

Ing. Vladimír JIRKA, CSc.  
Ing. Viacheslav SHEMELIN  
Ing. Bořivoj ŠOUREK, Ph.D.  
doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.  
ČVUT v Praze, Univerzitní  
centrum energeticky efektivních  
budov

# Simulace kancelářské místnosti s lehkým obvodovým pláštěm s optickými rastry



## Simulation of Office Room with Lightweight Building Envelope with Optical Rasters

Recenzenti:  
doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.  
Ing. Milan Janák, Ph.D.

*Príspevek se zabývá použitím skleněných rastrů s úhlově selektivní propustností slunečního záření pro snížení potřeby energie na vytápění v zimním a potřeby energie na chlazení v letním období v kancelářské budově. V rámci vývoje energeticky aktivního lehkého obvodového pláště byly experimentálně stanoveny optické charakteristiky trojskel se dvěma druhy optických rastrů (čelního asymetrického, symetrického převráceného), konvenčního trojskla s čirými skly a trojskla se zasklením s protisluneční ochranou. Charakteristiky byly použity jako vstupní informace pro celoroční simulaci typické kanceláře s uvažovanou skladbou lehkého obvodového pláště v podmínkách České republiky v různých orientacích fasády. Simulace byla provedena v prostředí TRNSYS a dosažené výsledky ukazují, že optické rastry mohou přinést energetické úspory jak při chlazení, tak při vytápění.*  
**Klíčová slova:** optický rastr symetrický a asymetrický, tepelná propustnost, TRNSYS, tepelné zisky

*The paper deals with the use of glass rasters with angularly selective solar radiation permeability in an office building, reducing the need for heating energy in winter and the need for cooling energy in the summer season. Optical characteristics of triple glass with two types of optical rasters (front asymmetric, inverted symmetric), conventional triple glass with clear glazing and triple glass with sun protection glazing were experimentally determined within the development of an energy active lightweight building envelop. The characteristics were used as an input information for a yearly simulation of a typical office, considering lightweight building envelope and various facade orientations in the Czech Republic. The simulation was performed in the TRNSYS environment. The obtained results show that optical rasters can bring energy savings for both cooling and heating.*

**Keywords:** symmetric and asymmetric optical raster, thermal permeability, TRNSYS, thermal gains

## ÚVOD

Skleněné rastry jako opakující se pravouhlé výtvarné hranoly, naválcované na plochou skleněnou desku, představují optické prvky, které mohou být použity jako alternativa k jiným stínícím a osvětlovacím prvkům. Rastry využívají totální odraz pro předem navržené a vypočítané rozmezí úhlů [1]. Výhodou všech optických rastrů je fakt, že reagují pouze na přímou, energeticky dominantní složku slunečního záření, kdy se paprsky na výtvarných hranolech řídí zákony geometrické optiky, zatímco rozptýlené (difuzní) světlo prochází do interiéru bez podstatných změn. Výsledkem je potom „změkčení“ teplotních a světelných rozdílů mezi osluněným a neosluněným prostředím bez dalších technických zařízení. Pro praktické využití to znamená, že rastr propouští po lomu přímé sluneční záření do interiéru v zimních měsících podobně jako ploché sklo, ale od počátku dubna do poloviny září, kdy jsou hodnoty úhlů výšky Slunce nad obzorem větší než 35°, rastr začíná přímé sluneční záření blokovat (odrážet zpět do exteriéru). Maxima blokace dosáhne rastr v období okolo letního slunovratu, kdy je Slunce nejvýš na obloze, doba a intenzita slunečního svitu nabývá největších hodnot a jsou kladeny nejvyšší energetické, a tedy i finanční požadavky na klimatizaci budov.

V rámci vývoje aktivního lehkého obvodového pláště [2] byly vytvořeny vzorky trojskel obsahující sklo s rastrem, na kterých bylo provedeno měření propustnosti přímého slunečního záření v závislosti na úhlu dopadu v sagitální a meridiální rovině. Získané charakteristiky byly následně použity pro matematické modelování energetické bilance typové místnosti v administrativním objektu, aby bylo možné kvantifikovat potenciál úspor při použití skel s rastry.

## TEORIE

Geometrie prizmatické struktury (rastru) může být navržena s využitím Snellova zákona a geometrických vztahů definujících trajektorii Slunce (výška Slunce, azimut Slunce) pro danou část roku a geografickou polohu. Rastry zkoumané pro využití v lehkém obvodovém plášti byly původně vyvinuty pro aplikaci ve dvojitěm zasklení pro skleníky [3]. Mezi výhody skleněných rastrů patří levná výroba kontinuálním litím (cena srovnatelná s běžným plochým sklem), bezobslužnost provozu (bez pohyblivých součástí) a v podstatě neomezená životnost.

### Asymetrický rastr

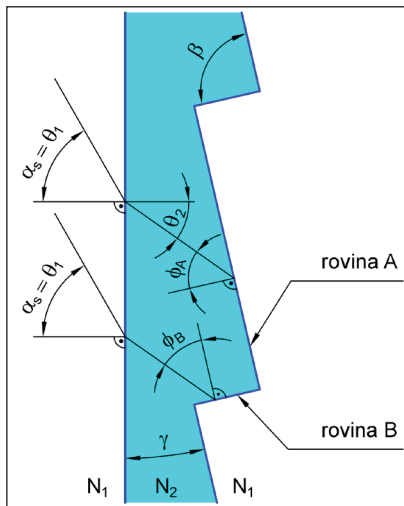
První zkoumaný optický rastr – asymetrický čelní rastr – používá modifikaci pravouhlého asymetrického rastru s plochým rozhraním obráceným čelem do exteriéru k přicházejícímu slunečnímu záření a vodorovnou prizmatickou strukturou přivrácenou do interiéru. Tento typ rastru byl původně vyvinut pro použití ve dvojitých svislých zaskleních. Geometrie čelního asymetrického rastru je znázorněna na obr. 1. Paprsky dopadající pod úhlem  $\theta_1$  na ploché rozhraní vzduch-sklo se lámou pod úhlem  $\theta_2$  ve skle podle Snellova zákona

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1)$$

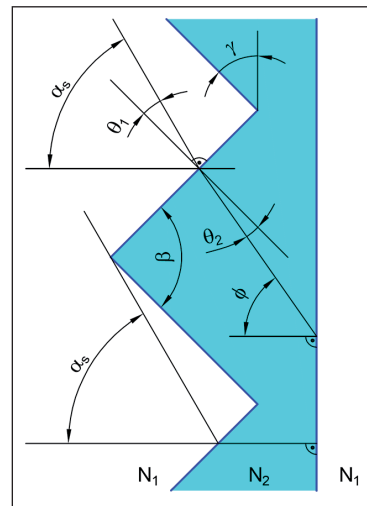
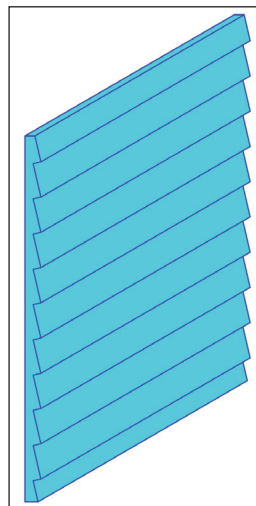
kde je:

$N_1$  index lomu pro vzduch ( $N_1 = 1$ ),  
 $N_2$  index lomu pro sklo ( $N_2 = 1,52$ ).

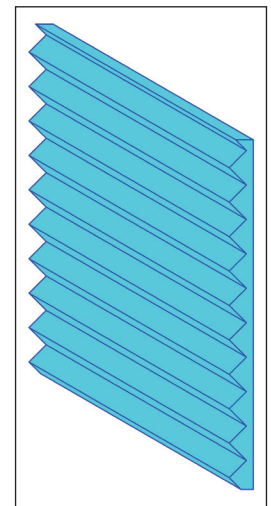
Úhel dopadu  $\theta_1$  je dán geometrií pohybu Slunce po obloze jako výška Slunce  $\alpha_s$ . Sluneční paprsky potom procházejí materiálem skla a do-



Obr. 1 Geometrie čelního asymetrického rastru  
Fig. 1 Geometry of the front asymmetric raster



Obr. 3 Geometrie převráceného symetrického rastru  
Fig. 3 Geometry of inverted symmetric raster



padají na dvě rozhraní sklo-vzduch (rovina A, rovina B) na zadní straně vrstvy zasklení. Z geometrie rastru mohou být odvozeny dvě obecné rovnice pro úhly sekundárního dopadu

$$\phi_A = \gamma + \theta_2 \quad (2)$$

$$\phi_B = 180 - \beta - \phi_A \quad (3)$$

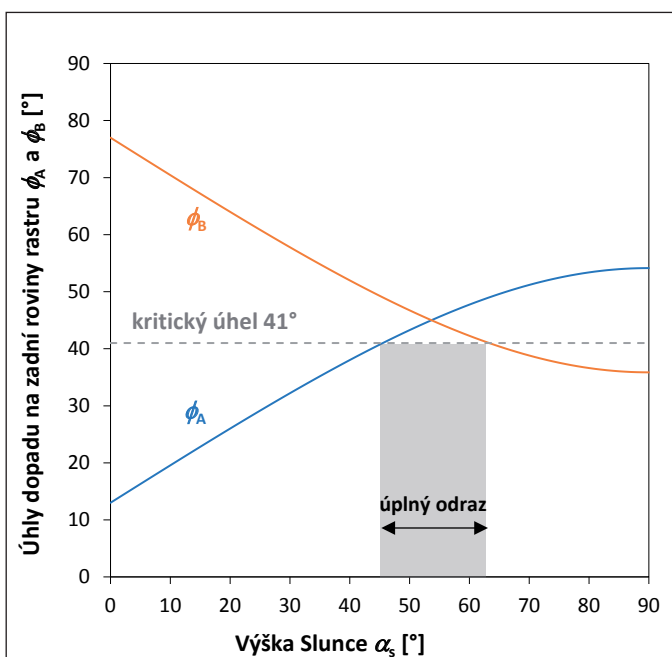
kde je:

$\gamma$  úhel základny rastru,

$\beta$  vrcholový úhel rastru.

Sluneční paprsky jsou zcela odraženy zpět do materiálu skla a neprocházejí rozhraním, pokud sekundární úhly dopadu  $\phi_A$  a  $\phi_B$  jsou větší než kritický úhel  $\phi_c$ , který lze vypočítat jako

$$\phi_c = \arcsin \frac{N_1}{N_2} \quad (4)$$



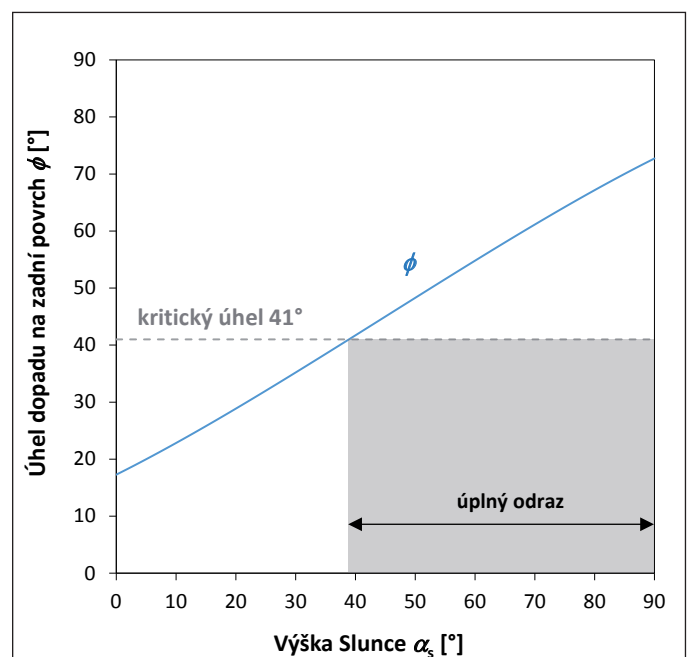
Obr. 2 Podmínky úplného vnitřního odrazu u čelního asymetrického rastru  
Fig. 2 Conditions for full internal reflection for the front asymmetric raster

V případě boritokřemičitého skla rastru je kritický úhel  $41^\circ$ . Obr. 2 ukazuje příklad geometrie zkoumaného pravoúhlého rastru ( $\gamma = 13^\circ$ ,  $\beta = 90^\circ$ ) navrženého pro zeměpisnou šířku  $50^\circ$  s maximální výškou Slunce  $63^\circ$  v poledne letního slunovratu.

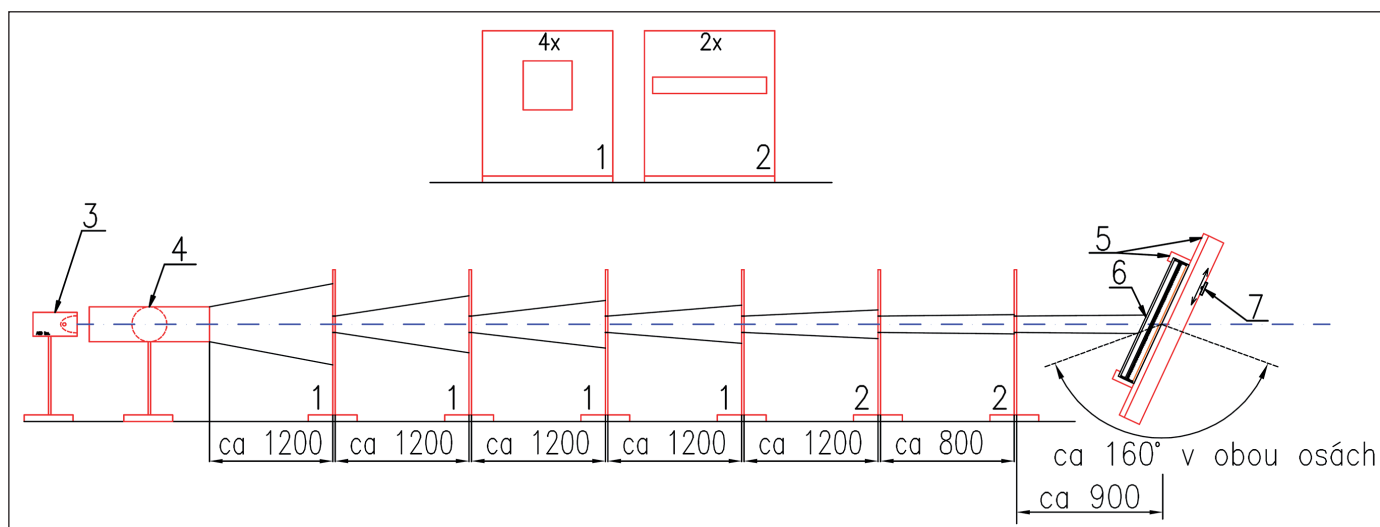
K úplnému odrazu přímého záření dochází, pokud je výška Slunce v rozsahu  $46^\circ$  až  $64^\circ$  (při instalaci rastru ve svislé poloze). To znamená, že rastr umožňuje stínění přímého záření od začátku dubna do začátku září. Takový rozsah dostatečně pokrývá potřebu letního stínění a tím snížení vnější tepelné zátěže interiéru. Mimo rozsah těchto úhlů přímé sluneční záření rastroem prochází. I v rozsahu úhlů, kdy je přímé záření blokováno, prochází difuzní záření téměř beze změny a zajišťuje tak přirozené denní osvětlení interiéru.

### Symetrický rastr

Druhým zkoumaným rastroem je převrácený symetrický rastr se strukturou přivrácenou k dopadajícímu slunečnímu záření z exteriéru a plochým povrchem přivráceným do interiéru. Rastr je geometricky navržen, aby



Obr. 4 Podmínky úplného vnitřního odrazu u převráceného symetrického rastru  
Fig. 4 Conditions for full internal reflection for the inverted symmetric raster



Obr. 5 Schéma měřicí trati: 1, 2 – clona; 3 – zdroj světla; 4 – kruhový homogenizátor; 5 – nosič vzorků; 6 – vzorek; 7 – detektor

Fig. 5 Diagram of measuring track: 1, 2 – orifice; 3 – light source; 4 – circular homogenizer; 5 – sample carrier; 6 – sample; 7 – detector

lámal sluneční paprsky na přijímacím povrchu pod úhlem, při kterém pak na zadním plochém povrchu dojde k úplnému odrazu (viz obr. 3).

Ve srovnání s čelním rastrem eliminuje převrácený symetrický rastr průchod slunečních paprsků ve velkém rozsahu úhlů dopadu i při použití pravouhlé struktury. Sluneční paprsky dopadající pod úhlem výšky Slunce  $\alpha_s$  a vyšší budou úplně odraženy na zadní ploché rovině (zadním povrchu zasklení), pokud úhel základny rastru  $\gamma$  bude navržen podle výpočtu z rovnice

$$\tan \gamma = \frac{1 - \sin \alpha_s}{\sqrt{N_2^2 - 1} - \cos \alpha_s} \quad (5)$$

Obr. 3 ukazuje sekundární úhel dopadu  $\phi$  na zadní rozhraní, který musí být větší než kritický úhel  $\phi_c$ , aby došlo k úplnému vnitřnímu odrazu. Při použití boritokřemičitého skla bude symetrický pravouhlý rastr s úhlem základny  $\gamma = 45^\circ$  zajišťovat blokaci přímého slunečního záření pro výšky Slunce nad  $39^\circ$  (viz obr. 4).

Maximální teoretický poměr blokace přímé složky slunečního záření je 90 %, v praxi ho ale nelze dosáhnout vzhledem k tomu, že jsou tyto rastry vyráběné metodou kontinuálního lití a při chladnutí struktury dochází ke geometrickým deformacím a zaoblování hran a reálná hodnota poměru blokace přímé složky záření je tak pod hodnotou 60 %.

## MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK

Měření charakteristik proběhlo na zařízení, které se skládá ze zdroje světla se spektrem velmi podobným slunečnímu, clonkové trati, která zajišťuje homogenizaci paprsků dopadajících na vzorek, a z nosiče vzorků namontovaného na altazimutální montáži umožňující otáčení v obou osách v rozsahu cca  $\pm 80^\circ$ . Na nosiči vzorků je také instalován pohyblivý detektor, který detekuje a integruje dopadající energii.

## SKLADBA MĚŘENÝCH VZORKŮ

Byly měřeny 4 vzorky – 2 klasická trojskla a 2 trojskla s rastrem:

- vzorek A – klasické hermetizované trojsklo;
- vzorek B – klasické stínící hermetizované trojsklo se zasklením Stopray;

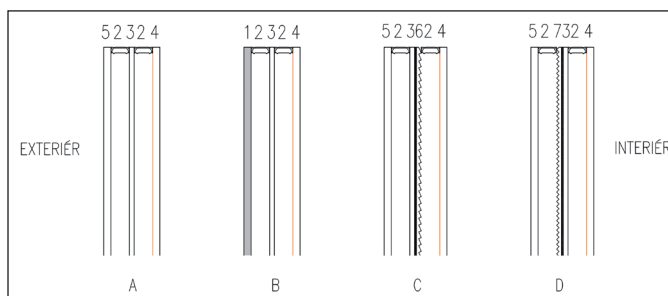
Tab. 1 Skladba trojskel

Tab. 1 Composition of triple glasses

Pozice	TL	Typ skla
1	6 mm	Planibel Stopray Ultra – 60 [2]
2	16 mm	Chromatech Ultra 16 – rámeček
3	3 mm	Planibel Clear [2]
4	6 mm	Planibel Low-e TopN+ [2]
5	6 mm	Planibel Clear [2]
6	4 mm	Asymetrický čelní rastr
7	4 mm	Symetrický převrácený rastr

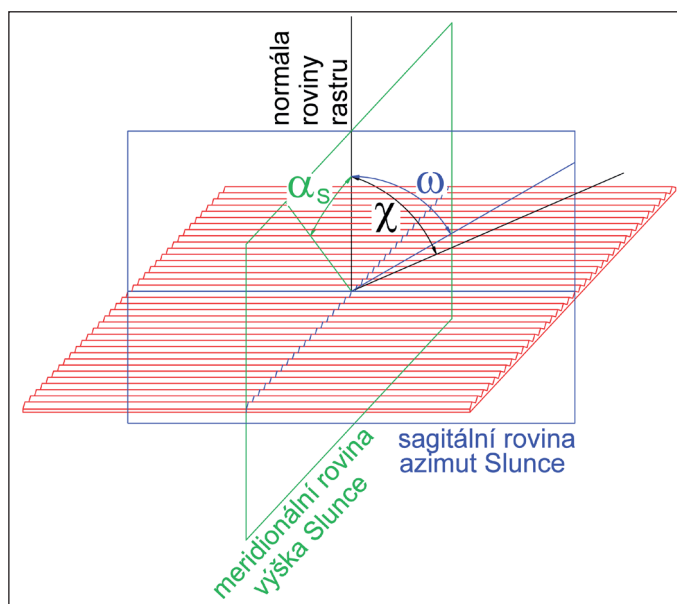
- vzorek C – trojsklo s čelním asymetrickým rastrem;
- vzorek D – trojsklo se symetrickým převráceným rastrem.

Pro vyhodnocení měření charakteristik propustnosti byla použita komparativní (poměrová) metoda měření a získaná data jsou pak vzájemně plně srovnatelná a nezávislá na čase pořízení a napájecím napětí zdroje světla. Složení skla rastrů je stále a spektrální propustnost skla je konstantní. Cílem je změřit, jaká část energie přímého záření, dopadajícího pod definovaným úhlem na rastr, projde do interiéru, aby-chom dokázali odhadnout energetickou zátěž interiéru v libovolném ročním i denním období. Hledáme proto rozložení intenzity ozáření v detekční rovině po osvětlení vzorku rovnoběžným svazkem paprsků



Obr. 6 Schéma a skladba měřených vzorků

Fig. 6 Scheme and composition of measured samples



Obr. 7 Určení jednotlivých rovin na ploše s rastrem

Fig. 7 Determination of individual planes on the surface with raster

při známém natočení měřeného rastru. Detektor skenuje vzorek vždy v průřezu roviny rovnoběžné s rovinou rastru a meridionální roviny – roviny výšky Slunce (obr. 7). Vzdálenost roviny detektoru od roviny zadní, interiérové plochy vzorku je konstantní a byla zvolena z konstrukčních důvodů 15 mm.

Z každého měření je získán profil průběhu světelného toku v detekční rovině. Aby byla eliminována nerovnoměrnost světelného toku v rámci osvětlovacího svazku, vycházejícího z kolimátoru, následuje referenční měření bez rastru. Z jednoho měřicího cyklu získáme dvě křivky, udávající rozložení ozáření v detekční rovině s rastrem a bez rastru.

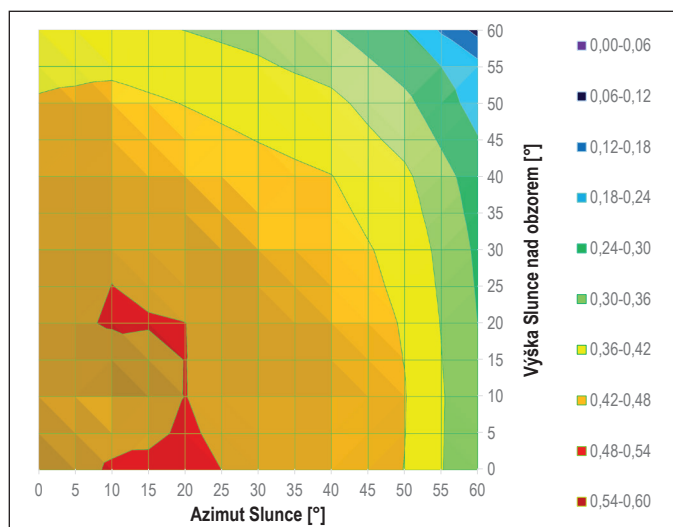
Porovnáním integrálních hodnot ozáření v celé délce měřicího úseku potom získáme výslednou propustnost  $\tau_{(\alpha_s, \omega)}$  pro daný prostorový úhel, určený úhly  $\alpha_s$  a  $\omega$  v jednotlivých rovinách. Je vyhodnocován poměr energie zachycené detektorem bez vzorku a se vzorkem, tj. poměr mezi energií přímého slunečního záření dopadajícího na rovinu rastru a energií prošlou do interiéru budovy (vnější tepelná zátěž).

## MATEMATICKÁ SIMULACE

Pro modelování energetické bilance místnosti byl použit software TRNSYS. Byl vytvořen model dvou kanceláří (Office\_1 a Office\_2). Rozdíl mezi oběma kancelářemi je pouze v tom, že kancelář Office\_1 má horní modrou část zasklení provedenou shodným zasklením jako spodní část, u kanceláře Office\_2 je modrá část osazena trojsklem s rastrem.

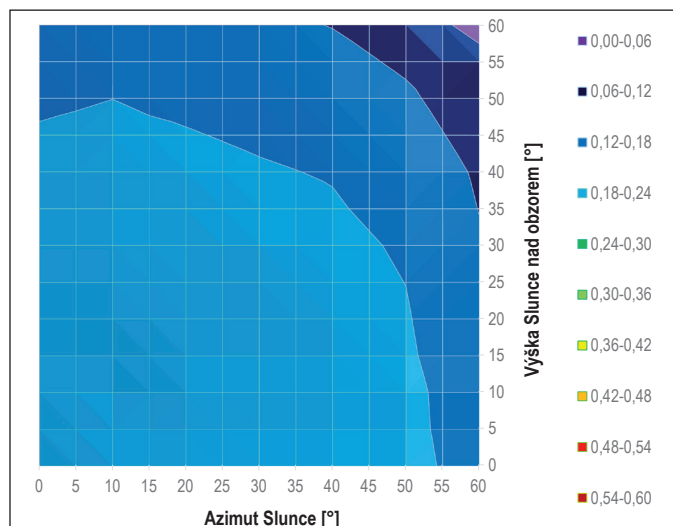
Okrajové teplotní podmínky jsou dány „navazujícími“ prostory ke kancelářím, tzn. podlaha, strop, pravá a levá příčka mají za konstrukci identické podmínky jako samotná kancelář (bez přestupu tepla), zadní stěna „sousedí“ s prostorem chodby, kde se předpokládá teplota vzduchu 20 °C. Venkovní stěna s oknem má skladbu danou konstrukcí používanou ve SKANSKA LOP, kde součinitel prostupu tepla netransparentní části je  $U = 0,133 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Vnitřní zisky byly dány časovým profilem obsazenosti a vybavenosti kanceláře. Vnitřní zisky od lidí byly 240 W (130 W citelné, 110 W vázané) v pracovní dny od 8.00 do 17.00 hod. Vnitřní zisky od vybavenosti kanceláře byly trvalé, a to 230 W.



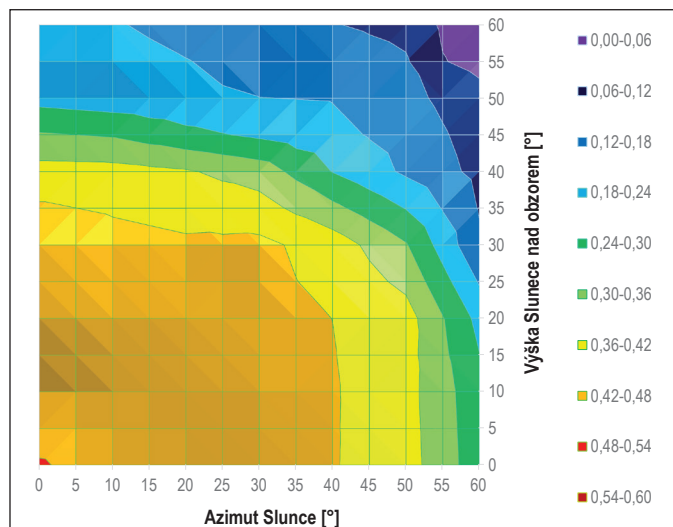
Obr. 8 Charakteristika propustnosti vzorku pro přímé záření (vzorek A – Clear)

Fig. 8 Transmittance characteristics of the sample for direct radiation (sample A – Clear)



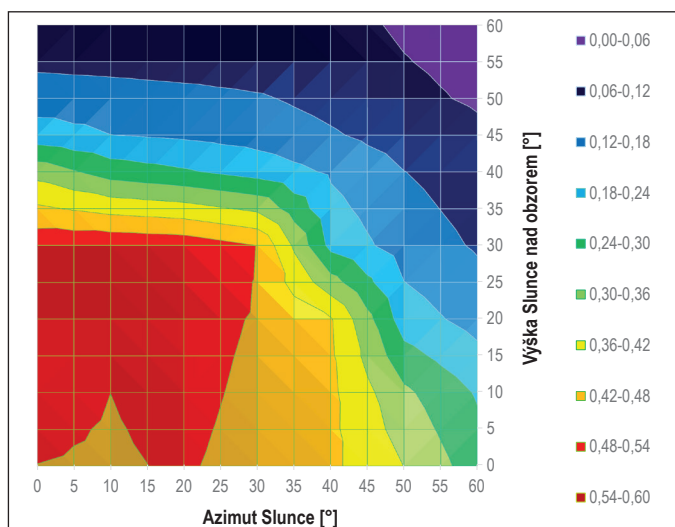
Obr. 9 Charakteristika propustnosti vzorku pro přímé záření (vzorek B – Stopray)

Fig. 9 Transmittance characteristics of the sample for direct radiation (sample B – Stopray)



Obr. 10 Charakteristika propustnosti vzorku pro přímé záření (vzorek C – čelní asymetrický rastr)

Fig. 10 Transmittance characteristics of the sample for direct radiation (sample C – front asymmetric raster)



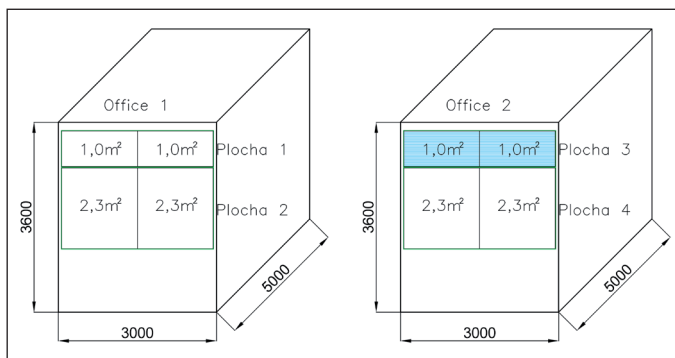
Obr. 11 Charakteristika propustnosti vzorku pro přímé záření (vzorek D – symetrický převrácený rastr)

Fig. 11 Transmittance characteristics of the sample for direct radiation (sample C – inverted symmetric raster)

Modul vícezónové budovy v prostředí TRNSYS neumožňuje přímo modelovat optické vlastnosti rastru. Zatímco propustnost standardního zasklení je funkcí pouze úhlu dopadu záření na rovinu skla mezi paprskem a normálou roviny skla, propustnost přímého záření optického rastru je závislá na dvou složkách úhlu dopadu paprsku – na azimutu Slunce a na výšce Slunce – obecně v závislosti na úhlu dopadu jak v sagitální, tak meridionální rovině. Bylo proto třeba vypracovat metodu, jak tuto dvousložkovou závislost aplikovat se standardními komponentami prostředí TRNSYS. Model vícezónové budovy umožňuje použít pro okno „prázdný“ otvor, jehož veškeré optické charakteristiky pro všechny úhly dopadu jsou 1. Takový typ okna by sice umožňoval aplikovat výsledky propustnosti rastrů, ale z hlediska prostupu tepla by byl nevyhovující. Byla proto provedena srovnávací simulace s hodinovým krokem, kdy na identickém modelu kanceláře bylo při první simulaci použito okno s požadovanými tepelnými vlastnostmi (Saint Gobain CLIMATOP SOLAR KR 4/10/4/10/4) a při druhé simulaci prázdný otvor (viz obr. 13).

Následně byl pro každou hodinu simulace vypočítán poměr přímého ozáření za rovinou okna se zasklením a bez zasklení:

$$R_{G,b} = \frac{G_{T,b,t}}{G'_{T,b,t}} \quad (6)$$



Obr. 12 Rozměrový náčrt modelu kanceláře (modře část zasklení s rastrm)

Fig. 12 Dimensional sketch of the office model (part of the glazing with raster in blue)

příčměž:

$$G_{T,b} = G'_{T,b} = G'_{T,b,t} \quad (7)$$

V konečném modelu kanceláře v prostředí TRNSYS bylo použito okno Saint Gobain CLIMATOP SOLAR KR 4/10/4/10/4, ale přímé ozáření dopadající na toto zasklení bylo pro každý krok simulace modifikováno podle vztahu:

$$\bar{G}_{T,b} = \frac{G_{T,b}}{R_{G,b}} \cdot \tau_{(\alpha_s, \omega)} \quad (8)$$

Touto modifikací je dosaženo toho, že okno se v modelu vícezónové budovy chová z tepelného hlediska jako požadované trojsklo, z hlediska prostupu přímého záření se chová jako optický rastr. Aby se okno použité v modelu multizónové budovy chovalo odpovídajícím způsobem, tzn. jako modelovaný rastr, je třeba z databáze oken, která jsou v knihovně softwaru TRNSYS k dispozici, vybrat takové, které je svou skladbou nejpodobnější skladbě okna s rastrm, včetně případných low-e vrstev na shodných pozicích. Aby byl zcela eliminován vliv přepočtu ozáření, bylo i pro standardní zasklení použito modifikované ozáření a propustnost  $\tau_{(\alpha_s, \omega)}$  pro vzorky A a B (viz obr. 6).

## VÝSLEDKY

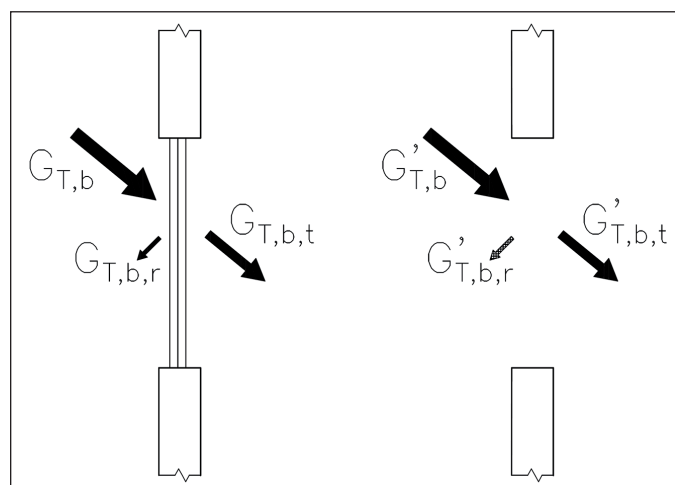
Byla provedena simulace čtyř základních variant zasklení fasádního elementu (tab. 2), přičemž výsledky energetické bilance kanceláře Office\_1 (se zasklením bez rastru) jsou použity jako referenční se spotřebami tepla a chladu 100 %.

Tab. 2 Základní varianty zasklení fasádního elementu

Tab. 2 Basic variants of glazing of the facade element

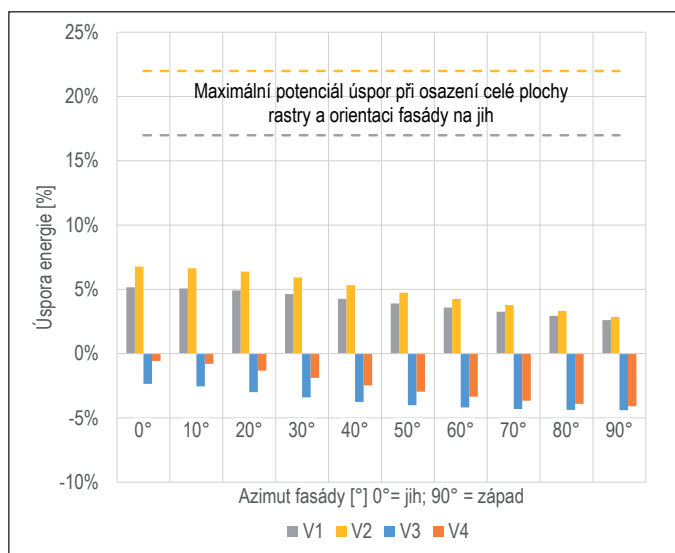
	Office_1 Plocha 1	Office_1 Plocha 2	Office_2 Plocha 3	Office_2 Plocha 4
V1	Clear (A)	Clear (A)	Vzorek C	Clear (A)
V2	Clear (A)	Clear (A)	Vzorek D	Clear (A)
V3	Stopray (B)	Stopray (B)	Vzorek C	Stopray (B)
V4	Stopray (B)	Stopray (B)	Vzorek D	Stopray (B)

Pozn.: Uspořádání ploch viz obr. 12.

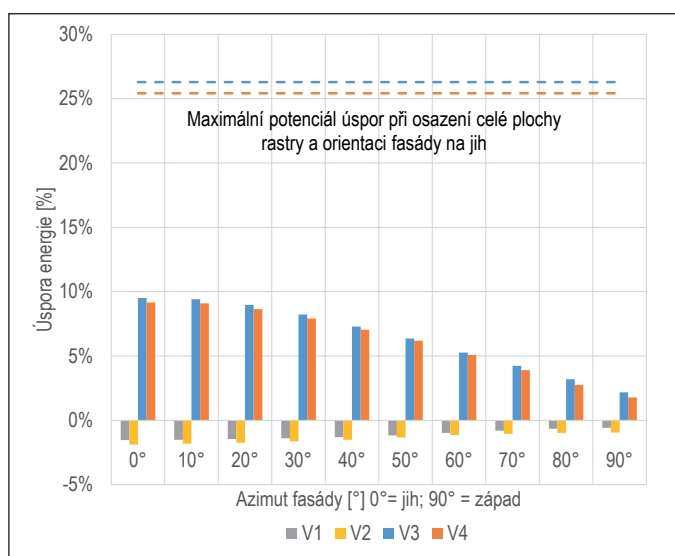


Obr. 13 Schéma radičních toků pro výpočet „fiktivního“ ozáření pro okno s trojsklem (vlevo) a prázdný otvor (vpravo)

Fig. 13 Radiation flux diagram for calculating “fictitious” irradiance for window with triple glazing (left) and empty hole (right)



Obr. 14 Úspora energie na chlazení pro jednotlivé varianty a různý azimut fasády  
 Fig. 14 Energy saving on cooling for each variant and different azimuth of the facade



Obr. 15 Úspora energie na vytápění pro jednotlivé varianty a různý azimut fasády  
 Fig. 15 Energy saving on heating for each variant and different azimuth of the facade

Všechny tyto 4 varianty byly provedeny pro úhly natočení fasády od 0° (jih) do 90°(západ) s krokem natočení 10°.

V následující části jsou vyhodnocena srovnání vždy s odpovídajícím typem zasklení.

## DISKUZE

Primárním cílem osazení části zasklení optickými rastru byl předpoklad úspory energie pro chlazení vlivem snížení vnějších zisků od oslunění. Jak je vidět na obr. 14, tento předpoklad se splnil pouze za předpokladu, že průhledná část zasklení bude osazena čirými skly bez úpravy propustnosti pro sluneční záření (např. STOPRAY použitý při simulacích). Naopak, pokud je použito zasklení snižující propustnost slunečního záření, je u varianty s částečným zasklením optickým rastru spotřeba energie na chlazení vyšší. Je to dáno tím, že tento typ zasklení (STOPRAY) odráží sluneční záření i při nižších úhlech výšky Slunce, zatímco rastru při těchto nižších úhlech již přímou služku propouští. Tento efekt má však pozitivní vliv na spotřebu energie na vytápění,

kdy vlivem vyšších zisků z oslunění při použití optických rastrů se v topném období potřeba energie na vytápění snižuje (viz obr. 15).

Na obr. 14 a 15 je naznačen maximální potenciál úspor pro jižní orientaci fasády za předpokladu, kdy by veškeré zasklení (Plocha 3 i Plocha 4, viz obr. 12) bylo provedeno s optickými rastru. Jedná se o ilustrační hodnoty, neboť se předpokládá, že u objektů uvažovaného typu (kanceláře) musí vždy část zasklení zůstat průhledná, aby byl zachován oční kontakt s vnějším prostředím.

Stejně tak lze těžko kvantifikovat potenciál úspor nějakou hodnotou vztahenou na plochu zasklení rastru nebo na poměr zasklení čirým sklem/zasklení rastru, neboť na úspory energie, ať již na chlazení nebo vytápění, má vliv skladba konstrukcí a vnitřní tepelné zisky v uvažovaném prostoru.

## ZÁVĚR

Jak je zřejmé z výsledků provedených simulací, je možné osazením části zasklení docílit energetických úspor buď na vytápění, nebo na chlazení. Pokud očekáváme od instalace rastrů jako součásti zasklení energetický přínos, nelze je aplikovat na libovolně orientované fasády, ale je třeba vždy provést pečlivou analýzu. Při vývoji optických rastrů bylo uvažováno s jejich instalací pouze na jižní svíslé fasády. Z výsledků je však vidět, že i u západně orientovaných fasád dochází k energetickým úsporám, byť pouze kolem 2 % až 3 %, a lze předpokládat, že obdobné výsledky by byly dosaženy pro východní orientaci.

Takto kvantifikované energetické úspory jsou však silně závislé na poměru vnitřních a vnějších zisků, tedy velikosti zasklené plochy a podílu optického rastru na tomto zasklení a na vnitřní tepelné zátěži. Pokud by vnitřní zisky byly nižší než uvažované, pak efekt rastru bude vyšší, a naopak pokud by vnitřní zisky byly vyšší (např. v počítačové učebně), pak efekt rastrů bude nižší.

Kontakt na autora: borivoj.sourek@cvut.cz

Poděkování: Příspěvek byl napsán s finanční podporou TA ČR v rámci projektu TA04021195 Energeticky aktivní lehký obvodový plášť.

## Použité zdroje:

- [1] JIRKA, V. a kol. *Skleněné rastry pro stavebnictví a architekturu*. 1. vyd. České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04288-5.
- [2] Technologická agentura České republiky (TA ČR) – TA04021195. Energeticky aktivní lehký obvodový plášť.
- [3] KORECKO, J., JIRKA, V., SOUREK, B., CERVENY, J. Module greenhouse with high efficiency of transformation of solar energy, utilizing active and passive glass optical rasters. *Solar energy*. 84 (2010), 1794-1808.
- [4] AGC Flat Glass Czech a.s. *Informace o výrobcích* [online]. Dostupné z: <http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/cz/cz/home.html>

## Seznam označení:

$R_{G,b}$	poměr ozáření [-]
$G_{T,b}$	přímé ozáření před rovinou zasklení [ $W \cdot m^{-2}$ ]
$G_{T,b,t}$	přímé ozáření za rovinou zasklení se zasklením [ $W \cdot m^{-2}$ ]
$G'_{T,b}$	přímé ozáření za rovinou zasklení bez zasklení [ $W \cdot m^{-2}$ ]
$\bar{G}_{T,b}$	modifikované přímé ozáření před rovinou zasklení [ $W \cdot m^{-2}$ ]
$\alpha_s$	výška Slunce [°]
$\omega$	azimut Slunce [°]
$\chi$	obecný úhel dopadu [°]
$\tau_{(\alpha_s, \omega)}$	propustnost přímého slunečního záření rastru v závislosti na obou úhlech dopadu [-]