění velmi klesne potřeba tepla na chlazení i špičkový výkon chlazení, jak bylo demonstrováno na obr. 11 a 12. Špičkový výkon chlazení se navíc pravděpodobně posune do oblasti, kdy může být pokrytý vysokoteplotními systémy chlazení (velké teplosměnné plochy, malý rozdíl teploty povrchu a teploty vzduchu). Odstínění přímé složky solárního záření je však také výhodné pro uživatele, typicky sedícího v blízkosti okna. Solární záření díky tomu nedopadá na povrch lidského těla a lokální operativní teplota tedy nebude příliš vzdálena teplotě vnitřního vzduchu. Pokud by okna nebyla stíněna, bylo by pro dosažení tepelné pohody uživatele třeba snížit požadovanou úroveň teploty na termostatu. Důsledkem by byla potřeba vyššího výkonu chlazení, a tedy například potřeba vyšších průtoků vzduchu (pokud se teplo odvádí konvektivně), a tím zvýšení rizika pocitu průvanu.

Pro každou budovu je třeba hledat optimální provozní režim systému stínění, což může být organizační, ale i technický problém při změně nájemce prostorů. Obecně je potřeba dostatečně robustní algoritmus provozu systému venkovního stínění, který nebude úplně závislý na libovůli uživatelů (letní období – základní denní poloha je „staženo“, noční poloha „vytaženo“, zimní období – základní denní poloha je „vytaženo“, noční poloha „staženo“). Také je třeba zajistit, aby takový algoritmus byl skutečně uveden do provozu. Uživatel by ovšem měl mít nad systémem nadřazenou roli, tj. možnost individuálního nastavení systému venkovního stínění v přiměřené míře. V rámci obálky se také nevylučuje použití pevných stínících překážek, pokud se to prokáže jako účinné.

Vnitřní tepelné zisky představují v tepelné bilanci kancelářského provozu nezanedbatelnou položku. Snížením obsazenosti se zvyšuje potřeba tepla na vytápění a snižuje potřeba tepla na chlazení. Předpovídat reálnou obsazenost kanceláře ve fázi návrhu je ale velmi obtížné. Obsazenost je proto značným zdrojem nejistoty výstupních údajů simulačního výpočtu. Ovlivnit obsazenost prostoru také prakticky není v moci architekta. Kolik lidí se do daného prostoru musí vměstnat, je dáno zejména cenou za

pronájem. V průběhu života stavby se obsazenost navíc může výrazně měnit při změně nájemců.

I přes vysokou tepelněizolační kvalitu obálky dnešních budov a přes pravděpodobné oteplování klimatu v budoucnosti bude stále potřeba administrativní budovy vytápět. Potřebné měrné výkony ale budou velmi nízké a patrně také bude existovat velký rozdíl potřebného výkonu mezi nocí a dnem. Je otázkou, jaké existují možnosti pro zrovnomnění výkonu a také jaké systémy vytápění mohou velmi nízké výkony efektivně do prostoru předat. Logicky to vede k aktivnímu využívání akumulací hmoty, k velkým teplosměnným plochám, využití stavebních prvků ke sdílení tepla (např. rozvod potrubí integrovaný ve stropu nebo podlaze) a malým rozdíly teploty mezi prostředím a teplosměnným médiem. Přidruženou otázkou je vhodný systém regulace a jeho nastavení.

Pro snížení potřeby tepla na chlazení by bylo možné využívat i dalších opatření, která ovšem v tomto příspěvku nebyla hodnocena. Jedním z opatření je noční větrání, které bohužel v zastavěných oblastech nemusí být dostatečně účinné kvůli vysokým venkovním nočním teplotám. Důležitou otázkou je také spotřeba elektrické energie na pohon ventilátorů v případě, že by pro provětrání bylo využíváno systému nuceného větrání (tak jako tak pravděpodobně v budově přítomného). Dalším úsporným opatřením, které by mohlo pomoci snížit potřebu tepla na chlazení, je adaptivní nastavení teploty na termostatu. Teplota na termostatu by mohla být odvozována z nedávné historie venkovní teploty a neměla by být příliš vzdálena od teploty venkovního vzduchu (teorie adaptivního komfortu).

Neprůsvitné plochy obálky („ušetřené plochy prosklení“) na osluněné straně administrativních budov by mohly být využívány jako solární fotovoltaické kolektory. Přeměněná elektrická energie z těchto zdrojů by mohla být použita na chlazení, které je dle výpočtů potřeba během denní doby i při dokonalém odstínění solárních tepelných zisků. Případně by vyprodukovaná elektrická energie mohla být využívána pro pokrytí provozu elektrických spotřebičů uvnitř budovy, kdy opět existuje předpoklad souběhu produkce a potřeby. Bylo by vhodné provést podrobný rozbor časového nesouladu a velikosti nabídky a poptávky po elektrické energii v modelovém administrativním provozu a kvantifikovat potenciál při změně velikosti zasklení a kolektoru.

ZÁVĚRY

Požadavky na snížení potřeby energie na provoz budov a požadavky na vnitřní prostředí v budovách dnes značně stouply a není úplně jednoduché je všechny pokrýt. Proto je třeba hledat opatření, která působí synergicky na více důležitých oblastech návrhu budovy najednou. Jedním z takových klíčových opatření, které má zásadní vliv (nejen) na tepelnou bilanci budovy, je podíl prosklení obálky budovy a jeho stínění, jak bylo ukázáno v prezentovaných analýzách. Jelikož se v článku zohledňovala zejména energetická kritéria, bylo by vhodné tuto studii doplnit pohledem světelného technika a architekta.

Při návrhu administrativní budovy je potřeba hledat rozumnou míru prosklení její obálky a účinný způsob odstínění solárních tepelných zisků. Zvyšování podílu prosklených ploch přinášelo v provedené výpočtové studii zhoršení energetické efektivity (zvýšení potřeb tepla na vytápění a chlazení), zvýšení investice do instalovaného zdroje energie a koncových prvků (zvýšení špičkových výkonů vytápění a chlazení) a zhoršení tepelného komfortu uživatelů kanceláře (velký rozdíl mezi operativní teplotou a požadovanou teplotou vnitřního vzduchu, resp. velmi vysokou teplotou vnitřního vzduchu u variant bez chlazení).

Přiměřený podíl plochy prosklení v ploše fasády lze chápat jako „prekurzor“ nižší potřeby tepla na chlazení a nízkého špičkového výkonu chlazení. Pro jejich co největší snížení je však třeba zároveň snížit úro-

veň solárních tepelných zisků funkčním systémem venkovního stínění, a pokud je to možné, tak také snížit úroveň vnitřních tepelných zisků použitím úsporných elektrických spotřebičů a přiměřenou obsazeností prostoru kanceláře.

Pokud bude stínění solárních tepelných zisků účinné, špičkový výkon chlazení pravděpodobně klesne na úroveň, kterou je možné pokrýt vysokoteplotními systémy chlazení. Výkony vytápění dnešních administrativních budov se již běžně pohybují na velmi nízké úrovni. Problematickou otázkou je tedy volba vhodného koncového prvku, který teplo do místnosti předá či z místnosti odebere. Otázku musí řešit architekt společně s projektantem technických systémů, a to nejlépe již ve fázi studie. Vhodné může být použití simulačních výpočtů již v této fázi, ačkoliv to v běžné praxi není obvyklé.

Klimatické podmínky se v budoucnu mohou změnit. Je aktuální otázkou, do jaké míry s tím při návrhu nových budov počítat. Systematické zvýšení průměrné roční teploty venkovního vzduchu by mohlo vést ke zvýšení potřeb tepla na chlazení i špičkových výkonů chlazení, při poklesu potřeby tepla na vytápění a špičkového výkonu otopné soustavy. V samostatném článku by bylo vhodné provést kvantitativní analýzu změny potřeb tepla, špičkových výkonů a ukazatelů komfortu vnitřního prostředí v závislosti na očekávaných klimatických změnách.

Kontakt na autora: pavel.kopecky@fsv.cvut.cz

Poděkování: Tento článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. L01605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti.

Použité zdroje:

- [1] Citace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Definice pojmů letní den, tropický den, tropická noc. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/>
- [2] KOPECKÝ, P. *Hygro-thermal performance of earth-to-air heat exchangers – numerical model, analytical and experimental validation, measurements in-situ, design*. Praha, 2008. Dizertační práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [3] DAVIES, M. G. *Building Heat Transfer*. Wiley, 2004.
- [4] MATHWORKS. *Matlab* [software]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/>
- [5] JUDKOFF, R., NEYMARK, J. *International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*. NREL, 1995.
- [6] KOPECKÝ, P. Comparative Testing of Simplified Lumped Parameter Building Thermal Models. In: *Central Europe towards Sustainable Building 2016 – Innovations for Sustainable Future*. CESB16 Prague, 22.–24. 6. 2016. Praha: Grada Publishing, 2016, s. 789–795. ISBN 978-80-271-0248-8.
- [7] KOPECKÝ, P. *Subtask 4 – Validation experiments on Twinhouses, Report to Experiment 1*. Interní report pro IEA Annex 58 – Reliable Building Energy Performance Characterisation Based on Full Scale Dynamic Measurements.
- [8] FRAISSE, G. et al. Development of a simplified and accurate building model based on electrical analogy. *Energy and Buildings*. 2002, č. 34.
- [9] METEOTEST AG. *Meteonorm* [online]. Dostupné z: <https://meteotest.ch/>

Seznam označení:

- A_w celková plocha transparentní části obálky budovy [m²]
 A_{op} celková plocha neprůsvitné části obálky budovy [m²]
 A_{fas} celková plocha obálky budovy ($A_{fas} = A_{op} + A_w$) [m²]
 A_i celková teplosměnná plocha stavebních prvků obklopujících vnitřní prostředí [m²]

- F_w podíl prosklení ($F_w = A_w / A_{fas}$) [-]
 F_{sh} korekční činitel stínění (F_{sh} = celkový solární tepelný zisk procházející do místnosti přes transparentní část obálky budovy/celkový tepelný tok od solárního záření dopadajícího z venkovní strany transparentní části obálky budovy) [-]
 T_{ai} teplota vnitřního vzduchu [°C]
 T_{ae} teplota venkovního vzduchu [°C]
 T_e ekvivalentní venkovní teplota [°C]
 T_{ra} teplota centrálního teplotního uzlu [°C]
 T_{op} průměrná vnitřní operativní teplota; v simulačním modelu se zjednodušeně odhaduje jako: $T_{op} = 0,4 T_{ai} + 0,6 T_{ra}$; vychází se z předpokladu, že střední radiční teplota vnitřních povrchů není významně rozdílná od teploty centrálního uzlu [°C]
 U_{em} průměrný součinitel prostupu tepla obálky modelové kanceláře [W/(m²K)]
 q_p měrný výkon vytápění (kladné hodnoty) či chlazení (záporné hodnoty) [W/m²]^{*)}
 q_s měrný solární tepelný zisk [W/m²]^{*)}
 q_i měrné vnitřní tepelné zisky [W/m²]^{*)}
 q_{ext} měrný tepelný tok do/z netransparentních stavebních prvků přiléhajících do exteriéru (parapet + část nad oknem) [W/m²]^{*)}
 q_{int} měrný tepelný tok do/z vnitřních stavebních prvků (příčky+ strop + podlaha) [W/m²]^{*)}
 q_w měrný tepelný tok přes transparentní část obálky [W/m²]^{*)}
 q_v měrný tepelný tok větráním [W/m²]^{*)}
 α_c průměrný součinitel přestupu tepla prouděním mezi vnitřním vzduchem a okolními povrchy; v simulačním modelu se předpokládá hodnota 3 W/(m²K) [W/(m²K)]
 α_r průměrný součinitel přestupu tepla sáláním mezi vnitřními povrchy modelové místnosti, v simulačním modelu se předpokládá hodnota 5 W/(m²K) [W/(m²K)]
 Φ_r celkový tepelný tok předávaný vnitřnímu prostředí modelové kanceláře zařazením (tvoří ho sálavý podíl solárních i vnitřních tepelných zisků a výkonu koncových prvků systému vytápění a chlazení) [W]
 Φ_c celkový tepelný tok předávaný vnitřnímu prostředí modelové kanceláře prouděním (tvoří ho konvektivní podíl solárních i vnitřních tepelných zisků a výkonu koncových prvků systému vytápění a chlazení) [W]

^{*)} Všechny tepelné toky označované jako q jsou vztaženy k velikosti podlahové plochy modelové kanceláře.

Fläkt Group na špičce ve větrání

S obratem kolem 700 mil. € a 3 750 zaměstnanci patří skupina Fläkt Group do evropské špičky v oboru větrání, chlazení a klimatizace. Skupina vznikla v říjnu 2016 pod střechou investora Triton, ze spojení Denco-Happel, Delbag a FläktWoods. Na ISH/Aircontec 2017 předvedla systémy rozličných oborů, především zařízení pro větrání a klimatizaci.

Moduly Re-Cooler HP (kde HP je tepelné čerpadlo) uzavírají řadu přístrojů pro úpravu venkovního vzduchu. Vestavěné jednotky Re-Cooler pro systémy větrání eQPrime se skládají z nastavitelného komplexu tepelné čerpadlo/chladič zařízení a hygrokopického rotačního tepelného výměníku, dovolujícího získat zpět až 85 % energie. Řada ReCooler HP se dodává v 7 velikostech (rotor a mechanika) od 22 do 113 kW a jmenovitých výkonech od 28 do 290 kW.

Pramen: CCI 05/2017, s. 6

(AB)

Nejlepší portály
o stavebnictví



Největší stavební portál
pro odborníky v ČR

ESTAV.cz

Portál pro širokou
stavební veřejnost