

Multifunkční zasklení 1 – Sklo a solární ochrana

Návrh správného zasklení, ať už z pohledu estetiky, osvětlení, oslunění, tepelných ztrát, bezpečnosti, akustiky, statiky a mnoha dalších hledisek, se poslední dobou začíná stávat vědním oborem a uvažuje se o jeho zařazení do povinného kmene vysokoškolského studia. V seriálu, který tímto článkem otevíráme, představíme současné možnosti tohoto materiálu a základní postupy, jak navrhovat sklo v moderních stavbách nového tisíciletí.

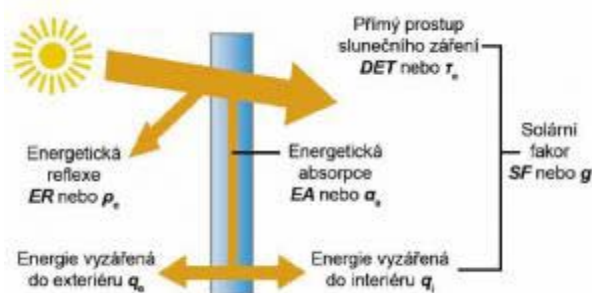
Nekonečné možnosti skla

Skleněná výplň v konstrukci obvodového pláště zcela nepochybně zasahuje svou koncepcí do architektonické tvorby. Sklo bylo, je a stále bude jedním z hlavních stavebních prvků v architektuře, a to nejen díky svým estetickým vlastnostem, jako jsou průhlednost a čistota, ale i díky své různorodosti, možnostem zpracování a v neposlední řadě stále se zlepšujícím izolačním vlastnostem.

Obvodový plášť zhotovený z kovu a skla nebo celoskleněná konstrukce nejsou v žádném případě strnulou statickou stavbou, jako je tomu u jiných masivních materiálů. Stavby ze skla na nás působí svou lehkou hmotou – membránou, kterou se promítá dynamika života z jednoho prostředí do prostředí druhého. Nechceme zde propagovat sklo jako ideální hmotu. V retrospektivním přehledu jsme se přesvědčili, že sklo jako stavební hmota má mnoho předností, ale také mnoho slabých stránek. Zcela bez pochyby lze však sklu přisoudit jednu důležitou vlastnost, kterou postrádají všechny ostatní stavební hmoty: nezaměnitelnou průsvitnost a průhlednost.

Požadavky na multifunkční skla

Abychom dodrželi přísné požadavky norem, ale především abychom zajistili příjemné a bezpečné prostředí interiérů staveb, musíme návrh zasklení věnovat větší pozornost, než tomu bylo v minulosti. Každý den se ve své praxi setkáváme s dotazy na správný návrh zasklení. „Máte sklo, které by umělo snížit přehřívání interiéru v letním období?“ „Co si mám představit pod pojmem bezpečnostní sklo?“ „Jaké složení skla musím použít, abych dosáhl $R_w = 48$ dB?“ „Vzduchotechnik mi napsal, že stínicí faktor může dosáhnout maximální hodnoty 0,43; máte takové sklo?“ Znáte odpovědi na všechny otázky týkající se skla je záležitostí dlouholetého studia a neustálého sledování nových trendů. Nová, multifunkční skla nám musí splňovat požadavky z pohledu stavební fyziky, bezpečnosti, statiky, estetiky a ekologie. Vlastnosti zasklení jsou definovány pomocí několika málo veličin:



Energetické veličiny (obr. 1)

Při dopadu slunečních paprsků na zasklení se celkové sluneční záření (mezi 300 a 2500 nm) rozkládá na:

- část energie $\rho_e \Phi_e$, která je odražena zpět do exteriéru; ρ_e (*Energy reflection – ER*) je číselný koeficient průstupu přímého slunečního záření,
- část energie $\tau_e \Phi_e$, která je přenesena přes zasklení do interiéru; τ_e (*Direct energy transmission – DET*) je přímá energie,
- část energie $\alpha_e \Phi_e$, která je pohlcena do hmoty skla; α_e (*Energy absorption – EA*) je číselný koeficient pohlcení přímého slunečního záření. Tato energie je následně:

- vyzářena do exteriéru $q_e \Phi_e$; q_e je číselný koeficient pohlcení přímého slunečního záření 1,
- vyzářena do interiéru $q_i \Phi_e$; q_i je číselný koeficient pohlcení přímého slunečního záření 2.

Pro tyto činitele platí zákon zachování energie:

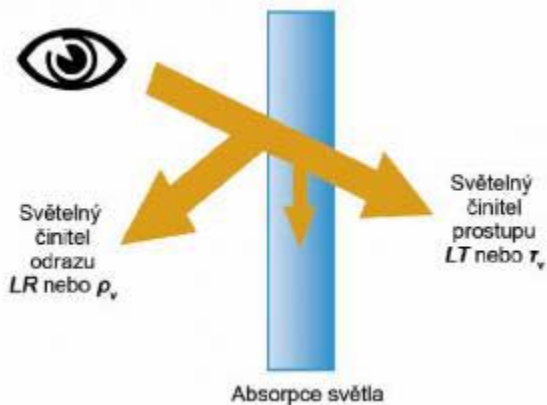
$$\rho_e + \tau_e + \alpha_e = 1 \text{ nebo } ER + DET + EA = 100$$

a zároveň

$$\alpha_e = q_e + q_i$$

Celkový číselný koeficient průstupu slunečního záření g (*Solar factor*, solární faktor – *SF*) reprezentuje celkovou energii přenesenou přes zasklení – je to suma energie přenesené přes zasklení (*DET*) a energie následně vyzářené do interiéru:

$$g = \tau_e + q_i$$



Světelné faktory (obr. 2)

V podobném duchu jako u energetických faktorů jsou světelné faktory definovány výhradně na základě viditelné části slunečního záření (mezi 380 a 780 nm).

Světelný činitel prostupu τ_v (*Light transmission – LT*) a světelný činitel odrazu ρ_v (*Light Reflection – LR*) jsou definovány samostatně jako část viditelného světla přenesená do interiéru a část viditelného světla odražená zpět do exteriéru. Záření pohlcené do hmoty skla není viditelné a je zpravidla zanedbatelné. V tabulce 1 je uveden příklad hodnot **SF** a **LT** pro jednoduché čiré sklo a dvojsklo.

Tabulka 1: Hodnoty g a τ_v jednoduchého skla a dvojskla

	g (SF)	τ_v (LT)
čiré sklo tl. 4 mm	0,86	0,90
čiré dvojsklo 4–15–4 (mm)	0,76	0,81

Všeobecný index podání barev RD_{65} (R_a)

Vlastnost podání barev zasklení v prostupu se vyjádří všeobecným indexem podání barev R_a . Tento index umožňuje vyjádřit kvantitativní zhodnocení rozdílu barvy vůči zkušebními barvám při přímém osvětlení normalizovaným druhem světla D_{65} a tímž druhem světla propuštěným zasklením. Čím větší je tato hodnota, tím méně jsou barvy přenesené skrze zasklení zkresleny.

Tabulka 2: Fyzikální parametry pro hodnocení vlastností zasklení

	Zkratka	Značka	Definice	Norma
Světlo	LT	τ_v	Light transmission [%] Světelný činitel prostupu [%]	EN 410
	LR	ρ_v	Light reflection external [%] Světelný činitel odrazu ext. [%]	EN 410
	LR _i	$\rho_{v,i}$	Light reflection internal [%] Světelný činitel odrazu int. [%]	EN 410
	RD_{65}	R_a	Standard illuminant D65 Normalizovaný druh světla D65	EN 410
	DET	τ_d	Direct energy transmission [%] Činitel prostupu přímého slunečního záření [%]	EN 410
Energie	ER	ρ_e	Energy reflection [%] Činitel odrazu přímého slunečního záření [%]	EN 410
	EA_{tot}	α_e	Total energy absorption [%] Činitel pohlcení přímého slunečního záření [%]	EN 410
	EA_1	$\alpha_{e,1}$	Energy absorption of the glass in double glazing or triple glazing [%]	EN 410
	EA_2	$\alpha_{e,2}$	Činitel pohlcení přímého slunečního záření pro sklo ve dvojsklo nebo trojsklo [%]	
	SF	g	Solar factor [%] Celkový činitel prostupu sluneční energie [%]	EN 410
	SC		Shading coefficient [SF/87]	EN 410
	UV _v	τ_{uv}	UV transmission [%] Ultrafialový činitel prostupu [%]	EN 410
	Teplota	$U; U_g$		Thermal transmission coefficient [W/m ² K] Součinitel prostupu tepla [W/m ² K]
Akustika		R_w		Sound reduction index [dB] Vážená neprůzvučnost [dB]
	C		Pink noise adaptation factor [dB]	EN ISO 717-1
	C_w		Traffic noise adaptation factor [dB]	EN ISO 717-1
			Faktor přizpůsobení spektra C_w – dopravní hluk [dB]	

Selektivita

Sluneční záření, tj. viditelné světlo, ultrafialové záření (UV) a infračervená radiace (IR), přenáší do interiéru staveb teplo. Tuto tepelnou energii můžeme omezit bez výrazného snížení prostupu světla použitím vysoce účinného nízkoemisivního povlaku na povrchu skla, který zabrání prostupu UV a IR záření a zároveň propustí viditelné světlo. Tento druh skla se nazývá selektivní. Selektivita zasklení se vyjádří pomocí podílu světelného činitele prostupu (**LT**) a celkového činitele prostupu slunečního záření (**SF**):

$$\text{Selektivita} = LT/SF$$

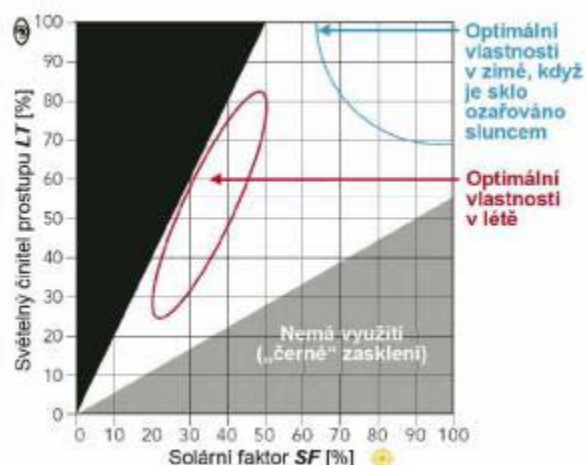
Donedávna platilo, že selektivita skla může dosahovat hodnot 0 až 2:

- 0 pro opakní sklo, které nepropouští světlo ($LT=0$),
- 2 bylo považováno za nejlepší možnou selektivitu. Za mez byl pokládán fakt, že z celkového rozsahu slunečního spektra je 50 % viditelného světla. Proto se např. pro zasklení s $LT=50\%$ uvažovalo s nejlepším možným $SF=25$. S příchodem nových materiálů a technologií se již dostáváme mírně přes hranici 2.

Čím je hodnota selektivity vyšší, tím více je sklo selektivní. V praxi má například standardní čiré sklo $LT=90$ a $SF=86$. Selektivita = $90/86 = 1,04$ (Planibel Clar 4 mm). Vysoce selektivní dvojsklo může dosahovat hodnot $LT=50$; $SF=24$; selektivita = $50/24 = 2,083$ (Stopray Lime 61T 66.2–15–6 Planibel Clear Vison).

Ohřívání místností – skleníkový efekt

Slunce představuje pro objekty s rozsáhlými prosklenými plochami velký zdroj tepla. Teplo ze slunce (ve formě krátkovlnného záření) se do místnosti dostává přímým (DET) nebo nepřímým (q_i) prostupem slunečního záření. Sluneční záření pak v budovách ozařuje zdi, podlahy a nábytek, které ho částečně absorbují, a tím se ohřívají. Ohřáté plochy pak vracejí tepelnou energii ve formě infračerveného záření s vlnovou délkou větší než 2500 nm (dlouhovlnné infračervené záření). Sklo je k tomuto dlouhovlnnému záření opakní, a záření proto zůstává v interiéru, což vede ke gradaci teploty; toto je princip skleníkového efektu. Pro názornost si představme auto zaparkované na slunci; teplota uvnitř významně stoupá díky zahřívání palubní desky a sedaček krátkovlnným zářením a jeho následné přeměně na dlouhovlnné.



Požadovaný výkon zasklení

Na schématu na obr. 3 je znázorněna závislost SF a LT podle fyzikálních zákonů:

- černý trojúhelník představuje oblast donedávna považovanou za fyzikálně nemožnou, kdy se počítalo se SF o minimální hodnotě ve výši poloviny LT ;
- dosažení vysokého SF (významného energetického výkonu) s nízkým LT (malý prostup světla) je z hlediska uživatele bezvýznamné – šedě vyplněný trojúhelník vyznačuje nezajímavou oblast;
- prostřední, bílá oblast grafu vyznačuje teoreticky možnou oblast použití, které lze kombinací SF a LT dosáhnout; některé zóny mají významnou hodnotu v různých oblastech použití:
 - residenční budovy – u těchto budov je v letním období žádaný nízký solární faktor v kombinaci s vysokými hodnotami prostupu světla (červená oblast), naopak v zimě jsou žádané vysoké hodnoty solárního faktoru s vysokými hodnotami prostupu světla (modrá oblast);
 - v kancelářských a komerčních budovách jsou tepelné zisky od slunce v zimním období narozdíl od budov residenčních většinou nežádoucí, a proto je vyžadována sluneční ochrana zasklení.

Všechny části uvnitř bílé oblasti grafu jsou zasklením teoreticky dosažitelné. Výše zmiňovaná kritéria se zabývají pouze tepelnými zisky a prostupem světla. Avšak ve skutečnosti je při výběru vhodného zasklení, nutné věnovat pozornost všem stavebně-fyzikálním aspektům (tepelná technika, akustika, orientace na světovou stranu atd.).

Skla se sluneční ochranou

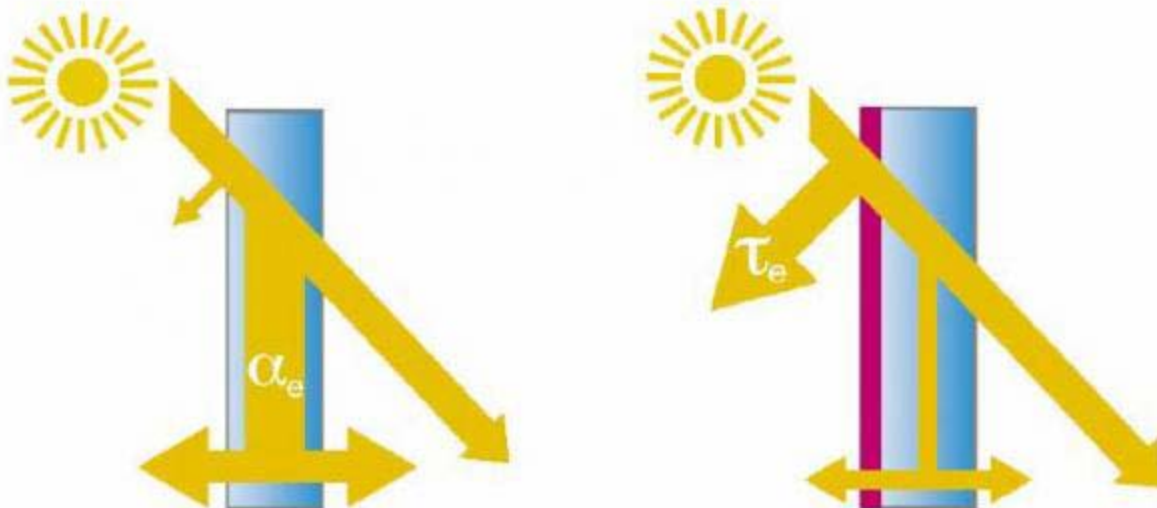
Na trhu jsou dostupné dva typy skel se sluneční ochranou: skla probarvená ve hmotě (absorpční skla) a skla s anorganickými povlaky. Oba druhy lze navzájem kombinovat.

Absorpční skla

Tato skla jsou probarvena ve hmotě díky různému obsahu oxidů kovů v základní hmotě sklářského kmenu do odstínů bronzové, šedé, zelené, modré, azurové atd. V závislosti na barvě a tloušťce se solární faktor pohybuje od 40 do 80 %. Tyto druhy skla pohlcují určitou část sluneční energie do své hmoty, a tím omezují její prostup a následné vyzařování (obr. 4).

Množství energie vyzařené do exteriéru a interiéru je závislé na rychlosti proudění vzduchu podél vnějšího povrchu skla a na venkovních a vnitřních teplotních podmínkách. Aby co nejvíce vyzařené tepla zůstalo vně objektu, musí se absorpční sklo instalovat na vnější stranu fasády. U plochých rovných fasád, kde proudění vzduchu po jejich povrchu nejsou kladeny žádné překážky, dochází k menšímu ohřívání interiéru.

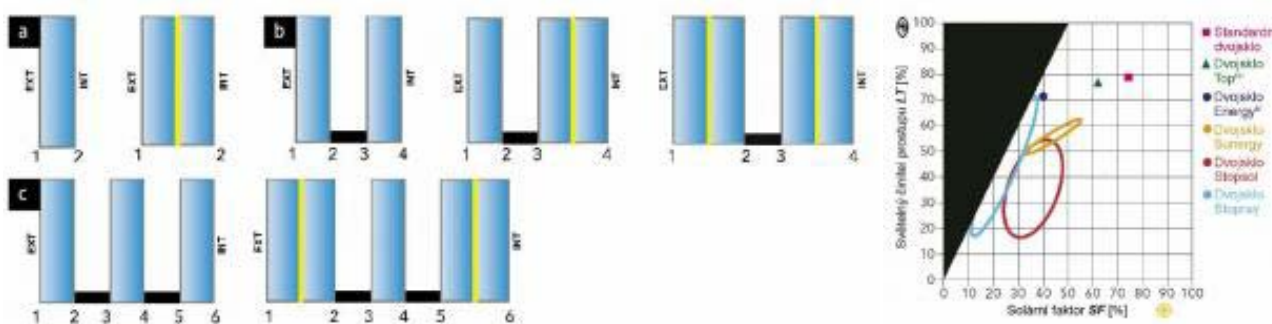
Absorpční sklo se působením slunečního záření velmi rychle ohřívá a následkem toho hrozí riziko velkého tahového namáhání, způsobeného rozdílem teplot na povrchu skla (více než 30 °C) – tzv. riziko termálního šoku.



Skla s povlakem

S příchodem nových technologií získáváme moderní skla s vysokou účinností sluneční ochrany. Tento druh skla odráží určité spektrum sluneční energie pomocí speciálního povlaku anorganických látek (obr. 5). Často se nepřesně mluví o sklech s pokovením. Povlak však může být i jiného charakteru, a norma *ČSN EN 1096 Sklo ve stavebnictví – Sklo s povlakem* proto výraz pokovení nepoužívá. Rozlišují se dva druhy povlaků:

- tvrdé povlaky (on-line technologie, např. pyrolitické), které jsou aplikovány na čiré nebo barevné sklo přímo na výrobní lince – tento druh skel lze použít v pozici 1 a 2 (obr. 6) u jednoduchého skla nebo u izolačních dvojskel, trojskel;
- měkké povlaky (off-line technologie, např. magnetronové „vakuové“) – tento druh povlaku je náchylný k oxidaci a není tak odolný vůči mechanickému poškození jako skla s tvrdým povlakem, proto musí být aplikován na pozici 2 nebo 3 a pouze uvnitř izolačního dvojskla nebo trojskla; skla s tímto druhem povlaku jsou k dispozici v širokém okruhu barev.



Skla s tvrdým povlakem lze použít jak v exteriéru, tak i v interiéru staveb, jsou odolná vůči povětrnostním vlivům a je možné je čistit i na pozici povlaku. Při použití tohoto skla v zasklivačích jednotkách můžeme dosáhnout $U_g = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. (např.: Stoposol 4–15–4). Skla s tvrdými povlaky je vhodné kombinovat se skly s nízkoeemisivními (tzv. LOW-E) měkkými povlaky určenými pouze ke snížení prostupu tepla, pak lze dosáhnout hodnot $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (např. Stoposol 4–15–4 TopN+).

Pro splnění vysokých nároků na zasklivačích jednotky výplň stavebních otvorů byla vyvinuta selektivní skla s měkkým povlakem, která mají dobré tepelně-technické vlastnosti ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) a zároveň vytvářejí sluneční ochranu. Tato skla donedávna nebylo možné tepelně tvrdit či ohýbat, dnes máme na trhu skla s měkkým povlakem, která splňují největší rozsah požadavků na zasklení (např. Stopray).

MIROSLAV SÁZOVSKÝ

*Ing. Miroslav Sázovský (*1979)*

absolvoval ČVUT v Praze, obor stavební fyzika. Pracuje jako konzultant stavebního skla pro firmu AGC Flat Glass Czech, specializuje se na stavebně fyzikální vlastnosti zasklení, je členem mezinárodního týmu The International Building Projects.