

Ing. Jitka MOHELNÍKOVÁ, Ph.D.
VUT v Brně, Fakulta stavební,
Ústav pozemního stavitelství

Fasádní skla a jejich tepelně a světelně technické vlastnosti

Facade Glass Products and Their Thermal and Light Transmission Properties

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Autor uvádí vlastnosti tepelně izolačních skel a jejich použití ve stavebnictví. Dále jsou zmíněny ochranné vrstvy a technologické způsoby jejich nanášení na horké nebo studené sklo. Přínosem je též citace přijatých evropských norem v této oblasti. Hodnocení skel je doplněno praktickým příkladem výpočtu tepelných ztrát různých druhů zasklení a tepelných zisků zasklených ploch o velikosti 25 m² orientovaných k základním světovým stranám.

Klíčová slova: izolační sklo, světelná a energetická propustnost, odrazivost, pohltivost, třídy zasklení, součinitel prostupu tepla, tepelná ztráta, tepelný zisk

The author presents properties of the heat insulating types of glass and their use in building industry. Further, protective coatings and the technology of their application on glass in hot or cold state are illustrated. A quote of the accepted European Standards related to this technology is also contributed. The evaluation of glass types is completed by a practical calculation example of heat losses for different glazing types and heat gains of glazed surfaces of 25 m² size oriented toward the basic geographic directions.

Key words: insulating glass, light and energy permeability, reflectivity, absorptance, glazing classes, coefficient of heat transmission, heat loss, heat gain

ÚVOD

Sklo hraje významnou roli v budovách, neboť umožňuje vizuální kontakt s okolím a přístup slunečního záření a denního světla do vnitřních prostor. Toho se využívá hlavně při návrhu nízkoenergetických a pasivních budov, protože jejich energetický provoz je založen především na solárních ziscích. Maximální využití energie slunečního záření a minimalizace tepelných ztrát lze u prosklených obvodových konstrukcí dosáhnout speciálními tepelně izolačními skly. Tato skla nachází v solární architektuře své nezastupitelné uplatnění.

Při návrhu budov je nutno znát vlastnosti zasklení pro posouzení vhodnosti jejich použití ve stavebních konstrukcích a posouzení jejich vlivu na pohodu prostředí. Tepelná a světelná propustnost skel slouží jako vstupní údaje pro hodnocení vnitřního prostředí v budovách.

1. IZOLAČNÍ SKLA

Okna a jejich zasklení byly až donedávna nejslabšími místy v budově z hlediska tepelných ztrát. Jednoduché zasklení je v našich klimatických podmínkách pro obvodové pláště zcela nevhodné. Avšak ani obyčejná zdvojená skla již dnes nevyhoví požadavkům na tepelnou ochranu budov. Pro omezení tepelných ztrát zasklením byla vyvinuta speciální izolační skla s lepšími tepelně technickými parametry.

Podle DIN 1259 je izolační sklo vícenásobná tabule složená ze dvou nebo několika tabulí stejných nebo různých druhů skel, které jsou odděleny meziprostorem, jenž je hermeticky uzavřen a naplněn suchým vzduchem nebo speciálními plyny. V porovnání s jednoduchým zasklením má izolační sklo lepší tepelně i zvukově izolační parametry.

Zvýšení tepelně izolačního účinku a tedy omezení tepelných ztrát zasklením je možné zajistit dvěma způsoby [1]:

- úpravou optických a energetických vlastností skel,
- použitím izolačních plynů v prostoru mezi skly.

V praxi se většinou uplatňuje kombinace obou uvedených způsobů.

Úprava optických a energetických vlastností skel za účelem lepších tepelně izolačních parametrů předpokládá opatření povrchu skla tenkou speciální vrstvou (povlakem) s nízkou emisivitou ε (běžně $\varepsilon \leq 0,2$) [2]. Skla s nízkou emisivitou vykazují vysokou odrazivost pro dlouhovlnné infračervené záření. Pracují tedy jako tepelná zrcadla odrážející IR záření zpět do interiéru, čímž se snižuje přístup tepla zasklením.

Pro porovnání jsou v tabulce 1 uvedeny rámcové hodnoty součinitele prostupu tepla U [Wm⁻²K⁻¹] různých druhů zasklení.

Tab.1 Součinitel prostupu tepla U [Wm⁻²K⁻¹] různých druhů zasklení

Typ zasklení	U [Wm ⁻² K ⁻¹]
Jednoduché sklo	5,80
Dvojsklo (sklo – vzduch – sklo)	2,8 až 3,0
Izolační dvojsklo (sklo – vzduch – sklo s povlakem)	1,7 až 1,3
Izolační sklo se zvýšenými tepelně izolačními vlastnostmi	1,3 až 1,0
Speciální zasklení s vysokým tepelně izolačním účinkem	0,9 až 0,4

Poznámka: Hodnoty součinitele prostupu tepla zasklení závisí na tloušťce a druhu jednotlivých skel šířce meziprostoru a druhu izolačního plynu [2].

Lepší tepelně izolační vlastnosti zasklení vedou k vyšším povrchovým teplotám na vnitřním povrchu izolačního skla, což přispívá k omezení rizika povrchové kondenzace skla a k lepší tepelné pohodě v místnosti a také snížení spotřeby tepla na vytápění.

2. SKLA S UPRAVENÝMI OPTICKÝMI VLASTNOSTMI SPECIÁLNÍMI POVLAKY

Speciální skla bývají ve výrobě opatřována povlaky, které upravují jejich spektrofotometrické vlastnosti. Na povrchu skla je nanášena tenká vrstva oxidů kovů, která omezuje absorpci tepelného záření. Tato vrstva má schopnost snížit hodnotu součinitele prostupu tepla zasklení téměř na polovinu, přibližně o hodnotu 1,0 Wm⁻²K⁻¹ i více. Nízkoemisivní vrstva je nanášena na sklo ve velmi malých tloušťkách (řádově několika desítek nanometrů). Při takové tloušťce je zajištěn dostatečný průstup světla zaskle-

ním, ale dlouhovlnné infračervené záření z interiéru je na této vrstvě odráženo zpět do místnosti, čím se snižují tepelné ztráty.

Jako základní sklo pro výrobu izolačních skel s povlakem může sloužit:

- sklo float (EN 572-2),
- sklo ploché tažené (EN 572-4),
- sklo vzorované s drátěnou vložkou (EN 572-6),
- profilované stavební sklo s nebo bez drátěné vložky (EN 572-7),
- tepelně tvrzené sodnovápenatokrémicité sklo bezpečnostní (prEN 12150),
- tepelně tvrzené borosilikátové bezpečnostní sklo (prEN 13024-1),
- částečně tvrzené sodnovápenatokrémicité sklo (prEN 1863),
- částečně tvrzené borosilikátové sklo,
- vrstvené sklo (EN ISO 12543-Část 2),
- vrstvené bezpečnostní sklo (EN ISO 12543-Část 3).

Základní sklo i povlak vytváří jeden finální výrobek, proto se vlastnosti povlaku neposuzují odděleně od vlastností skla, na němž je nanesen.

Povlakem se rozumí jedna nebo více tenkých pevných vrstev z anorganických látek nanesených na povrch základního skla různými metodami. Metody technologie nanášení povlaku na povrch skla jsou následující [3]:

- nanášení přímé (on-line): nanášení povlaku na povrch pohybujícího se nekonečného pásu základního skla v určitém úseku výroby ještě před primárním řezem,
- nanášení nepřímé (off-line): nanášení povlaku na již nařezané jednotlivé tabule skla uvnitř výrobní nebo montážní haly.
- aditivní metody nanášení: Jedná se o jedno nebo vícevrstvé povlaky, skládající se z kovů, oxidů, nitridů, fluoridů nebo jiných sloučenin) nanášené na povrch skla různými postupy.

Metody vytváření tenkých vrstev na okenní skla mohou být např. [1], [3]:

- metody chemického filmu, které vytváří na skle povlak z kapalin, par nebo prášků.
- chemické metody nanášení za mokra – směs rozpuštěného kovu a redukčního činidla se nastříká na povrch skla, účinkem redukční reakce se na povrchu skla vysráží jemnozrnný kov.
- nanášení metodou Sol-gel, ponořením se na sklo nanese roztoky organických kovových sloučenin a následnou pyrolýzou vzniknou na povrchu oxidy.
- nanášení chemickými parami – sloučeniny ve formě par reagují chemicky na horkém povrchu základního skla.
- nanášení nástřikem – kapaliny naprášené nástřikem reagují pyrolytickou cestou na horkém povrchu základního skla.
- práškové nanášení – prášky chemicky reagující na horkém povrchu základního skla
- metody vytváření fyzikálního filmu – procesy probíhající za podmínek vakua, přičemž účinné látky se přenášejí za zdroje ve formě prvků, sloučenin nebo iontů, jejich následnou kondenzací vznikne na povrchu skla tenký film, tento proces může být doprovázen chemickými reakcemi.
- vypařování – látka vytvářející povlak se teplem vypařuje a tím se usazuje na skleněném povrchu.
- rozprašování – ionty v proudu plynu bombardují určité místo, což způsobuje rozprašování látky, která na povrchu kondenzuje.

Povlaky na skle lze vytvářet i kombinací výše uvedených metod.

Nelze jednoznačně určit, jak má být sklo s povlakem v budově situováno, o tom rozhoduje řada faktorů, především technologie nanášení. Existují třídy skel, které mají přesně stanoveno, na kterou stranu bude povlak umístěn [4]:

- Třída A: Povrch skla opatřený povlakem může být situován na vnější nebo na vnitřní straně budovy.

- Třída B: Sklo s povlakem lze použít ve formě monolitického bloku při zasklení, ale povrch opatřený povlakem se nachází na vnitřní straně budovy.
- Třída C: Sklo s povlakem lze použít jen v utěsněných izolačních sklech a povrch opatřený povlakem by měl být obrácen dovnitř dutiny izolačního skla. Tento typ skla vyžaduje zvláštní opatrnost při transportu, manipulaci, zpracování i skladování. V některých případech se povlak musí odstranit z okrajových partií, v nichž bude sklo zatmelelo, leč skla se obnaží a tím získá základní sklo potřebnou adhezi pro zatmelení.
- Třída D: Sklo s povlakem bude zabudováno do utěsněných izolačních skel, povrch opatřený povlakem se zabuduje směrem dovnitř zasklivač jednotky hned po nanesení povlaku. Tato skla se nedodávají ve formě monolitických bloků.
- Třída S: Povrch skla opatřený povlakem může být situován na vnější nebo na vnitřní straně budovy, ale tyto typy skel s povlakem mohou být použity pouze ve speciálních aplikacích, např. výklady obchodu. U povlaků skel třídy S je očekávaná nižší životnost než je životnost skel pro běžné použití v budovách.

Skla do jednotlivých tříd zařazuje výrobce.

3. OPTICKÉ A ENERGETICKÉ PARAMETRY VYBRANÝCH DRUHŮ IZOLAČNÍCH SKEL

Vlastnosti stavebních skel určených pro okna a zasklené fasády je možné rozdělit do dvou hlavních skupin a to na optické a energetické parametry [4], [5], [11]. Mezi základní vlastnosti patří:

Propustnost UV záření T_{UV} [%]

Je definována jako poměr přímo propuštěného a dopadajícího slunečního zářivého toku (100 %) vyjádřený v procentech pro poměrné spektrální složení slunečního záření podle CIE č. 85 v oblastech UV-B (280 až 315 nm) a UV-A (315 až 380 nm). Odpovídá poměrné hodnotě činitele propustnosti v UV záření τ_{UV} [-] dle ČSN EN 1096-1.

Světelná propustnost LT [%]

Je udávána jako procentuální podíl světelného toku prošlého sklem k dopadajícímu světelnému toku (100%). Je stanovena pro světelné záření vlnové délky od 380 do 780 nm (určeno pro normalizovaný druh světla D_{65}). Poměrná hodnota je vyjádřena součinitelem světelné propustnosti τ_v [-] dle ČSN EN 1096-1.

Světelná odrazivost LR [%]

Je procentuální podíl světelného toku odraženého sklem k dopadajícímu toku (100%). Hodnota je stanovena pro světelné záření vlnové délky od 380 do 780 nm (určeno pro normalizovaný druh světla D_{65}). Poměrná hodnota je vyjádřena součinitelem světelné odrazivosti ρ_v [-] dle ČSN EN 1096-1.

Základní energetické vlastnosti stanovené pro stavební skla jsou následující:

Přímá propustnost slunečního záření TE [%]

TE je procentuální podíl přímo propuštěného slunečního zářivého toku k toku dopadajícímu (100 %). Tato hodnota je vyjádřena pro poměrné spektrální složení slunečního záření podle směrnice CIE č. 85, jehož spektrální hustota je udána pro vlnové délky 300 až 2500 nm. Poměrná hodnota představuje součinitel přímé solární propustnosti τ_e [-] dle ČSN EN 1096-1.

Odrazivost přímého slunečního záření RE [%]

RE udává poměr přímo odraženého a dopadajícího slunečního zářivého toku (100%), vyjádřený pro poměrné spektrální složení slunečního záření podle CIE č. 85.

Poměrná hodnota představuje součinitel přímé solární odrazivosti ρ_e [-] ČSN EN 1096-1.

Pohlřivost slunečního záření AE [%]

AE je poměr pohlčeného a dopadajícího slunečního zářivého toku (100%) vyjádřený pro poměrné spektrální složení slunečního záření podle CIE č. 85. Pohlčená část zářivého toku je znovu vyzářena ve formě energie předané ven a dovnitř v poměru daném poměrem činitelů přestupu tepla na vnější i vnitřní straně zasklení.

Celková propustnost slunečního záření – hodnota g [%]

Procentuálně vyjádřený poměr celkového slunečního zářivého toku propuštěného zasklením a dopadajícího slunečního zářivého toku, vyjádřený pro poměrné spektrální složení slunečního záření podle směrnice CIE č. 85. Celkový činitel prostupu sluneční energie je součtem činitele prostupu přímého slunečního záření TE a činitele sekundárního přestupu tepla na vnitřní straně (poměrná část pohlčené části zářivého toku AE vyzářená směrem dovnitř). Poměrná hodnota představuje součinitel celkové propustnosti sluneční energie (solární faktor) g [-].

Součinitel prostupu tepla – hodnota U [$Wm^{-2}K^{-1}$]

Hodnota součinitele prostupu tepla U představuje množství tepla ve W , které projde $1 m^2$ zasklení při rozdílu teploty povrchů $1 K$. Tato hodnota se stanovuje výpočtem podle ISO 10292 a ČSN EN 673 [6].

Uvedené vlastnosti slouží k popisu jednotlivých druhů zasklení a udávají základní fyzikální charakteristiky, které se používají jako vstupní data pro počítačová modelování při světelné a tepelné technické posouzení budov.

4. SVĚTELNÁ PROPUSTNOST A JEJÍ VLIV NA DENNÍ OSVĚTLENÍ MÍSTNOSTI

Světelná propustnost zasklení je důležitým údajem při posuzování denního osvětlení budov. Pro porovnání vlivu světelné propustnosti zasklení na zrakovou pohodu interiéru byla posouzena místnost půdorysných rozměrů $4 \times 5 m$ osvětlovaná oknem o rozměrech $2 \times 1,5 m$. Pro výpočet [7] činitele denní osvětlenosti D [%] byla uvažována hodnota propustnosti světla TL ve dvou variantách: – varianta I: $TL=80\%$ ($\tau_v = 0,80$), – varianta II: $TL = 50\%$ ($\tau_v = 0,50$).

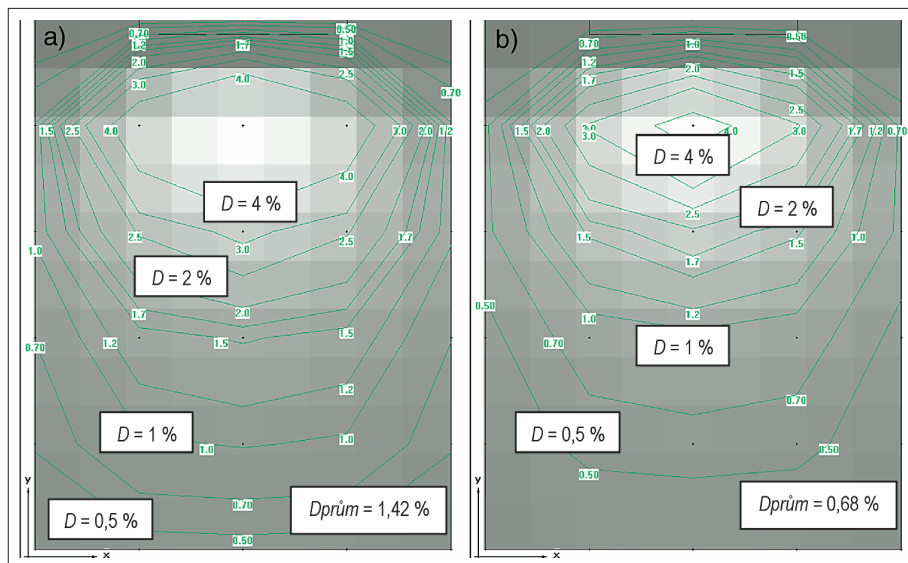
Vyhodnocení proběhlo počítačovým programem WDLS, Astra Zlín (Autor. Ing. Pavel Staněk).

5. ENERGETICKÁ BILANCE VYBRANÝCH DRUHŮ IZOLAČNÍCH DVOJSKEL

5.1 Tepelné ztráty zasklením

Podle požadavku ČSN 73 0540-2 [8] je nutné u nových staveb navrhovat okna se součinitelem prostupu tepla $U = 1,7 Wm^{-2}K^{-1}$ a menším. Porovnání tepelných ztrát prostupem tepla u vybraných druhů izolačních dvojskel bylo provedeno pro období topné sezóny. Pro posouzení byla uvažována jednotná plocha $25 m^2$ u všech izolačních dvojskel.

Vliv izolačních dvojskel s různým součinitelem prostupu tepla na tepelnou ztrátu prostupem zasklením je porovnán v tab. 2 (zpracováno podle [9]). Z tabulky je zřejmé, že skla s lepšími tepelnými izolačními parametry mají podstatný vliv na snížení tepelné ztráty. Snížení součinitele prostupu



Obr. 1 Činitel denního osvětlení místnosti D [%]

a) Varianta I, b) Varianta II

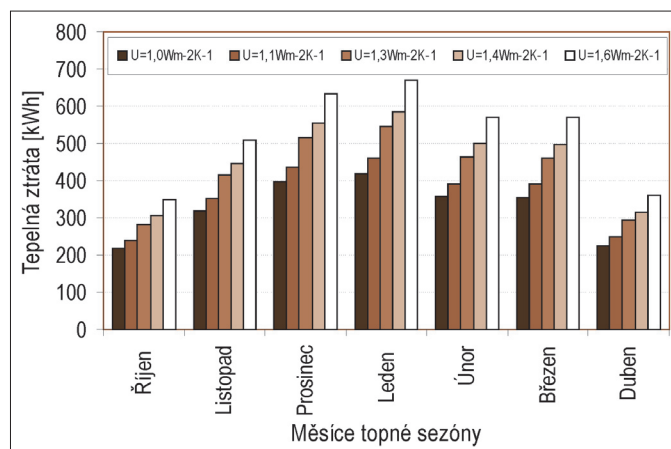
pu tepla zasklení o hodnotu $0,6 Wm^{-2}K^{-1}$ znamená při posuzované ploše $25 m^2$ až třetinovou úsporu energie potřebné ke krytí tepelných ztrát zasklením.

Tab. 2 Vliv součinitele prostupu tepla na snížení tepelné ztráty zasklením o ploše $25 m^2$

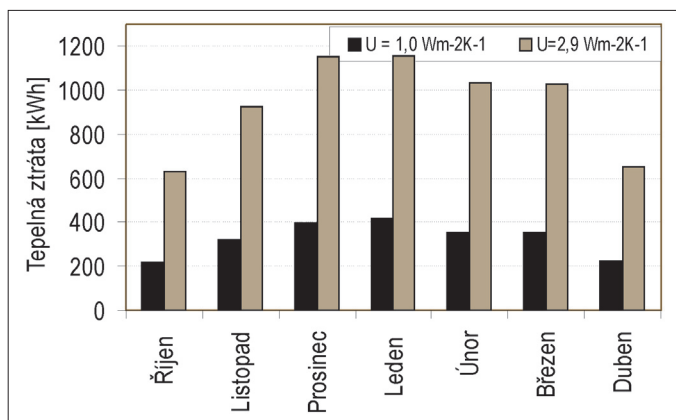
(4 mm) sklo meziprostor – nízkoemisivní sklo (low-e 4 mm)	U [$Wm^{-2}K^{-1}$]	Tepelná ztráta zasklením $25 m^2$ [kWh/ m^2 , za otopnou sezónu]
12 mm vzduch	1,6	146,4
16 mm vzduch	1,4	128,0
12 mm argon	1,3	119,0
16 mm argon	1,1	100,6
10 mm krypton	1,0	91,5

Porovnání tepelných ztrát posuzovaných izolačních dvojskel pro jednotlivé měsíce topné sezóny je uvedeno na obr. 2. Na obr. 3 je uvedeno srovnání tepelných ztrát dvojskla se součinitelem prostupu tepla $U = 2,9 Wm^{-2}K^{-1}$ a tepelné izolačního dvojskla s $U = 1,0 Wm^{-2}K^{-1}$.

Průměrná úspora energie v případě izolačního dvojskla je 4345,9 kWh (počítáno pro plochu zasklení $25 m^2$), což představuje snížení poměrné tepelné ztráty o 173,8 kWh na $1 m^2$ zasklené plochy za otopnou sezónu.



Obr. 2 Porovnání tepelných ztrát vybraných dvojskel v období topné sezóny (plocha zasklení $25 m^2$)



Obr. 3 Porovnání tepelných ztrát zasklením se součiniteli prostupu tepla $U = 1,0$ a $2,9 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ (plocha zasklení 25 m^2)

5.2 Tepelné zisky ze slunečního záření

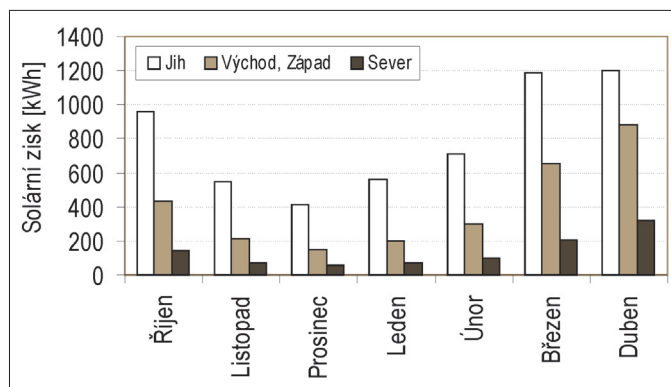
Pro posouzení solárních zisků zasklením je potřeba znát celkovou energii slunečního záření dopadající na zasklenou plochu a hodnotu celkové propustnosti skla – hodnotu g . Na obr. 4 je uvedeno porovnání energetických zisků ze slunečního záření procházející zasklením o ploše 25 m^2 a celkové solární propustnosti $g = 0,83$. Výpočet solárních zisků byl zpracován na základě měsíčních hodnot globálního slunečního záření v $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ zasklené plochy orientované na jih, východ, západ a sever [9]. Výsledný solární zisk byl také redukován o snížení prostupu slunečního záření vlivem znečištěné skla na vnějším i vnitřním povrchu v celkové hodnotě $\tau_z = 0,85$.

ZÁVĚR

Tepelně a světelně technické vlastnosti skel jsou důležitými parametry při výběru zasklení a slouží také jako vstupní údaje pro světelně i tepelně technická hodnocení.

Posouzení denní osvětlenosti obytné místnosti s oknem s různých skly ukázalo, že snížení světelné propustnosti z $\tau_v = 0,80$ na $\tau_v = 0,50$ představuje snížení průměrného činitele denní osvětlenosti v místnosti téměř o třetinu.

Z uvedených vyhodnocení energetické bilance zasklení je patrné, že okna s nižším součinitelem prostupu tepla mohou výrazně přispět k energetické úspoře v budovách. Celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem zasklením se zredukuje až o více jak 170 kWh na m^2 zasklené plo-



Obr. 4 Porovnání solárních zisků izolačním dvojsklem ($g = 0,83$) okna orientovaného na různé světové strany (plocha zasklení 25 m^2)

chy za topnou sezónu, jestliže se součinitel prostupu tepla zasklení sníží na třetinu své původní hodnoty. U fasády se zasklenou plochou 25 m^2 to přestavuje úsporu energie na vytápění k pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla zasklením více jak 4 MWh za rok.

Tepelné zisky ze slunečního záření jsou využitelné hlavně u zasklení orientovaných na jižní, popř. jihovýchodní a jihozápadní stranu.

Použité zdroje:

- [1] Wigginton, M.: Glass in Architecture. Phaidon Press, London 1996, pp. 248-254, ISBN 0-7148 2922 6
- [2] Johnson, E.T.: Low-E Glazing Design Guide. Butterworth Architecture, Boston 1991, pp. 28-29, ISBN 0-7506-9147-6
- [3] ČSN EN 1096-1 (70 1030) Sklo ve stavebnictví – Sklo s povlakem – Část 1: Definice a zařazení, 1999
- [4] ČSN EN 1096-2 (70 1030) Sklo ve stavebnictví – Sklo s povlakem – Část 2: Požadavky a zkušební metody pro povlaky třídy A, B a S
- [5] ISO 9050 Glass in Building – Determination of light transmittance, total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance and related glazing factors (1990)
- [6] ČSN EN 673 (70 1024) Sklo ve stavebnictví – Stanovení tepelné propustnosti (hodnota U) – Výpočetní metoda (1999)
- [7] ČSN 73 0580 Denní osvětlení budov – Základní požadavky (1999)
- [8] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov (2005)
- [9] ČSN 73 0542 Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov (1995)
- [10] ČSN EN 832 (73 0564) Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy (2000)
- [11] Tepelně izolační sklo $_{\text{SGG}}$ Climaplus Ultra N, materiály Akuterm sklo, a.s. Praha.

* Hadice pro rozvody chladiv

Vedoucí evropský výrobce hadic pro hydrauliku, pneumatiku, kompresory a klimatizační systémy ContiTech Fluid z německého Karbenu, člen skupiny ContiTech Holding, uvedl na trh nové typy hadic původně určených pro mobilní klimatizace kabin automobilů, traktorů, stavebních strojů, jeřábů a vysokozdvizných vozíků, nově i pro ostatní klimatizační systémy.

Jsou vyrobeny z nově vyvinutých speciálních kaučukových směsí a jsou vybaveny tenkou bariérovou vrstvou o tloušťce jen $0,06 \text{ mm}$, nepropouštějící chladiva fluorchlorovaných uhlovodíků a chladiv typu R 134a. Proti dosavadním pryžovým hadicím jsou emise chladiv sníženy o 95% . Do životního prostředí tak uniká jen minimum chladiv, jak uvádí mluvčí výrobce. Pružné a lehké hadice dovolují zmenšení poloměru ohybů, zmenšení objemu chladicích obvodů a prodlužují intervaly mezi prohlídkami. Proti kovovým trubkám lépe odolávají vibracím, únavě a korozi, umožňují lepší a snadnější montáž a jsou výrazně levnější.

Pramen: Tisková zpráva ContiTech Holding, Hannover, 2006.

(AB)

* Nové předpisy větrání nemocnic v dohledu

Již asi půldruhého roku se diskutuje v německých odborných kruzích o předpisech týkajících se větrání a klimatizace nemocnic a to o směrnici VDI 2167 a normě DIN 1946-4.

V prosinci 2004 vyšel nový návrh směrnice VDI 2167 list 1 „Technická vybavení nemocnic – vytápění a vzduchotechnika“, a v dubnu 2005 byl zveřejněn nový návrh normy DIN 1946-4 „Větrání a klimatizace v nemocnicích“, nahrazující vydání z roku 1999. I když oba předpisy pojednávají o stejných tématech, jsou v nich uvedené požadavky na zařízení a jejich zkoušky značně rozdílné.

Po zpracování připomínek se v obou grémiích přistoupilo k sjednocování obou předpisů. Experti na obou stranách ujišťují, že se dosáhne obsahové shody. Výsledkem má být nová norma DIN 1946-4, která se má pak stát předlohou pro práci CEN. Jakmile se nová norma objeví, směrnice VDI 2167-1 bude stažena.

CCI 11/2006

(Ku)