

VLIV ORIENTACE BUDOVY NA MOŽNOSTI VYUŽITÍ PŘIROZENÉHO VĚTRÁNÍ U DVOJITÝCH PROSKLENÝCH FASÁD

THE INFLUENCE OF BUILDING'S ORIENTATION AND THE POSSIBILITY OF USE NATURAL VENTILATION IN DOUBLE TRANSPARENT FACADE

Ing. arch. Kristýna Valoušková

ABSTRAKT

V současné době, kdy se většina výškových budov navrhuje s prosklenou fasádou, je vhodné zvážit možnost dvojité prosklené fasády. Využití těchto fasád má několik nesporných pozitiv, mezi které bezesporu patří možnost přirozeného větrání. Tato studie se zabývá vlivem orientace budovy na možnost využití přirozeného větrání ve výškových budovách se zmiňovaným typem fasády. Zkoumány jsou orientace prosklené fasády na jih, západ, sever a východ. Všechny tyto varianty jsou simulovány pomocí CFD (Computational Fluid Dynamics) v programu DesignBuilder s využitím výpočetního jádra EnergyPlus ve variantách 4 s konkrétními okrajovými podmínkami (den a hodina), které byly využity v předchozích studiích.

Klíčová slova: dvojí prosklená fasáda, PMV a PPD index, přirozené větrání, rychlost proudění, tepelný komfort

ABSTRACT

Nowadays, most of high-rise buildings are designed with glass façade. It is appropriate to consider the use of double transparent/glass facade. The use of these type of facades has several indisputable positives and using of natural ventilation is one of them. This study examines the influence of the orientation of the building to the possible use of natural ventilation in high-rise buildings. The examined orientation of the double transparent façade are south, west, north and east. All these variants are simulated by using Computational Fluid Dynamics (CFD) in software DesignBuilder with the EnergyPlus computational core in 4 specific external conditions (day and hour), which were already used in previous researches.

Key words: airflow velocity, double transparent façade, natural ventilation, PMV and PPD model, thermal comfort

1 ÚVOD

Důležitými venkovními okrajovými podmínkami, které mají výrazný vliv na tepelný výkon dvojité prosklené fasády a celé budovy jsou úroveň slunečního dopadu, orientace fasády, vnější návrhová teplota a povětrnostní podmínky [7].

Hamze [7] a *Gratia* [4] se shodli, že nejméně příznivá orientace pro dvojité fasády je východ-západ, kdy značně narůstají tepelné zisky budovy a vzniká tedy vyšší potřeba na chlazení. Pokud je fasáda orientovaná na východ, k přehřívání dochází v brzkých ranních hodinách, přičemž největší tepelné zisky při orientaci na západ jsou ve večerních hodinách ke konci dne. *Haase a spol.* [6] uvádějí, že nejvýhodnější orientace dvojité fasády je na jih, jihovýchod a jihozápad.

Kromě těchto zjištění, *Kim a spol.* [8] zmiňují, že pro budovy s přirozeným větráním taktéž není vhodná orientace fasády na východ, avšak orientace na západ dosahuje dostatečného slunečního záření a podporuje přirozené větrání vnitřního prostoru. Na základě studií o přirozeném větrání budov s dvojitou fasádou situovaných na severní polokouli by měla být orientace fasády na jih (s možností variace otočení o 45°) nejefektivnější.

1.1 Požadavky na pracovní prostředí

Požadavky na tepelně-vlhkostní stav pracovního prostředí stanovuje nařízení vlády č. 93/2012 Sb. [9]. Pro hodnocení se používá operativní teplota t_o nebo výsledná teplota kulového teploměru t_g , která je vypočtená jako časově vážený průměr za efektivní dobu práce. Směrodatnou teplotní veličinou pro Severní Ameriku je teplota vzduchu v interiéru t_i . V následujících tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny mikroklimatické požadavky na pracovní prostředí.

Třída práce	M [W/m ²]	$t_{o,min}$ nebo $t_{g,min}$ [°C] (1 clo)	$t_{o,max}$ nebo $t_{g,max}$ [°C] (0.5 clo)	v_a [m/s]	Rh [%]
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 150	18	25		

Tab. 1 Mikroklimatické podmínky pro pracoviště třídy I a IIa s přirozeným nebo nuceným větráním [9]

	$t_{i,min}$ [°C]	Rh [%]	v_a [m/s]
Limity	23 až 28 (letní období) 20 až 25,5 (zimní období)	30 až 60	≤ 0,25
Reference	ASHRAE Standard 55-2013 ISO 7730	ASHRAE Standard 55-2013 ISO 7730	WHO ISO 7730

Tab. 2 Standarty a pokyny pro kvalitu vnitřního prostředí pro Severní Ameriku [1]

1.2 Předpověď tepelného komfortu

Norma ČSN EN ISO 7730 – Ergonomie tepelného prostředí [2] zavádí ukazatele PMV (předpověď středního tepelného pocitu) a PPD (předpověď procentuálního podílu nespokojených), které lze stanovit na základě faktorů ovlivňujících tepelný pocit člověka – tělesná činnost, tepelný odpor oděvu, teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu, střední radiační teplota a rychlost proudění vzduchu. Tepelný pocit člověka je vyjádřen sedmibodovou stupnicí dle Tab. 3.

PMV	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3
Tepelný pocit	zima	chladno	mírné chladno	neutrální	mírné teplo	teplo	horko

Tab. 3 Stupnice tepelných pocitů

Dle ASHRAE viz 55-2013 [1] by se měly hodnoty PMV ukazatele pohybovat v rozmezí mezi $-0,5 \leq +0,5$. Hodnoty PPD ukazatele by měly dosahovat max. 10 % nespokojených.

2 POPIS STUDIE

Studie zaměřena na stanovení neoptimalnější orientace prosklené dvojité fasády ke světovým stranám v našich zeměpisných šířkách byla řešena s využitím softwaru DesignBuilder [3]. Pomocí výpočetního jádra EnergyPlus [4] byla vypočtena povrchová teplota konstrukcí, tepelný tok a průtokový objem vzduchu proudící fasádními otvory na základě vnějších okrajových podmínek. Bylo uvažováno s infiltrací konstrukcemi. Tyto výsledné hodnoty byly použity jako okrajové podmínky pro detailní výpočet CFD pro předem stanovenou hodinu v konkrétní dny. Proměnným faktorem studie byla orientace prosklené fasády vůči světovým stranám.

2.1 Popis modelu

Pro CFD simulaci bylo použito turbulentního modelu k- ϵ . Velikost mřížky byla stanovena na 0,1 m s tolerancí 0,03 m.

Model (Obr. 1) reprezentuje zjednodušený kancelářský prostor o rozměrech 4 x 7 m situovaný v 25. podlaží kancelářské budovy. Prosklená fasáda je orientována variantně a je tvořena jednoduchým zasklením s nízkou emisivitou se součinitelem prostupu tepla $U = 3,779 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, solárním faktorem $g = 0,78$ na pozici vnější fasády a dvojitým zasklením s nízkou emisivitou s $U = 1,493 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a solárním faktorem $g = 0,62$ na pozici vnitřní fasády. Rámy oken jsou navrženy hliníkové. Jako stínící prvky byly použity žaluzie s vysokou odrazivostí. Velikost okenních otvorů byla stanovena dle předchozí studie na 1,5% a 1,5% z plochy vnějšího zasklení (přívodní a odvodní prvky) a 6,5% z plochy vnitřního zasklení.

Simulace byly provedeny za předpokladu využití přirozeného větrání na základě vztaku v závislosti na okrajových podmínkách získaných z výpočetního jádra EnergyPlus. Posuzovány byly čtyři varianty s rozdílnými vnějšími okrajovými podmínkami, stanovené na konkrétní hodinu a den. Tyto okrajové podmínky byly již použity v předchozích studiích, aby bylo možné srovnání výsledků všech výzkumů. V každé variantě byly porovnávány orientace prosklené fasády na jih, západ, sever a východ.

Do modelu byl umístěn model sedící osoby, který představuje standartního pracovníka. Model pracovníka byl umístěn na střed místnosti 1,0 m od fasády, do místa předpokládané polohy pracovního stolu.

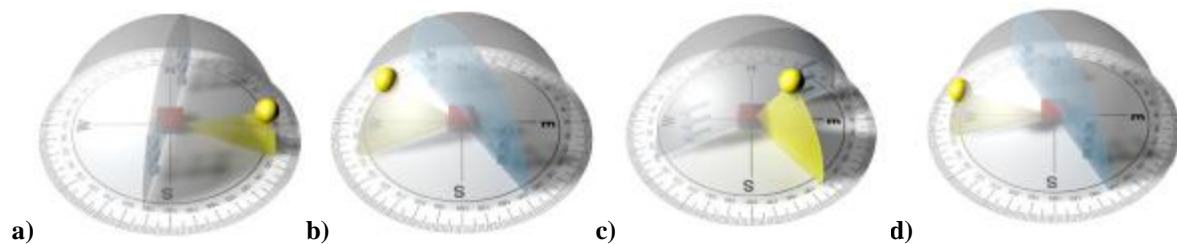
2.1.1 Okrajové podmínky

Výpočty byly provedeny ve 4 variantách pro lokalitu Praha 6 – Ruzyně. Okrajové podmínky pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v Tab. 4. Klimatické podmínky byly vybrány na základě předchozích studií.

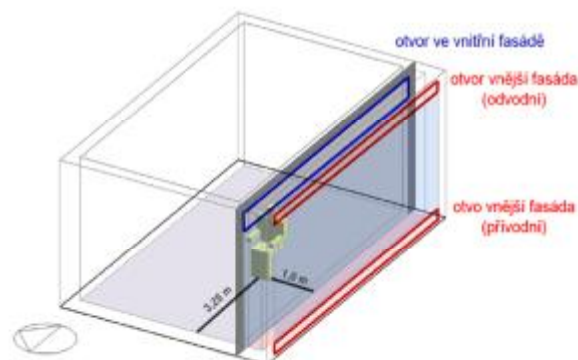
	Rh_e [%]	CL [clo]	MR [met]	t_e [°C]	w_d [°]	v_w [m/s]	S_A [°]	S_{AI} [°]
VARIANTA Č. 1 (8.4.2002 9.00)	33.07	0.61	1.30	13.5	12.5	1.00	113.52	30.09
VARIANTA Č. 2 (26.6.2002 15.00)	26.14	0.61	1.30	14.0	327.5	8.25	244.02	49.08
VARIANTA Č. 3 (4.7.2002 11.00)	51.40	0.57	1.30	21.7	60.0	4.33	142.17	58.38
VARIANTA Č. 4 (3.5.2002 16.00)	33.25	0.57	1.30	21.4	332.5	5.93	253.31	33.17

Tab. 4 Okrajové podmínky pro simulované varianty (dle EnergyPlus)

Rh_e ...	relativní vlhkost venkovního vzduchu [%]
CL ...	tepelný odpor oblečení (<i>clothing level</i>) [clo]
MR ...	tepelný výkon člověka (<i>metabolic rate</i>) [met]
t_e ...	teplota venkovního vzduchu (<i>incoming air temp.</i>) [°C]
w_d ...	směr větru (<i>wind direction</i>) [°]
v_w ...	rychlost větru (<i>wind velocity</i>) [m/s]
S_A ...	azimut Slunce (<i>solar azimuth</i>) [°]
S_{Al} ...	výška Slunce nad obzorem (<i>solar altitude</i>) [°]



Obr. 1 Grafické znázornění vnějších okrajových podmínek a) var. č. 1, b) var. č. 2 c) var. č. 3, d) var. č. 4 (žlutá – poloha Slunce, modrá – směr větru, červená – model kanceláře)



Obr. 2 Zjednodušený model kanceláře s dvojitou prosklenou fasádou

3 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ STUDIE

Následující část článku je věnována porovnávání chování tepelného komfortu uvnitř kanceláře s dvojitou prosklenou fasádou orientovanou na 4 různé světové strany. Důležitými veličinami pro posouzení stavu vnitřního prostředí byly stanoveny relativní vlhkost vnitřního vzduchu Rh_i , rychlost proudění vzduchu v_a , vnitřní teplota vzduchu t_a , operativní teplota t_o , střední radiační teplota t_r a stáří vzduchu LMA . Dále byl posuzován PMV a PPD ukazatel.

3.1 Varianta č. 1 (8. 4. 2002, 9:00)

Tabulka č. 5 obsahuje porovnání výsledků CFD simulace dvojitě prosklené fasády provedené v programu DesignBuilder [3]. Tučně jsou zvýrazněny vypočtené hodnoty, které neodpovídají limitům zmíněných v odstavci 1.1 Požadavky na pracovní prostředí.

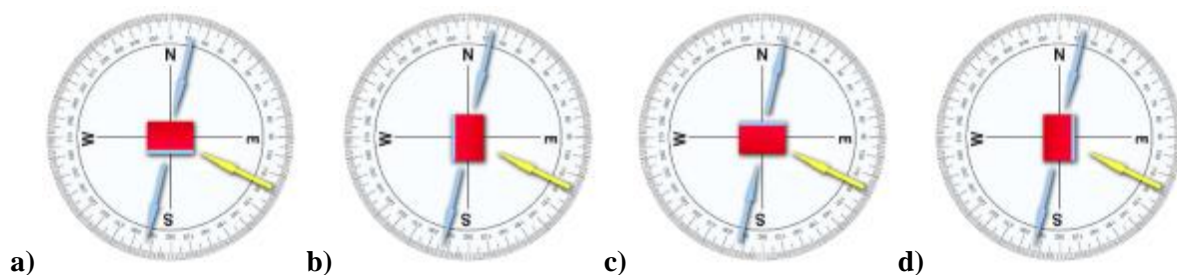
Ve variantě č. 1 se relativní vlhkost interiéru ve všech orientacích fasády pohybuje v limitech zmiňovaných v odstavci 1.1. Nejlépe však vychází orientaci na jih. Pro tuto variantu se všechny zkoumané parametry, obzvláště operativní teplota a teplota interiéru, nachází v optimálních hodnotách. Rychlost proudění vzduchu se pohybuje v mezních hodnotách pro české standarty, avšak

pro standardy Severní Ameriky je zcela v normě. Díky zvýšené rychlosti proudění vzduchu dochází rovněž k většímu provětrání interiéru a lepší výměně vzduchu, než v ostatních variantách.

Orientace ke světovým stranám		JIH	ZÁPAD	SEVER	VÝCHOD	
Relativní vlhkost v kanceláři Rh_i		38,42 %	33,55 %	34,94 %	36,71 %	
Okrajové podmínky pro CFD simulaci (dle výpočtů EnergyPlus)	V_a [m^3/s]	do fasády	0,114	0,113	0,112	0,158
		do kanceláře	0,102	0,028	0,026	0,109
	t_a [$^{\circ}C$]	kancelář	25,34	26,30	25,51	26,07
		fasáda	22,49	23,83	23,05	23,52
	t_o [$^{\circ}C$]	kancelář	25,55	26,01	25,15	25,84
		fasáda	24,25	23,93	22,93	25,91
	t_r [$^{\circ}C$]	kancelář	25,75	25,92	24,79	25,60
		fasáda	26,00	24,03	22,80	28,29
Výsledky CFD simulace	v_a [m/s]	rozsah	0,001 → 0,33	0,001 → 0,22	0,001 → 0,22	0,001 → 0,31
		oblast těla	0,12	0,10	0,12	0,14
		oblast kotníků	0,20	0,16	0,14	0,20
	LMA [s]	rozsah	0,00 → 1065	0,00 → 2647	0,00 → 2737	0,00 → 1116
		okolí pracovníka	945	2412	2624	1015
	PMV	oblast kotníků	0,08	0,32	0,11	0,09
		oblast těla	0,27	0,46	0,23	0,29
	PPD [%]	v blízkosti sedícího člověka	7,73	8,64	6,36	5,82

Tab. 5 Přehled výsledků pro variantu č. 1 (8. 4. 2002, 9:00) – 13,5 $^{\circ}C$

Ukazatel tepelného prostředí PMV se pohybuje v ideálních hodnotách, v oblasti neutrálního pocitu pro všechny varianty. V blízkosti kotníků je PMV index nižší, což je způsobeno vyšší rychlostí proudění vzduchu. Tato skutečnost může způsobovat lehký pocit diskomfortu, což je patrné z PPD indexu. Ten je v této variantě druhý nejvyšší, avšak stále se nachází v optimálním rozmezí se 7,73 % nespokojených uživatelů.



Obr. 3 Orientace prosklené fasády vzhledem k okrajovým podmínkám varianty č. 1
a) jih, b) západ, c) sever, d) východ

Orientace na východ při těchto okrajových podmínkách vychází v některých veličinách lépe. Ukazatel PPD dosahuje nejnižšího počtu nespokojených, tj. 5,82%. Avšak teplotně a co se týče provětrání místnosti, je na tom lépe varianta jih. Můžeme tedy předpokládat, že orientace jihovýchod by měla být nejoptimálnější.

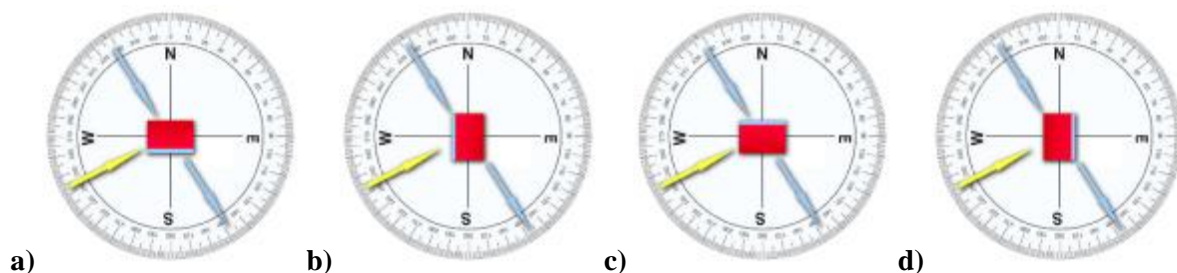
3.2 Varianta č. 2 (26. 6. 2002, 15:00)

Varianta č. 2 má velmi podobnou venkovní teplotu, avšak ostatní vnější okrajové podmínky jsou od varianty č. 1 rozdílné. Jedním z důležitých parametrů ovlivňující tepelný komfort uvnitř kanceláře je směr větru. Tučně jsou zvýrazněny hodnoty, které neodpovídají limitům pro Českou republiku [2] a Severní Ameriku [1].

Orientace ke světovým stranám			JIH	ZÁPAD	SEVER	VÝCHOD
Relativní vlhkost v kanceláři Rh_i			29,47 %	29,20 %	30,44 %	29,20 %
Okrajové podmínky pro CFD simulaci (dle výpočtů EnergyPlus)	V_a [m ³ /s]	do fasády	0,104	0,105	0,034	0,088
		do kanceláře	0,102	0,106	0,111	0,105
	t_a [°C]	kancelář	24,12	24,68	25,67	24,97
		fasáda	22,01	22,11	23,57	22,69
	t_o [°C]	kancelář	24,02	24,54	25,04	24,73
		fasáda	23,62	23,90	24,14	23,70
	t_r [°C]	kancelář	23,91	24,40	24,40	24,49
		fasáda	25,23	25,69	24,72	24,71
Výsledky CFD simulace	v_a [m/s]	rozsah	0,001 → 0,30	0,001 → 0,30	0,001 → 0,17	0,001 → 0,32
		oblast těla	0,11	0,11	0,09	0,12
		oblast kotníků	0,19	0,19	0,11	0,17
	LMA [s]	rozsah	0,00 → 1148	0,00 → 1170	0,00 → 2599	0,00 → 1205
		okolí pracovníka	1058	1069	2381	1094
	PMV	oblast kotníků	- 0,40	- 0,15	0,09	- 0,10
		oblast těla	- 0,07	0,03	0,24	0,06
	PPD [%]	v blízkosti sedícího člověka	5,27	5,18	5,73	5,55

Tab. 6 Přehled výsledků pro variantu č. 2 (26. 6. 2002, 15:00) – 14,0°C

Z tabulky je patrné, že pro varianty jih, západ a východ se relativní vlhkost v kanceláři pohybuje lehce pod doporučenými hodnotami. Nižší hodnota je způsobena nízkou relativní vlhkostí vnějšího vzduchu. V takových to případech nelze dosáhnout doporučených hodnot jinak, než dodatečným dovlhčováním. Rychlost proudění vzduchu v oblasti kotníků se ve variantách pohybuje od 0,09 m/s do 0,19 m/s, což je v rámci doporučených mezí. Pro variantu jih a západ se blíží limitním hodnotám pro Českou republiku.



Obr. 4 Orientace prosklené fasády vzhledem k okrajovým podmínkám varianty č. 2
a) jih, b) západ, c) sever, d) východ

Parametry hodnotící tepelnou pohodu vnitřního prostředí, tj. ukazatel PMV a PPD se opět ve všech variantách pohybují v příznivých hodnotách. Z hlediska ukazatele tepelného pocitu PMV nejlépe vychází varianta východ, procento nespokojených je naopak nejpříznivější ve variantě západ. Všechny varianty se pohybuje v blízkosti neutrálního tepelného pocitu. Ve variantě č. 2 můžeme konstatovat, že tři ze čtyř variant orientací vychází relativně podobně s nepatrnými odchylkami. S ohledem na provětrání a PMV index, vychází nejlépe varianty jih a západ. Můžeme tedy usuzovat, že neoptimálnější orientace by v tomto případě byla jihozápad.

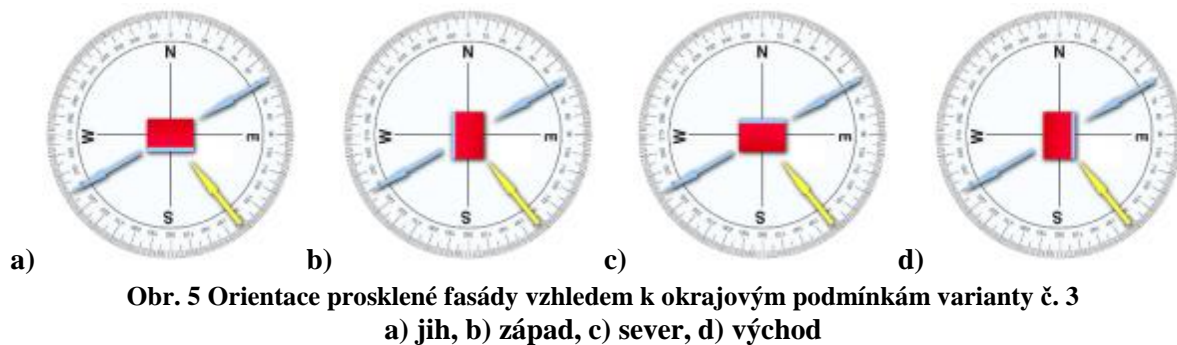
3.3 Varianta č. 3 (4. 7. 2002, 11:00) – 21,7°C

Okrajové podmínky varianty č. 3 se pohybují na pomyslné hranici, při které je stále možné využívat přirozené větrání [5]. V případě této varianty hraje velkou roli vnější teplota vzduchu, což se promítá taktéž na tepelném komfortu uvnitř kanceláře a tedy i procentuálně nespokojených uživatelů. Zvýrazněny jsou hodnoty, které neodpovídají limitům pro Českou republiku [2] a Severní Ameriku [1].

Orientace ke světovým stranám			JIH	ZÁPAD	SEVER	VÝCHOD
Relativní vlhkost v kanceláři Rh_i			47,14 %	47,69 %	48,63 %	46,48 %
Okrajové podmínky pro CFD simulaci (dle výpočtů EnergyPlus)	V_a [m ³ /s]	do fasády	0,220	0,207	0,185	0,202
		do kanceláře	0,126	0,136	0,131	0,129
	t_a [°C]	kancelář	29,33	29,19	28,76	29,67
		fasáda	26,48	25,84	25,48	26,55
	t_o [°C]	kancelář	29,32	29,51	29,97	29,75
		fasáda	28,68	27,85	27,03	28,81
	t_r [°C]	kancelář	29,32	29,83	29,17	29,82
		fasáda	30,85	29,86	28,58	31,06
Výsledky CFD simulace	v_a [m/s]	rozsah	0,001 → 0,32	0,001 → 0,32	0,001 → 0,31	0,001 → 0,30
		oblast těla	0,15	0,09	0,09	0,11
		oblast kotníků	0,20	0,21	0,20	0,22
	LMA [s]	rozsah	0,00 → 1085	0,00 → 849	0,00 → 907	0,00 → 1020
		okolí pracovníka	1034	826	850	987
	PMV	oblast kotníků	1,26	1,31	0,99	1,29
		oblast těla	1,41	1,49	1,39	1,42
	PPD [%]	v blízkosti sedícího člověka	46,52	47,41	41,52	48,94

Tab. 7 Přehled výsledků pro variantu č. 3 (4. 7. 2002, 11:00) – 21,7°C

Vzhledem k nepříliš příznivým okrajovým podmínkám, které byly zkoumány již v předchozích výzkumech, je z tabulky č. 7 patrné, že exteriérová teplota v kombinaci s nepříliš optimálními venkovními parametry má velký vliv na teplotu v interiéru kanceláře. Operativní teplota interiéru se ve všech variantách orientací prosklené fasády pohybuje za hranicí doporučených hodnot jako pro Českou republiku, tak pro Severní Ameriku.



Vysoká teplota způsobuje značný tepelný diskomfort, což má za důsledek vysoké procento nespokojených uživatelů a taktéž zvýšený pocit tepla. Hodnoty PMV ukazatele se pohybují v rozmezí mezi 1,0 do 1,49, což na stupnici tepelných pocitů odpovídá pocitu mírné tepla až tepla. V této variantě nejoptimálněji vychází orientace fasády na sever.

3.4 Varianta č. 4 (3. 5. 2002) – 21,4°C

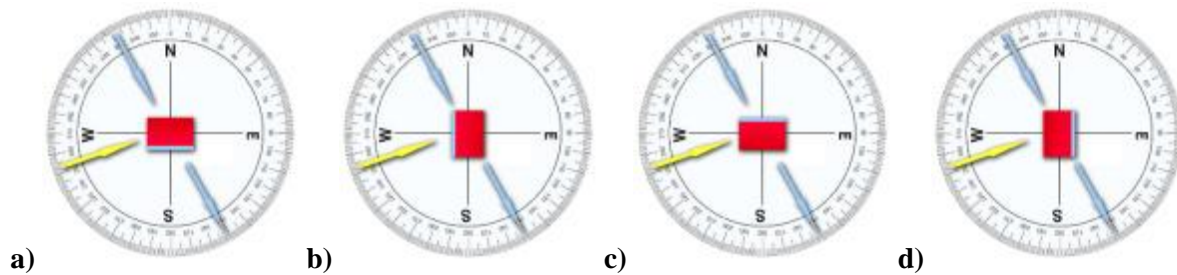
V poslední variantě je velmi podobná exteriérová teplota, jako v předchozí variantě č. 3. Ostatní venkovní okrajové podmínky jsou odlišné, což má za důsledek rozdílné výsledky. V tomto případě však žádný ze zkoumaných parametrů důležitých pro hodnocení tepelného komfortu a vnitřního prostředí nepřekračuje doporučené limity.

Orientace ke světovým stranám		JIH	ZÁPAD	SEVER	VÝCHOD	
Relativní vlhkost v kanceláři Rh_i		33,34 %	34,12 %	34,37 %	34,11 %	
Okrajové podmínky pro CFD simulaci (dle výpočtů EnergyPlus)	V_a [m^3/s]	do fasády	0,115	0,110	0,112	0,115
		do kanceláře	0,107	0,109	0,093	0,122
	t_a [°C]	kancelář	26,19	26,39	26,38	26,23
		fasáda	24,05	24,03	24,04	23,96
	t_o [°C]	kancelář	25,65	25,87	25,81	25,72
		fasáda	24,33	24,20	24,25	24,33
t_r [°C]	kancelář	25,11	25,34	25,25	25,21	
	fasáda	24,60	24,38	24,46	24,71	
Výsledky CFD simulace	v_a [m/s]	rozsah	0,001 → 0,24	0,001 → 0,25	0,001 → 0,25	0,001 → 0,24
		oblast těla	0,13	0,13	0,12	0,11
		oblast kotníků	0,17	0,18	0,16	0,15
	LMA [s]	rozsah	0,00 → 1139	0,00 → 1101	0,00 → 1133	0,00 → 1069
		okolí pracovníka	1053	992	1048	1011
	PMV	oblast kotníků	0,03	0,16	0,08	0,02
		oblast těla	0,27	0,32	0,28	0,27
	PPD [%]	v blízkosti sedícího člověka	6,31	7,81	7,27	6,14

Tab. 8 Přehled výsledků pro variantu č. 4 (3. 5. 2002, 16:00) – 21,4°C

Z předchozí tabulky 8 je patrné, že žádná ze zkoumaných veličin nepřekračuje doporučené hodnoty. Rychlost proudění vzduchu se pohybuje v ideálních parametrech od 0,11 m/s do 0,17 m/s, které zároveň umožňují dostatečné provětrání interiéru. Častým problémem bývá nízká relativní vlhkost

v interiéru, kdy je pak nutné dovlhčovat. V této variantě se relativní vlhkosti v kanceláři nachází v optimálních hodnotách pro všechny orientace prosklené fasády.



Obr. 6 Orientace prosklené fasády vzhledem k okrajovým podmínkám varianty č. 4
a) jih, b) západ, c) sever, d) východ

Z hlediska hodnocení tepelného komfortu nejlépe vychází varianta s orientací na východ, kde se tepelný pocit pohybuje v neutrálním hodnocení a je zde taktéž nejnížší procento nespokojených, tj. 6,14 %. Z hlediska teploty vychází nejlépe varianta s orientací na jih. Můžeme tedy opět předpokládat, že orientace prosklené fasády na jihovýchod by byla neoptimálnější.

4 ZÁVĚR

Vliv orientace budovy, konkrétněji dvojité prosklené fasády, na možnost využití přirozeného větrání při zachování optimálního tepelného komfortu, je závislý na klimatických podmínkách, kde jedním z nejdůležitějších faktorů je zeměpisná poloha budovy. Zkoumané varianty byly situované na severní polokouli, přesněji do lokality Praha 6 – Ruzyně. Ve třech ze čtyř zkoumaných variant nejlépe vycházely orientace na jih, jihovýchod, jihozápad, kdy docházelo k nejlepšímu provětrání interiéru a zároveň byl zajištěn dostatečný tepelný komfort pro uživatele.

Ve variantě č. 3 neoptimálněji vyšla orientace prosklené fasády na sever a to z důvodu celkově vysokých teplotních okrajových podmínek. Teplota v interiéru se ve všech variantách pohybovala za hranicí přijatelných limitů pro Českou republiku [2] a Severní Ameriku [1], který způsobil, že ukazatel předpovědi procentuálního podílu nespokojených se pohyboval kolem 50%.

Můžeme tedy konstatovat, že pro možnost využití přirozeného větrání u dvojitých prosklených fasád je orientace jednou ze stěžejních parametrů. Pro severní polokouli byla potvrzena teorie zmíněna v úvodu, že nevhodnější orientací dvojitě fasády je jih, jihovýchod, jihozápad.

Poděkování

Prezentované výsledky byly získány za podpory grantu SGS17/017/OHK1/1T/11.

Použitá literatura

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE. 2013. ISSN 1041-2336
- [2] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Praha: Český normalizační institut, říjen 2006.
- [3] DesignBuilder version 4.2.0.054
- [4] EnergyPlus version 8.1.0.009
- [5] GRATIA, E., De Herde, A., *Greenhouse effect in double-skin facade*. Energy and Buildings, 2007: vol. 39, s. 199-211, ISSN: 0378-7788
- [6] HAASE M., Marques da Silva F., Amato A., *Simulation of ventilated facades in hot and humid climates*. Energy and Buildings, 2009: vol 41, s. 361-373, ISSN: 0378-7788
- [7] HAMZA N., *Double versus single skin facades in hot arid areas*. Energy and Buildings, 2008: vol. 40, s. 240-248, ISSN: 0378-7788
- [8] KIM Y-M, Kim S-Y et al. *Contribution of natural ventilation in a double skin envelope to heating load reduction in winter*. Energy and Buildings, 2009: vol 44, s. 2236-44, ISSN: 0378-7788
- [9] *Nářízení vlády č. 93/2012 Sb., kterými se mění nařízení vlády č.361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č.68/2012 Sb.*
- [10] POZAIRIS H., *Double skin facades: Literature review*. Sweden: IEA SHC Tack 34, ECBCS Annex: 2006