

Parozábrana ve skladbách stavebních konstrukcí se stříkanými PUR pěny

Martin Černohorský, DEKPROJEKT s.r.o., Tiskařská 10/257, Praha – Malešice

Úvod

Současný trh se stavebními materiály, v návaznosti na snižování potřeb energií na vytápění, nabízí řadu tepelných izolací. Mezi tepelné izolace, které mají na trhu své místo, ale neovládají dominantní část trhu s tepelnými izolacemi, patří stříkané polyuretanové tepelné izolace. Stříkané tepelné izolace vznikají chemickým nebo chemicko-fyzikálním vypěňováním po smíchání dvousložkové tekuté směsi za pomoci CO₂ nebo CO₂ a HFC plynů (hydrofluorcarbon). Po nástřiku na zateplovanou plochu dochází bezprostředně k mnohonásobnému zvětšování objemu, ve zdrojích se objevují hodnoty hovořící až o 100násobném zvětšení objemu u takzvaných měkkých PUR pěn. Extrémní zvětšování objemu pěny a způsob aplikace v kombinaci s vlastnostmi vytvrzené pěny přináší tomuto výrobku řadu specifik.

Na trhu se od roku 2005 (např. PUR IZOLACE s.r.o.) objevují takzvané měkké a tvrdé polyuretanové pěny. „Měkké“ pěny jsou alternativou tepelných izolací umísťovaných mezi dřevěné prvky (krovy, sloupkové dřevostavby, dřevěné podlahy nad exteriérem atd.). „Tvrdé“ pěny jsou určeny především pro realizaci horních vrstev plochých střech, ale i jako kontaktní zateplení architektonicky výrazných fasád - obrázek /1/. Provádění nástřiku je vidět na obrázku /2/.



Obrázek /1/ Rodinný dům vila Hermína – fasáda zateplená PUR pěnou [1]



Obrázek /2/ Provádění nástřiku tvrdé PUR izolační pěny

Tento článek se bude zabývat konstrukcemi s použitím „měkkých“ stříkaných polyuretanových pěn a vlastnostmi těchto konstrukcí. Důraz byl kladen na rozdíly při použití skladb s a bez parozábrany ze strany interiéru.

Aplikace pěny

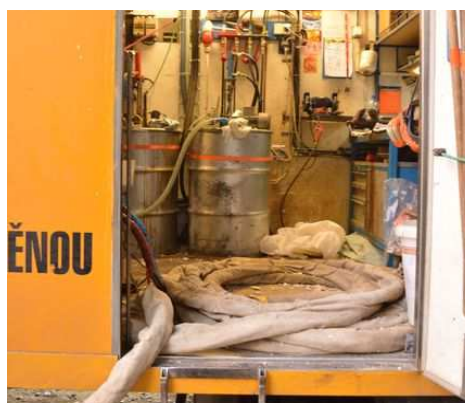
Míchací zařízení, které připravuje tekutou směs pro okamžitou spotřebu, je umístěné nejčastěji v malém skříňovém nákladním automobilu - obrázek /4/. Tekutá směs je dopravována hadicemi po jednotlivých složkách přímo ke speciální směšovací pistoli, kterou se tekutá směs stříká na určené místo obrázek /3/. Z hlediska pohledu platné legislativy ČSN EN 14315-1 a ČSN EN 14315-2 [2,3] by měl deklarovat vlastnosti tepelné izolace výrobce surovin a aplikační firma. V případě stříkané polyuretanové izolace tedy musí deklarovat vlastnosti přímo firma, která na stavbě aplikuje tekutou směs, a tímto procesem vyrábí tepelnou izolaci. Samotné nanášení tekuté směsi, parametry okolního prostředí (teplota, vlhkost vzduchu ad.), návrh řešení izolace a skladba, ale také vlastní technologické zařízení, jeho stav a nastavení parametrů mají totiž vliv na výsledné parametry tepelné izolace a vlastnosti celé konstrukce jako jsou například součinitel prostupu tepla, vzduchotěsnost, ale také homogenita vlastností konstrukce.

Jednou z výhod stříkané polyuretanové izolace je, že pěna vyplní i špatně přístupné detaily, které se například v krovových konstrukcích poměrně často objevují, což je u izolací, které se dodávají v určitých výrobních rozměrech, výrazně pracnější. Taková konstrukce je tedy tepelně izolovaná bez zbytečných tepelných mostů. Další výhodou, kterou někdo může hodnotit jako nevýhodu, je přilnavost tepelné izolace k podkladu, na který se aplikuje. Na jednu stranu je jistě výhodou, že je izolace fixovaná na určeném místě a nesesedá, na druhou stranu při demontáži tepelné izolace po uplynutí životnosti je nutné izolaci od podkladu mechanicky oddělit.

Určitou nevýhodou spojenou s aplikací této izolace, na kterou ale někteří mohou nahlížet i jako na výhodu, je nutnost realizace odbornou firmou. Nanášení této tepelné izolace vyžaduje vysoké počáteční investice do vybavení. Proto by aplikace měly provádět pouze specializované firmy a není možné, aby aplikaci prováděl stavebník svépomocí. Z těchto důvodů je velmi důležité zvolit pro aplikaci tepelné izolace renomovanou a prověřenou firmu, která zajistí dobrou aplikaci deklarované vlastnosti izolace, které budou v celém objemu izolace stejné. Při pozorování některých nekvalitních provedení tepelných izolací svépomocí nebo neodbornými firmami, lze skutečně nutnost aplikace odbornou firmou vnímat jako výhodu.



Obrázek /3/ Aplikace měkké PUR pěny stříkáním



Obrázek /4/ Mobilní „laboratoř“ přípravy tekuté směsi

Vlastnosti měkké polyuretanové pěny

U měkkých tepelných izolací z PUR pěn je stejně jako u všech ostatních tepelných izolací klíčovou vlastností tepelná vodivost materiálu. Tepelná vodivost měkké polyuretanové pěny je velmi podobná jako tepelná vodivost EPS, v porovnání s tepelnými izolacemi na bázi minerální vlny je tepelná vodivost měkké PUR pěny při zohlednění navlhavosti materiálů nižší nebo stejná (podle srovnání s konkrétními výrobky z minerální vlny). Další vlastnosti, které je nutné pro tepelné izolace z PUR na českém trhu uvádět, jsou dle uvedených norem objemová hmotnost, součinitel prostupu vodních par, třída reakce na oheň atd. Důležitou vlastností měkkých PUR pěn, kterou je na tomto místě vhodné zmínit, je otevřená buněčná struktura a z toho vysoká paropropustnost. V následující tabulce /1/ jsou uvedeny vlastnosti deklarované realizační firmou PUR IZOLACE s.r.o., která se zabývá výrobou polyuretanových tepelných izolací již 25 let. Od druhé poloviny roku 2015 formuluje tato firma i komponenty směsi, které se následně používají pro výrobu této tepelné izolace v rámci realizační firmy.

Vlastnost	Výsledek	Norma
objemová hmotnost 12 +/- (expanze v uzavř.prostoru)	8,1 kg/m ³	ČSN EN 14315-1
přilnavost	15 kPa	ČSN EN 14315-1
reakce na oheň	E	ČSN EN 13501-1+A1
uvolňování nebezpečných látek (VOC)	Vyhovuje	ČSN EN ISO 16000-10
uvolňování pevných látek (prašnost)	0	IP 0400T019
deklarovaná tepelná vodivost λ_D	0,035 W/m.K	ČSN EN 14315-1:2014
pevnost v tlaku (10% deformace)	9,6 kPa	ČSN EN 826
krátkodobá nasákavost bez odstranění krusty	0,139 kg/m ²	ČSN EN 1609
zvuková pohltivost	vysoce pohltivý	ČSN EN ISO 354:2003
faktor difúzního odporu	3 = paropropustný	ČSN EN 12086

Tab. /1/ Vlastnosti měkké PUR pěny [4]

Tepelně vlhkostní fungování konstrukcí s tepelnými izolacemi z PUR pěny

Na stavební konstrukce je mimo jiné kladen požadavek dle [5] na **součinitel prostupu tepla**, na **maximální množství kondenzátu, bilanci zkondenzované a odpařené vodní páry** v konstrukci a v neposlední řadě na **vzduchotěsnost konstrukce**. Všechny tyto požadované hodnoty se do jisté míry dotýkají vlhkostního fungování konstrukcí.

Požadavek na **součinitel prostupu tepla** konstrukce není vzhledem k nízké tepelné vodivosti materiálu problematické splnit. O něco komplikovanější je splnění požadavku na **maximální množství kondenzátu** ve skladbě. Splnění se dokládá provedením výpočtu podle českých nebo harmonizovaných evropských norem [6,7]. Pokud budeme uvažovat, že v těchto konstrukcích se často nachází nosné dřevěné prvky (krov, sloupky, trámy), nesmí podle normových požadavků [5] docházet ke kondenzaci vodní páry ani k překročení hranice 18% hmotnostní vlhkosti dřeva. Pokud se v kondenzační zóně nenachází dřevěné prvky, je určité množství kondenzátu ve skladbě přípustné. Pojdme se podívat na porovnání skladby zahrnující parotěsnou vrstvu a skladby, která tuto vrstvu nezahrnuje. Skladba první modelové konstrukce střechy je uvedena v tabulce /2/, vrstvy jsou řazeny v pořadí ze strany interiéru. Druhá modelová konstrukce je shodná se skladbou první, pouze je vynechaná vrstva fóliové parozábrany.

Číslo vrstvy	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]	Faktor difuzního odporu [-]	
1	Sádrokartonové desky	12,5	0,22	9	
2	Fóliová parozábrana PE s hliníkovou vrstvou v kvalitním provedení	0,25	0,35	10000	
3	Sádrokartonový rošt	30-60	0,378	0,2	
4	Krokve šíře 0,06 m po 0,8 m	Vzduchová dutina	40	0,244	0,25
5		Tepelná izolace ze stříkaného PUR	200	0,046*	3
6	Doplňková hydroizolační vrstva účinně propustná pro vodní páru	0,8	0,35	105	
7	Větraná dutina s kontratěmi	40	-	-	
8	Laťování	40	-	-	
9	Krytina	30	-	-	

*Do tepelné vodivosti vrstvy je započten vliv dřevěných krokví, jedná se tedy o ekvivalentní tepelnou vodivost dle [8].

Tabulka /2/ Modelová skladba střechy s vrstvou parozábrany.

Výpočet podle metodiky [6,7] byl proveden v programu Deksoft – Tepelná technika 1D verze 3.1.2. Z výsledků uvedených v tabulce /3/ je patrné, že podle obou metodik nedochází v rámci žádného modelového měsíce ke kumulaci kondenzátu ve skladbě, na konci modelového roku jsou obě skladby suché. Pokud se ale zaměříme na požadavek maximálního množství kondenzátu, lze hodnotit skladbu s vrstvou parozábrany významně lépe. Podle metodiky ČSN 73 0540-4 [6] sice dochází v obou případech ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, rozdíl mezi maximálním množstvím kondenzátu v prvním a druhém případě je však více než 0,6 kg/m². Podle harmonizované normy dochází ke kondenzaci pouze ve skladbě bez vrstvy parozábrany a to v maximálním kumulovaném množství 0,2 kg/m².

Konstrukce		Šíření vodní páry							
		ČSN 73 0540				ČSN EN ISO 13788			
číslo	Název	M _c	M _{c,N}	Hod.	Bil.	M _c	M _{c,N}	Hod.	Bil.
		[kg/(m ² .a)]	[kg/(m ² .a)]	[-]	[-]	[kg/(m ² .a)]	[kg/(m ² .a)]	[-]	[-]
1	S parozábranou	0,012	0	!	+	0	0	+	+
2	Bez parozábrany	0,650	0	!	+	0,200	0	!	+

Legenda:

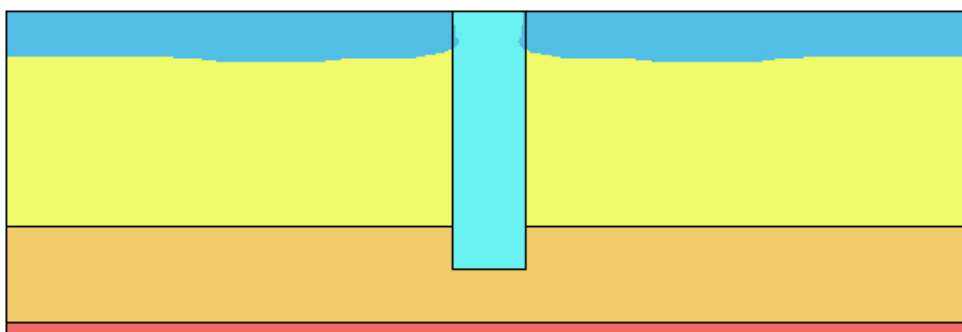
! ... nevyhovuje požadované hodnotě / pasivní bilance kondenzace a vypařování

+ ... vyhovuje požadované hodnotě / aktivní bilance kondenzace a vypařování

Poznámka: V tabulce jsou uvedeny pouze základní posouzení. Některé další požadavky (např. vlhkost v místě zabudovaného dřeva) jsou hodnoceny v podrobném protokolu.

Tabulka /3/ Výsledky výpočtové simulace kondenzace uvnitř skladeb.

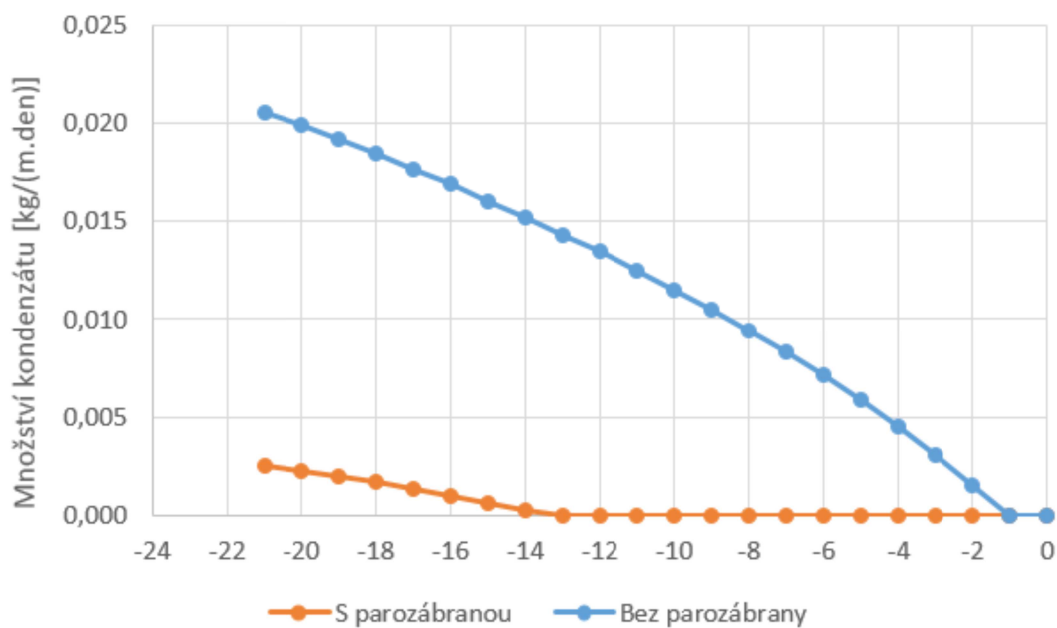
Pokud bychom chtěli sledovat rozložení oblasti kondenzace ve skladbě při různých teplotách exteriérového vzduchu, můžeme využít výpočetního postupu podle ČSN EN ISO 10211-1 [9]. Takový výpočetní postup je použit například v programu Area 2010, který byl pro modelování úlohy použit. V programu byl namodelován charakteristický výsek konstrukce střechy ve dvou modifikacích stejně jako v předchozím případě s parotěsnou zábranou a bez parozábrany. Vlastnosti materiálových oblastí a typické rozložení kondenzační zóny jsou uvedeny na obrázku /5/. Množství kondenzátu při různých exteriérových teplotách je uvedené na obrázku /6/.



Legenda k označení materiálů:

■	L = 0,220/0,220 W/mK	Mi = 9,0/9,0
■	L = 3,488/0,535 W/mK	Mi = 0,0/0,1
■	L = 0,036/0,036 W/mK	Mi = 3,0/3,0
■	L = 0,350/0,350 W/mK	Mi = 84,0/84,0
■	L = 0,180/0,180 W/mK	Mi = 157,0

Obrázek /5/ Vlastnosti materiálových oblastí a typické rozložení kondenzační zóny v rámci charakteristického výseku konstrukce bez parozábrany. Oblast kondenzace v konstrukci bez parozábrany při venkovní teplotě -15°C. (Materiálové vlastnosti tenkých vrstev jsou z důvodu omezení výpočtového nástroje přepočteny na ekvivalentní vlastnosti vrstvy o tl. 1 mm)



Obrázek /6/ Množství kondenzátu zkondenzované v charakteristickém výseku konstrukce při různých teplotách venkovního vzduchu.

Z uvedeného je zřejmé, že ve skladbě bez parozábrany kondenzuje několikanásobně více vodní páry než ve skladbě s umístěnou parozábranou. Ve skladbě bez parozábrany dochází výpočtově ke kondenzaci při venkovní teplotě -1 °C a nižší. Ve skladbě s kvalitně provedenou parozábranou dochází ke kondenzaci při venkovních teplotách nižších než -12 °C . Tento rozdíl může mít zásadní rozdíl na fungování skladby a degradaci celé konstrukce.

V mnoha případech je nejnáročnější splnění normového požadavku na **vzduchotěsnost obvodových stavebních konstrukcí**. Splnění tohoto požadavku vyžaduje často nejen volbu vhodných a kvalitních materiálů, ale také kázeň při výstavbě. Vzduchotěsnost stavebních konstrukcí nelze výpočtově hodnotit, a proto se vhodnost řešení ověřuje až na stavbě při zkoušce průvzdušnosti obálky budovy. Zvolené řešení vzduchotěsné vrstvy by mělo být podle normového požadavku [5] trvalé. Vzduchotěsnost konstrukce má velký vliv na kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce. Pokud je konstrukce nevzduchotěsná, může se vlhkost dostávat do konstrukce prouděním, což je oproti difuzi uvažované ve výpočtových modelech, uváděných v předchozím textu, děj, který transportuje při vhodných podmínkách násobně více vodní páry do konstrukce a významně tak zvyšuje množství kondenzátu v konstrukci. Vzduchotěsnost konstrukce se stříkanou pěnou z PUR izolace bez vrstvy parozábrany byla prověřována na reálném objektu. Objekt měl právě takovou skladbu konstrukce střechy, jaká byla modelovaná v předchozích případech. V objektu byl přibližně jeden den po aplikaci stříkané polyuretanové izolace vytvořen podtlak přibližně 50 Pa pomocí zařízení blower door a pomocí anemometru (měřicího zařízení snímající rychlost proudění vzduchu) byly snímány vytipované detaily, které by mohly být méně vzduchotěsné. Průběh měření a jeho výsledky jsou patrné z obrázků /7-12/.



Obrázek /7/ Snímek zateplování podkroví před aplikací (na snímku viditelné množství detailů kolem dřevěných prvků krovu)



Obrázek /8/ Zateplené podkroví



Obrázek /9/ Osazení zařízení blower door pro měření průvzdušnosti obálky budovy do vstupních dveří



Obrázek /10/ Ve zdánlivé mezeře mezi krokví a tepelnou izolací nedochází při vytvořeném podtlaku k proudění vzduchu (měřená hodnota 0,01 m/s je způsobena nepřesností měřicí metody)



Obrázek /11/ Netěsnost v zateplované konstrukci v detailu napojení střechy a stěny (měřená hodnota proudění vzduchu 0,48 m/s)



Obrázek /12/ Nalezená netěsnost mezi dvěma dřevěnými kleštinami (měřená hodnota proudění vzduchu 2,05 m/s)

Při měření na místě byly v ploše neseříznuté ale i seříznuté tepelné izolace z PUR pěny měřeny nulové hodnoty rychlosti proudění vzduchu. V některých detailech, jak je uvedeno na obrázku /10/ nebyly, i přes vizuální lokalizaci možného rizika, naměřeny žádné hodnoty. V některých detailech, převážně kolem detailů napojení dvou a více dřevěných prvků krovu byly zjištěny netěsnosti. Tyto drobné netěsnosti lze při vhodném projektovém řešení eliminovat přestříkáním, tedy překrytím dřevěných prvků tepelnou izolací z PUR pěny nebo právě umístěním parozábrany do skladby konstrukce. Nalezených netěsností bylo velmi málo, **což napovídá kvalitní realizaci**, při méně kvalitním provedení lze předpokládat větší množství netěsností. Prověřovanou konstrukci tedy nelze označit za vyhovující z hlediska vzduchotěsnosti, norma požaduje, aby konstrukce byly provedeny absolutně vzduchotěsné. Samotnou hodnotu n50, která vyjadřuje celkovou těsnost obálky budovy, nebylo možné měřit z důvodu nedokončení všech hlavních vzduchotěsnících vrstev (např. vnitřní omítky zdiva). Vzduchotěsnosti by výrazně pomohl i fakt při počáteční projekci stavby s ohledem na zamýšlený typ izolace – detaily konstruovat tak, aby nevznikla žádná riziková místa.

Pokud připustíme, že by při realizaci nedošlo k vytvoření žádných netěsností, zůstává otázkou životnost této vzduchotěsné vrstvy. Pokud bude docházet k drobným deformacím konstrukce (zatížení, teplotní roztažnost, navlhání atd.) lze předpokládat, že se vytvoří trhliny v místě rozhraní materiálů nebo i v ploše tepelné izolace. Pokud ale srovnáme vzduchotěsnost samotné vrstvy PUR pěny s vrstvou tepelné izolace z minerálních vláken, je vzduchotěsnost PUR pěny násobně vyšší. Tento fakt může být zásadní při porušení parotěsné vrstvy při realizaci nebo během životnosti konstrukcí, v takovém případě je bezpečnější použít tepelnou izolaci z PUR pěny.

Závěr

Z provedených výpočtů, měření vzduchotěsnosti a zkušeností s poruchami stavebních konstrukcí je zřejmé, že je spolehlivější zvolit řešení skladby konstrukce krovu s tepelnou izolací z PUR pěny s použitím kvalitně provedené parozábrany. Konstrukce bez parozábrany je riziková z hlediska množství zkondenzované vodní páry ve skladbě i z hlediska vzduchotěsnosti. Ke kondenzaci dochází již při venkovních teplotách několik málo °C pod bodem mrazu a kondenzační zóna se nachází v teplotě konstrukce nad 5°C. To může vést k rozvoji biologických činitelů a k poškození konstrukce. Z tohoto důvodu nelze realizaci konstrukce bez parozábrany ze strany interiéru doporučit.

Z provedeného měření nelze označit skladbu bez parozábrany za vyhovující z pohledu závazné normy ČSN 73 0540-2 [5] a to jednak z důvodu netěsných míst, která s velkou pravděpodobností vzniknou, ale také z důvodů následných deformací dřevěné nosné konstrukce. Ve srovnání se skladbami šikmých střeš s tepelnou izolací z minerální vlny lze z hlediska vzduchotěsnosti doporučit skladbu se stříkanými PUR pěnamy za bezpečnější z hlediska vzduchotěsnosti a to především z důvodu možného porušení parozábrany ať při realizaci nebo v době užívání budovy.

Závěry ohledně použití parozábrany ve skladbě konstrukce jsou ve shodě s názorem České komory lehkých obvodových pláštů, kde je uvedeno, že měkká polyuretanová pěna nemůže být tedy nabízena jako jediný těsnicí a uzavírací materiál dle platných norem ČSN 74 6077 [10] a ČSN 73 0540-2[5].

Reference:

- [1] Webový portál www.archiweb.cz – dostupné dne 29.8.2016
- [2] ČSN EN 14315-1 Tepelněizolační výrobky pro budovy - Výrobky ze stříkané tvrdé polyurethanové (PUR) a polyisokyanurátové (PIR) pěny vyráběné in situ - Část 1: Specifikace pro systémy stříkané tvrdé pěny před zabudováním
- [3] ČSN EN 14315-2 Tepelněizolační výrobky pro budovy - Výrobky ze stříkané tvrdé polyurethanové (PUR) a polyisokyanurátové (PIR) pěny vyráběné in situ - Část 2: Specifikace pro zabudované izolační výrobky
- [4] Katalog vlastností měkké stříkané polyuretanové tepelné izolace firmy PUR IZOLACE s.r.o.
- [5] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky
- [6] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody
- [7] ČSN EN ISO 13788 Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody
- [8] ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda
- [9] ČSN EN ISO 10211 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty
- [10] ČSN 74 6077 Okna a vnější dveře - Požadavky na zabudování