

ZASKLENÍ

Radíme a vzděláváme

Centrum pasivního domu je neziskovým sdružením právnických i fyzických osob, které vzniklo za účelem podpory a propagace standardu pasivního domu a za účelem zajištění kvality pasivních domů.

Členy sdružení jsou jako podporující členové architekti, projektanti, stavební firmy, výrobci stavebních materiálů a prvků, a všichni ostatní odborníci se zájmem o pasivní domy. Podporující členové se podílí na realizaci aktivit sdružení, zejména svými odbornými znalostmi a zkušenostmi, aktivně spolupracuje s ostatními členy.

Myšlenka ideálního fungování pasivního domu je částečně založena na co největších tepelných ziscích. Je to logické. Čím více tepla přijde do domu přirozenou cestou a zadarmo ze slunce, 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 měly 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 izolační zasklení, která se hodnotami součinitele prostupu tepla pomalu blíží k normou doporučené hodnotě pro stěny. Přesto se z konceptu plně prosklených domů ustupuje. V našich klimatických podmínkách, kde slunce v zimě tolik nesvítí, ztrácí plně prosklené fasády smysl, naopak v letním období mohou způsobit nepříjemné přehřívání interiéru. Návrh prosklených ploch s rozumem také výrazně ovlivní pořizovací náklady. Menší okna jsou levnější a odpadá mnohdy nutnost použití vnějších stínících prvků, které jsou velice nákladné. Výhodnější je i využití vnitřních dispozic, kde u stěn nebo pod parapety lze jednodušeji umístit nábytek.

Jak velké tedy mají být prosklené plochy v pasivním domě? Úspory energie díky pasivním solárním ziskům rostou do 30–40 % prosklené plochy. Mluvíme samozřejmě o jižní fasádě. Další zvětšování oken již nevede k výrazným úsporám, naopak zvyšuje riziko letního přehřívání.



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. Samozřejmě 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 rozeznat od běžné výstavby. (Foto Aleš Brotánek)

TYPY POUŽÍVANÝCH SKEL

Základními surovinami pro výrobu skla je křemičitý písek, vápennec, živec a soda. S vývojem technologií se výrazně zlepšovaly mechanické i fyzikální vlastnosti skel. V současnosti se nejvyšší kvalitu skla vyrábí plavením (sklo Float), má minimum vad, 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 stejné jako u jednoduchého zasklení.

Tepelně-izolační sklo

Jde 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 tak zabraňuje nadměrným tepelným ztrátám. Izolační skla se vyrábí jako dvojskla nebo trojskla, která 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 $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. V 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 místnosti nejen kvůli tepelným ziskům, ale především kvůli vytvoření zdravého prostředí.



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

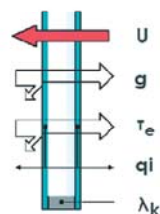
Bezpečnostní sklo

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

VLASTNOSTI ZASKLENÍ

Vlastnosti zasklení jsou charakterizovány následujícími fyzikálními parametry:

$U_g \text{ [W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	součinitel prostupu tepla zasklením (index g-gla-zing) 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].
$g \text{ [%]}$	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 vyžáří 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.
$\lambda_k \text{ [W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	ekvivalentní tepelná vodivost distančního rámečku
$R_w \text{ [dB]}$	index vzduchové neprůzvučnosti



Složky určující výsledné vlastnosti zasklení

Velmi důležitým parametrem zasklení, který přímo ovlivňuje tepelnou pohodu v místnosti, je vnitřní povrchová (dotyková) teplota. Tato teplota závisí na výše uvedených hodnotách, které ovlivňují kvalitu zasklení, a dále na způsobu 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

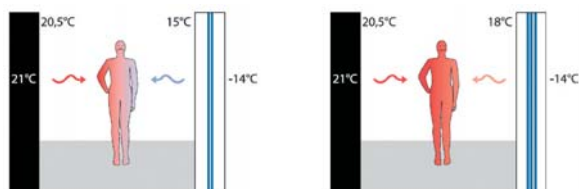
Součinitel prostupu tepla U_g [W/(m ² .K)]	7,9	1,7	1,2	0,8
Povrchová teplota skla [°C]	7,9	13,3	15,6	17,4

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	$U_g - 1,6 \cdot g < 0$

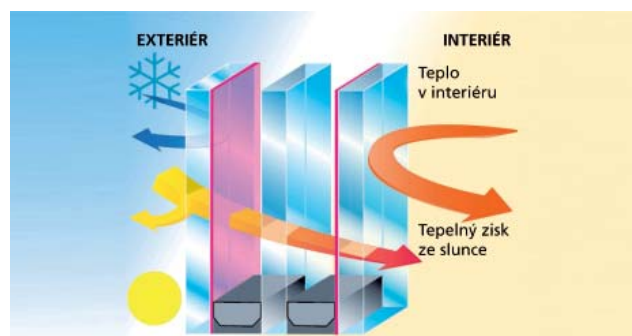
Požadovaná hodnota U_g max. 0,8 W/(m².K) u pasivních domů zabezpečí i u větších oken tepelnou pohodu bez nepříjemného chladného sálání. Druhý vztah je označován jako „energetické kritérium“. Z tohoto vztahu vyplývá, že při zlepšení parametru U_g může klesat hodnota g . Minimální hodnota propustnosti 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 zisků než ztrát.



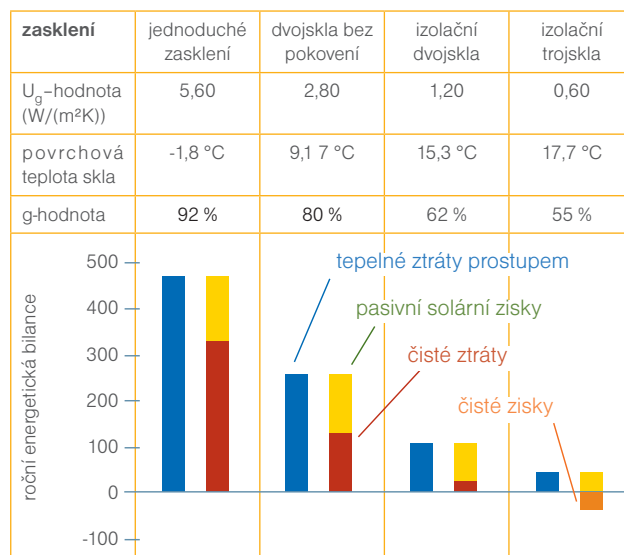
Obr. 4 Při použití prosklených ploch s nekvalitním zasklením je povrchová teplota okna nízká a v blízkosti okna je cítit nepříjemný chlad. Naopak při použití oken s parametry zasklení na úrovni pasivního domu je zajištěna tepelná pohoda.

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 v závislosti na vlnové délce záření 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 (dlouhovlnné tepelné záření). Toto dlouhovlnné tepelné záření, které by se z vnitřního prostoru ztrácelo sklem ven, se na povrchové vrstvě odrazí a takřka je posláno zpět dovnitř. V kombinaci s výplní inertním plynem jsou dosaženy vysoké izolační parametry a dostatečné solární zisky.



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 vzácnými plyny jsou izolační vlastnosti ještě vylepšeny. (archiv AGC Glass, Europe)



Obr. 6 Porovnání různých druhů zasklení z hlediska celkové roční energetické bilance. Jak je vidět, sebelepší izolační dvojskla jsou v konečném součtu ztrátová. Až použitím trojskel lze dosáhnout v pasivních domech stavu, kdy okna v otopné sezóně produkují zisky. Výše uvedené samozřejmě platí pro správnou orientaci hlavní prosklené plochy na jih. (Zdroj Passivhaus Institut)

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 nejvýhodnější 18 mm široké 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 meziskelní mezery, která se pohybuje cca od 6 do 20 mm. Každý z plynů dosahuje svých nejlepších vlastností při jiné tloušťce mezery. Pro nejběžnější argonové výplně je u trojskel ideální meziskelní mezera 18 mm, kdy jsou dosaženy 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.

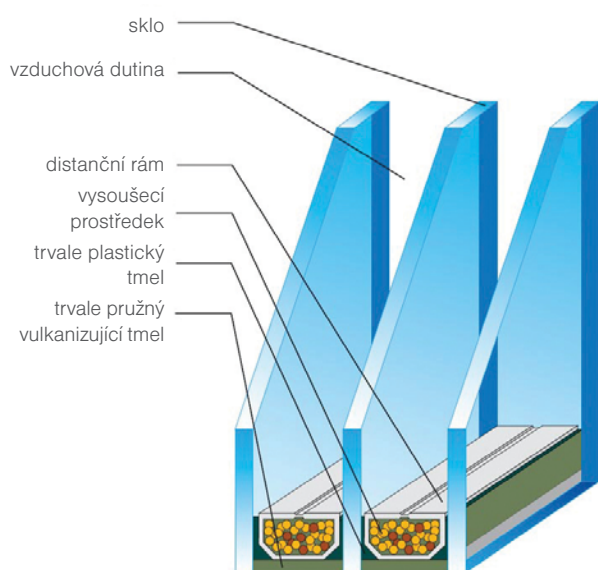
K výrobě rámečků se standardně používá hliník, který je velmi tepelně vodivý, a tudíž naprosto nevhodný. Častým neduhem těchto rámečků je nepříjemné orosování hrany zasklení v zimním období. Poněkud lépe jsou na tom rámečky z nerezové oceli, kterými se začaly nahrazovat hliníkové.

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 λ [W/(m.K)]	3,05	2,15	0,26
U_w celého okna [W/(m².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 kondenzace způsobena 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.

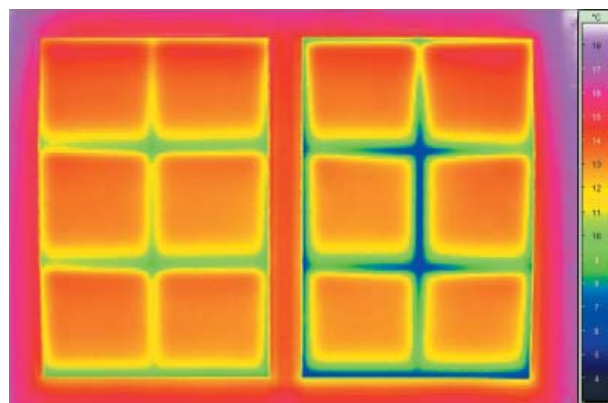
Zásadní vliv na tvorbu kondenzátu má také vnitřní povrchová teplota skla, která dosahuje minimálních (kritických) hodnot v blízkosti zasklívací drážky (zapuštění skla do okenního profilu), která by proto měla být co nejhlubší (min. 20 mm).

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

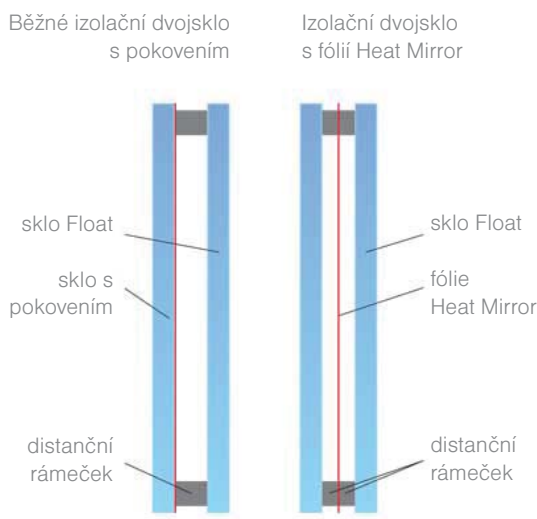
Majitele oken s izolačními trojskly často překvapí vznik kondenzátu na venkovní straně a považují to za chybu. Kondenzát může vznikat, pokud je venkovní relativní vlhkost vzduchu vysoká a přitom venkovní vzduch má vyšší teplotu, než je teplota povrchu zasklení. Není to chybou, naopak svědčí to o velmi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



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). (archiv SGG Swisspacer)

CO JE „TEPELNÉ ZRCADLO“?

Systém tepelného zrcadla (Heat Mirror) využívá fólie pokrytou nízkoemisivní vrstvou, jež je napnuta uprostřed mezi dvěma skly. Fólie je propustná 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 (zdroj Izolační skla)

V současné době je na trhu i systém se dvěma fóliemi Heat Mirror. Výsledkem je čtyřvrstvý izolační systém dosahující nízkých hodnot součinitele prostupu tepla – při šířce zasklení 40 mm je $U_g < 0,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Výhodné izolační vlastnosti však zhoršuje nízká propustnost slunečního záření, která při běžném použití posouvá energetickou bilanci na hodnoty běžných trojskel. Použití skel s fólií Heat Mirror je výhodné např. u střešních oken, kde při naklonění okna dochází v důsledku změny cirkulace vzduchu k výraznému zhoršení tepelněizolačních vlastností. Při sklonu 45° jde až o 32 %. Při použití meziskelní fólie ke zhoršení součinitele U téměř nedochází. Je to proto, že fólie rozdělí 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.

Budoucnost zasklení?

Hodně se očekává od vakuových skel, která jsou stále ve vývoji. Vyrobíme-li podtlak (blížíci 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 dvojité izolační sklo. Tato skla zatím běžně dosahují hodnot $U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Finančně ná vratná výrobní metoda lepších vakuových skel s hodnotou U_g pod $0,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ bohužel ještě není k dispozici. Další, ještě progresivnější, je technologie zasklení s použitím tenkých skleněných fólií. Při tloušťce 150 až 200 mm dosahuje při rozdělení na 12 paralelních dutin hodnoty $U_g = 0,10 - 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ při vysoké propustnosti solárního záření $g = 65 \%$. Tento systém znamená revoluci v energetice úsporných stavbách, protože jde v podstatě o plně transparentní izolaci.



Obr. 10 Revoluci v zasklení může způsobit systém multifólie, který dosahuje izolačních vlastností stěn, a přitom má vysokou propustnost sluneční energie. (Zdroj Superwindows)



ZÁVĚR

Volba zasklení výrazně ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí a energetickou bilanci domů. Okna pasivních domů jsou zpravidla zasklena izolačním trojsklem s nanesenou nízkoemisivní vrstvou a s výplní inertním plynem. Velký vliv na vlastnosti okna má také teplý distanční rámeček, který řeší problém orosování okrajů skla při použití hliníkových rámečků. Při správné orientaci a optimalizované velikosti oken s použitím vhodného zasklení lze dosáhnout pozitivní energetickou bilanci a vysoký komfort, který je devízou pasivních domů.

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 2007



poradna@pasivnidomy.cz | +420 773 071 444 | www.pasivnidomy.cz

finanční podpora

Vydalo: Centrum pasivního domu
Údolní 33, 602 00 Brno
Autor textů: Juraj Hazucha
© 2013 Centrum pasivního domu



Publikace byla zpracována za finanční podpory Státního programu podpory úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2012 – Program EFEKT.