

Myšlenka ideálního fungování pasivního domu je částečně založena na co největších tepelných ziscích. Je to logické. Čím více tepla přijde do domu přirozenou cestou – zadarmo – ze sluníčka, tím méně je ho nutné do domu dodávat tepelným zdrojem. energii, kterou dům získává ze slunce, se říká pasivní solární zisky.

Výsledkem úvah na toto téma byla v sedmdesátých letech minulého století konstrukce tzv. solárních domů. Jednalo se v zásadě o nízkoenergetické domy první generace, které však měli kvůli bohatému prosklení spoustu nepříjemných vlastností. Největší váha byla totiž kladena na solární zisky a nebyl brán ohled na přehřívání v letním období, ke kterému ve velké míře docházelo. Vzhledem k nekvalitnímu zasklení měly domy obrovské tepelné ztráty.

V současné době jsou na trhu již velmi kvalitní skla, která mají parametry součinitele prostupu tepla blížící se k normou doporučené hodnotě pro stěny. Přesto se ze solárních domů upustilo, protože výzkum i praxe prokázaly, že pozitivnější vliv na celkovou energetickou bilanci domu má minimalizace tepelných ztrát. V našich klimatických podmínkách, kde slunce v zimě tolik nesvítlí, nemají velké prosklení smysl, naopak v letním období mohou způsobit nepříjemné přehřívání interiéru. Návrh prosklených ploch s rozumem také výrazně ovlivní pořizovací náklady. Menší plochy jsou levnější a odpadá mnohdy nutnost použití vnějších stínících prvků, které jsou také velice nákladné.

Zvláště ve vyšších nadmořských výškách jsou ztráty okny v zimním období velmi výrazné, ale i zde je možné dosáhnout standardu pasivního domu. Je však nutné tomu adekvátně přizpůsobit výpočet a návrh plochy zasklení.

Úspory energie díky pasivním solárním ziskům rostou do 30–40 % prosklené plochy. Mluvíme samozřejmě o jižní fasádě. Další zvětšování oken nevede k výrazným úsporám.



Obr. 1 Bohaté prosklení obytných místností může působit velmi efektně, ale musí být navrhováno s mírou. Skleněné plochy totiž způsobují velké tepelné ztráty v zimě a zároveň přehřívání interiéru v létě. Samozřejmostí by měl být promyšlený systém stínění, který je u větších ploch finančně nákladný.



Obr. 2 Podmínkou pasivního domu nemusí být nutně velké prosklené plochy. Na první pohled jej vůbec nemusíte poznat od běžné výstavby.

Typy používaných skel

Základními surovinami pro výrobu skla je křemičitý písek, vápenec, živec a soda. S vývojem technologií se výrazně zlepšovaly mechanické i fyzikální vlastnosti skel. V současnosti se nejkvalitnější sklo vyrábí plavením (sklo Float), má minimum chyb, vysokou propustnost světla a je ho možné vyrábět ve velkých rozměrech. Základní sklo je většinou dále zpracováno technologiemi jako barvení, pokovování, tepelné tvrzení či vrstvení. Na trhu je velmi široký sortiment různých typů skel. Následující přehled je rozděluje podle vlastností:

Jednoduché sklo

Používá se jako jednoduchá tabule do nevytápěných prostorů nebo jako sklo k dalšímu zpracování. Používá se v tloušťkách 4–19 mm.

Izolační sklo s čirým sklem

Je tvořeno skleněnými tabulemi, které jsou od sebe odděleny distančními rámečky. Mezi skly je hermeticky uzavřená dutina, která je vyplněna vzduchem nebo inertním plynem. Sklo je použito stejně jako u jednoduchého zasklení.

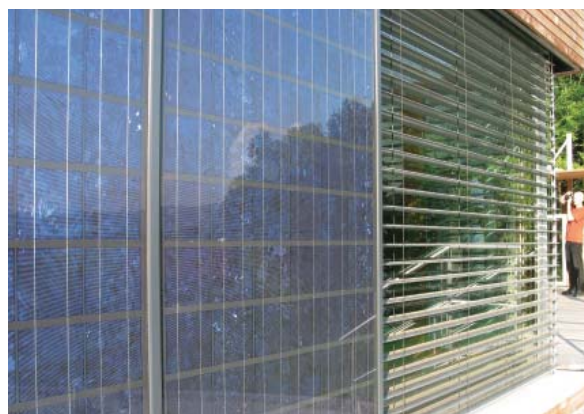
Tepelně-izolační sklo

Jedná se o jednoduché sklo s nanesenou tepelně izolační vrstvou z ušlechtilého kovu, která zajišťuje nízkou emisivitu a zároveň vysokou transparentnost. Pokovení funguje na principu odrazu infračerveného záření a tím zabraňuje nadměrným tepelným ztrátám.

Izolační skla se vyrábí jako dvojskla nebo trojskla, které se u pasivních domů standardně používají. Meziskelní dutina je většinou plněna inertním plynem jako je argon nebo krypton. Izolační trojskla dosahují běžně parametrů součinitele prostupu tepla $U_g = 0,5$ až $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Současnosti někteří výrobci začínají nabízet i čtyřskla, problémem však zůstává vysoká hmotnost zasklení.

Reflexní a probarvené sklo

Skla s protisluneční ochranou se používají tam, kde hrozí riziko přehřívání interiéru – celoplošné fasády administrativních budov, střešní okna. Pro snížení energetické prostupnosti můžeme použít skla probarvená ve hmotě nebo skla s vysokou energetickou reflexí. Použití těchto skel odporuje koncepci pasivního domu. Základem musí být rozumný návrh prosklených ploch případně s použitím venkovní stínící techniky. Skla musí umožňovat průchod záření do místností nejen kvůli tepelným ziskům, ale především kvůli vytvoření zdravého prostředí.



Obr. 3 Větší okna pasivního domu jsou zpravidla doplněny venkovním stíněním. V této variantě jsou do fasády zabudovány také fotovoltaické panely.

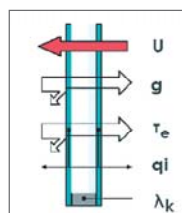
Bezpečnostní sklo

Skla odolná proti mechanickému poškození se vyrábí tepelným tvrzením a vrstvením tabulí. Tvrzené sklo má vyšší pevnost a při poškození se rozšpeje na malé kousky, které nejsou ostré (chrání proti pořezání). Vrstvená skla drží pohromadě pevná PVB folie, proto se při poškození nepořezeme, navíc různá složení vrstveného bezpečnostního skla s různým počtem použitých PVB fólií poskytuje odlišnou úroveň bezpečnosti od ochrany před úrazem a pády po nejvyšší stupeň ochrany proti střelám či explozi.

Vlastnosti zasklení

Vlastnosti zasklení jsou charakterizovány následujícími fyzikálními parametry:

U_g [W/(m ² .K)]	součinitel prostupu tepla zasklením (index g-glazing) udává, jaké množství tepla ve Wattech za sekundu projde plochou m ² zasklení při rozdílu teplot 1 K. Výpočet součinitele prostupu tepla je poměrně komplikovaný a lze jej najít v literatuře [1]
g [%]	prostupnost slunečního záření, v rozmezí 0 až 1, udává, kolik procent slunečního záření projde do interiéru. Je součtem krátkovlnné složky slunečního záření, které přímo pronikne do interiéru (T_e) a tepla, které izolační zasklení absorbuje a znovu vyzáří do interiéru (q_i) $g = T_e + q_i$
g/U	slouží k orientačnímu energetickému posouzení okna. Čím je tento poměr větší, tím má okno lepší vlastnost
λ_k [W/(m.K)]	ekvivalentní tepelná vodivost distančního rámečku
R_w [dB]	index vzduchové neprůzvučnosti



Složky určující výsledné vlastnosti zasklení

Velmi důležitý parametr zasklení, který přímo ovlivňuje tepelnou pohodu v místnosti, je vnitřní povrchová (dotyková) teplota. Tato teplota je výsledkem výše uvedených hodnot, které ovlivňují kvalitu zasklení a také způsobem zabudování okna do stěny. Následující tabulka přehledně zobrazuje, jak se mění výsledná teplota s rostoucí kvalitou okna při vnitřní teplotě 21 °C a vnější teplotě -14 °C.

Teplota povrchu zasklení při různých hodnotách U_g

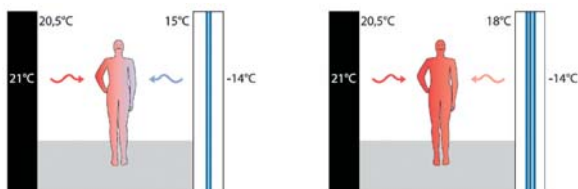
Součinitel prostupu tepla U_g [W/(m ² .K)]	7,9	1,7	1,2	0,8
Povrchová teplota skla [°C]	7,9	13,3	15,6	17,4

Podmínky, při kterých lze dané zasklení označit za vyhovující pro pasivní domy, byly jasně stanoveny Passivhaus Institutem (Darmstadt, Německo)

Kritéria zasklení pasivního domu

Součinitel prostupu tepla	$U_g < 0,8 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$
Energetické kritérium zasklení	$U_g - 1,6 \cdot g < 0$

Požadovaná hodnota U_g max. 0,8 W/(m².K) u pasivních domů zabezpečí i u větších oken tepelnou pohodu bez nepříjemného chladného sálání. Druhý vztah je označován jako „energetické kritérium“. Z tohoto vztahu vyplývá, že při zlepšení parametru U_g může klesat hodnota g. Minimální hodnota propustnosti slunečního záření pro zasklení $U_g = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ je pak 50 %. Skla těchto parametrů umístěná na jižní fasádě umožní i v zimním období pozitivní energetickou bilanci, tedy více získá než-li ztratí.

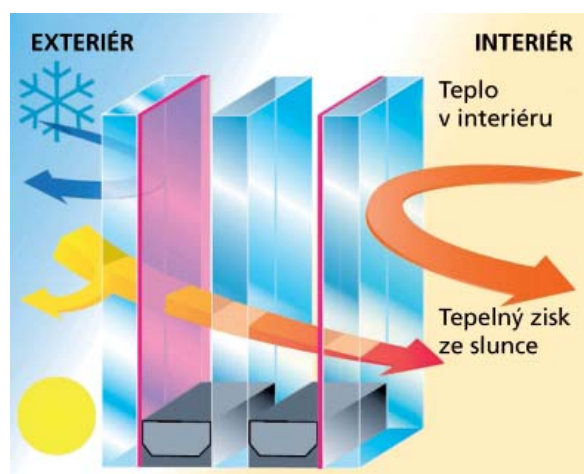


Obr. 4 Při použití prosklených ploch s nekvalitním zasklením je povrchová teplota okna nízká a v blízkosti okna je cítit nepříjemný chlad. Naopak při použití oken s parametry zasklení na úrovni pasivního domu je zajištěna tepelná pohoda.

Pokovení skel nízkoemisivní vrstvou

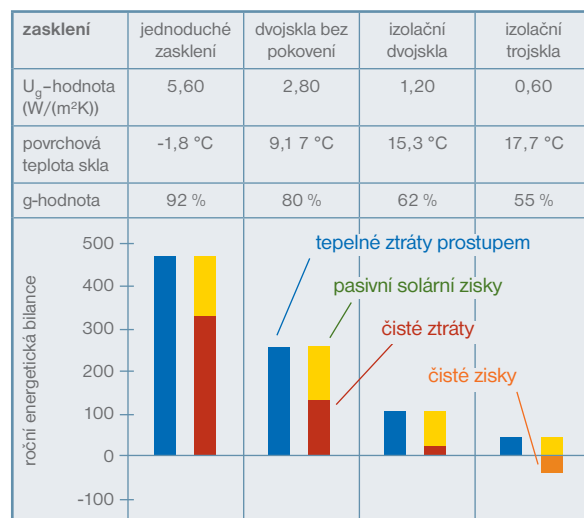
Velice nízké hodnoty součinitele prostupu tepla byly u izolačních skel dosaženy teprve použitím vrstvy pokovení. Jde o tabule skla opatřené napařenou vrstvou kovu, jsou také označovány jako low E coated (nízká emisivita). Protože tato skla vyzařovanou energii podle její vlnové délky odrážejí nebo propouštějí, hovoříme o selektivní povrchové úpravě. Krátkovlnné sluneční záření přicházející zvenku proniká sklem (menší část je zachycena selektivní vrstvou) a po dopadu na vnitřní plochy se proměňuje na teplo. Toto dlouhovlnné tepelné záření, které by se z vnitřního prostoru ztrácelo sklem ven, se na povrchové vrstvě odrazí a takřka jako je posláno zpět dovnitř. Ve spojení s výplní inertním plynem jsou dosaženy vysoké izolační parametry a dostatečné solární zisky.

Hodnota propustnosti slunečního záření i součinitele prostupu tepla zasklením závisí ve velké míře od typu použité



Obr. 5 Základem izolačního zasklení je selektivní vrstva pokovení, která propouští sluneční záření dovnitř a současně odráží proměněné teplo zpátky do místnosti. Ve spojení s výplní vzdušnými plyny jsou izolační vlastnosti ještě vylepšeny.

selektivní vrstvy pokovení. Izolační skla, dosahují velice nízké hodnoty U_g vrstvou pokovení s vyšší odrazivostí tepla, která současně propouští i méně slunečního záření. Naopak jsou zase skla, které jsou vyvinuta na vyšší solární zisky pro pasivní domy potřebné, které však nedosahují extrémně nízkých hodnot U_g , ale v celoroční bilanci mohou přinášet větší úspory. Samozřejmě závisí na účelu použití – pro obytné stavby jsou vhodná jiná skla jako třeba pro administrativní budovy, které mohou mít větší problémy s letním přehříváním.



Obr. 6 Porovnání různých druhů zasklení z hlediska celkové roční energetické bilance. Jak je vidět sebelepší izolační dvojskla jsou v konečném součtu ztrátové. Až použitím trojskel lze dosáhnout v pasivních domech stavu, kdy okna v otopné sezóně produkují zisky. Výše uvedené samozřejmě platí pro správnou orientaci hlavních prosklených ploch na jih.

V současnosti je nejvýhodnější pro pasivní domy používat trojitá zasklení o hodnotách $U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, $g = 52 \%$ nebo $U_g = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, $g = 60 \%$. Oba druhy skel dosahují svých parametrů při nejvíce výhodné 18 mm meziskelní mezeře. Skla s vyšší propustností slunečního záření než 60 %, tzv. „solární skla“ jsou již v nabídce několika výrobců. Jejich použití z hlediska tepelných zisků i kvality přirozeného osvětlení je velice výhodné.

Meziskelní mezera

Meziprostor izolačních zasklení býval dříve plněn pouze vzduchem. Ztráty vedením tepla se však dají redukovat použitím vzácných (inertních) plynů, které mají podstatně menší tepelnou vodivost. Nejběžněji se používá argon případně dražší krypton, teoreticky je možné uvažovat i s xenonem.

Vlastnosti jednotlivých plynů jsou více či méně závislé také na tloušťce mezery, která se pohybuje cca od 6 do 20 mm. Každý z plynů dosahuje svých nejlepších vlastností při jiné tloušťce mezery [1]. Pro nejběžnější argonové výplně, je u trojskel ideální meziskelní mezera 18 mm, kdy dosahují nejlepší izolační parametry.

Distanční rámečky

Styk skleněných tabulí s rámem a distanční rámeček (anglicky spacer), který zajišťuje přesnou vzdálenost mezi nimi, jsou energeticky nejslabším místem okna. Hodnota součinitele prostupu tepla U_g se většinou udává ve středu tabule. Ve skutečnosti je však na okrajích skla silně ovlivněna kvalitou použitého distančního rámečku.

Pro výrobu rámečků se standardně používá hliník, který je velmi tepelně vodivý a tudíž naprosto nevhodný. Častým neduhem těchto rámečků je nepříjemné orosování hrany zasklení v zimním období. Poněkud lépe jsou na tom rámečky z nerezové oceli, kterými se začali nahrazovat hliníkové.

U oken pasivních domů by však mělo být pravidlem použití tzv. „teplých rámečků“ (Warm Edge). Jsou to plastové rámečky, které mají kvůli přilnavosti tmelů kovové hrany. Jejich použití může zlepšit U hodnotu celého okna až o více než 10 % oproti standardním hliníkovým rámečkům.

Porovnání vlivu použitého materiálu distančních rámečků

Materiál	hliník	nerezová ocel	Plast s výztuží skelnými vlákny
ekv. tepelná vodivost k [W/(m.K)]	3,05	2,15	0,26
U_w celého okna [W/(m ² .K)]	0,89	0,84	0,79
Min. povrchová teplota [°C]	10,2	12,3	13,6

Poznámka: Vliv byl posuzován na konkrétním případě okna s hodnotami $U_f = 0,70$ (0,73 parapet) W/(m².K), $U_g = 0,70$ W/(m².K) a teploty -15 °C a 20 °C. Výsledky se budou pro různá okna měnit.



Obr. 7 Teplé rámečky by měly být u oken pro pasivní domy samozřejmostí. Na obrázku je řez izolačním zasklením s teplým distančním rámečkem.

Proč na sklech kondenzuje voda?

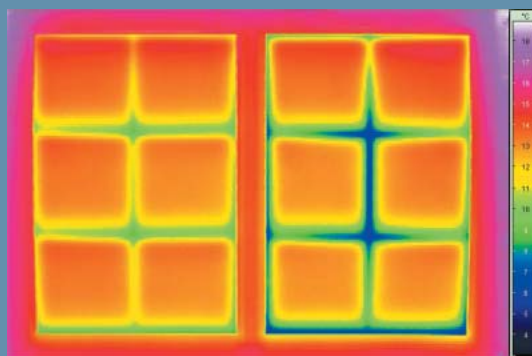
Kondenzace vody na sklech je velmi častý problém, který obtěžuje majitele oken. Často se pak ptají: „Koupil jsem si drahá okna a přesto se mi zamlžují. Čím je to způsobeno?“

Kondenzace může nastat jak na exteriérové, tak i na interiérové tabuli skla izolační jednotky.

Kondenzát na interiérové straně

V interiéru je toto dáno jednoznačně vysokou vlhkostí v místnosti, nejčastěji v koupelnách a kuchyních. Dále k tomuto jevu přispívá velmi nízká venkovní teplota a znemožnění vnitřní cirkulace vzduchu např. závěsy, květináči či nedostatečným větráním.

Zásadní vliv na tvorbu kondenzátu má také vnitřní povrchová teplota skla, která dosahuje minimálních (kritických) hodnot v blízkosti zasklívací drážky (zapuštění skla do okenního profilu), která by proto měla být co nejhlubší (min. 20 mm).



Obr. 8 Nepříjemné orosení okna na interiérové straně může být způsobeno více faktory, nejčastější je nízká povrchová teplota zasklení. Kvalitní okna a zasklení pro pasivní domy těmito problémy netrpí. Porovnání skel s teplým rámečkem (vlevo) a s běžným hliníkovým rámečkem (vpravo)..

Na vznik kondenzátu (rosení oken) má vliv:

- vysoká relativní vlhkost v interiéru
- nízká venkovní teplota
- znemožnění cirkulace vzduchu
- nízká povrchová teplota skla – tepelný most u napojení skla na rám
- materiál distančního rámečku
- nevhodné osazení okna v konstrukci

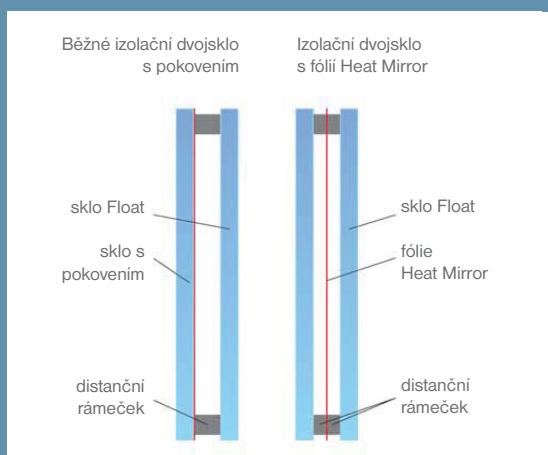


Kondenzát na exteriérové straně

Majitele oken s izolačními trojskly často překvapí vznik kondenzátu na venkovní straně a považují to za chybu. Může vzniknout pokud je venkovní relativní vlhkost vzduchu vysoká a přitom venkovní vzduch má vyšší teplotu než je teplota povrchu zasklení. Není to chybou, naopak svědčí to o velmi dobře izolujícím zasklení (neohřívá se poslední vnější tabule skla).

Co je „tepelné zrcadlo“?

Systém tepelného zrcadla (Heat Mirror) využívá fólie pokrytou nízkoemisivní vrstvou, jenž je napnutá uprostřed mezi dvěma skly. Fólie je průhledná pro viditelné světlo a nahrazuje střední sklo. Výhodou je především nižší hmotnost okna odpovídající běžnému dvojsklu při obdobných parametrech jako u trojskel.



Obr. 9 Schéma umístění fólie Heat Mirror

V současné době je na trhu i systém s dvěma fóliemi Heat Mirror. Výsledkem je čtyřvrstvý izolační systém dosahující nízkých hodnot součinitele prostupu tepla – při šířce zasklení 40 mm je $U < 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Výhodné izolační vlastnosti však kompenzuje nízká propustnost slunečního záření, která při běžném použití posouvá energetickou bilanci na hodnoty běžných trojskel.

Výhodou je použití skel s fólií Heat Mirror např. u střešních oken, kde při naklonění okna dochází v důsledku změny cirkulace vzduchu k výraznému zhoršení tepelně-izolačních vlastností. Při sklonu 45° se jedná až o 32 %. Při použití meziskelní fólie ke zhoršení součinitele U téměř nedochází (1–3 %). Je to proto, že fólie oddělí prostor na dvě samostatné komory, brání tím nepříznivé cirkulaci a přestupu tepla mezi komorami v šikmém i vodorovném směru.

Nevýhodou skel s fólií Heat Mirror je obecně nižší propustnost slunečního záření a vyšší cena.

Vakuová skla – budoucnost zasklení?

Hodně se očekává od vakuových skel, které jsou stále ve vývoji. Vyrobíme-li podtlak (blížící se vakuu) v meziprostoru a postaráme se pomocí vhodných transparentních distančních rámečků, aby se obě skla k sobě nepřisála, dostaneme velmi nízké U hodnoty. V Japonsku se již vakuové zasklení vyrábí průmyslově jako dvojitě izolační sklo. Tato skla zatím dosahují strážlivých U_g hodnot $1,2 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$. Finančně návratná výrobní metoda lepších vakuových skel bohužel ještě není k dispozici.

Okna pasivních domů jsou zasklena zpravidla izolačním trojsklem s nanesenou nízkoemisivní vrstvou a výplní inertním plynem. Velký vliv na vlastnosti okna má také distanční rámeček. Jen použitím těchto prvků lze dosáhnout při správné orientaci okenních otvorů

Správným výběrem zasklení můžete:

- výrazně snížit náklady na vytápění
- zajistit příjemnou teplotu v interiéru
- chránit svůj dům – bezpečnostní sklo
- redukovat hluk v domě – akustické sklo



Doporučená a použitá literatura a normy

- [1] ŘEHÁNEK, J., JANOUŠ, A., KUČERA, P. ŠAFRÁNEK, J.: Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov. Grada, 2002
- [2] TYWONIAK, J.: Nízkoenergetické domy. Grada, 2005
- [3] GABZDYL, M.: Okenní výplně stavebních otvorů. VUT. Brno, 2003
- [4] ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov, změna 2005



Vydalo:

Centrum pasivního domu
Údolní 33, 602 00 Brno

Autor textů: Juraj Hazucha

Fotografie: Optiwin, Jan Bárta, archiv AGC Glass,
Europe, archiv SGG Swisspacer, Izolační skla, Slavona
© 2010 Centrum pasivního domu

www.pasivnidomy.cz



Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována z dotací Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2010 – část A – Program EFEKT