

# VLHKOST VE STŘEŠE JAKO ČASOVANÁ BOMBA

Petr Slanina

## Pro citování:

Slanina, P. (2014). Vlhkost ve střeše jako časovaná bomba. In *Zborník z bratislavského sympózia Strechy 2014* (pp. 42-48), Bratislava: STU v Bratislavě, Cech strechárov Slovenska.

## ABSTRAKT

Příspěvek porovnává klasickou jednoplášťovou plochou střechu s parozábranou a bez parozábrany z hlediska šíření vlhkosti ve střešním plášti. Za použití dynamického výpočetního modelu WUFI jsou nejprve porovnány dvě skladby při běžných podmínkách, následně je simulováno zatékání dešťové vody do střešního pláště. Skladby jsou posouzeny i z hlediska třech různých normových výpočetních postupů pro šíření vlhkosti konstrukcí. V závěru příspěvku jsou na základě vyhodnocených výsledků a zkušeností shrnuta doporučení pro navrhování střech s klasickým pořadím vrstev.

## ÚVOD

Jednoplášťová plochá střecha s klasickým pořadím vrstev bez parozábrany se navrhovala od 50. let 20. století a k jejímu velkému rozšíření došlo v 60. letech 20. století. Později v 70. letech se do této skladby vkládá vrstva parotěsnící, neboť se mylně poruchy těchto střech přisuzovaly kondenzaci vodní páry pod hydroizolačním souvrstvím, přičemž hlavní důvody poruch střešních pláštů byly nulový sklon střech, nevhodně používané nasákové materiály pro hydroizolační souvrství a technologická nekázeň při provádění střech [1].

Vložením parozábrany dochází ke snížení transportu vodní páry dále do střešního pláště, avšak současně se zabraňuje možnému vysychání naakumulované vlhkosti. Vlhkost je ve střeše uvězněna, vzniká tzv. „vlhkostní past“ [2] a díky její dlouhodobé akumulaci dochází k degradaci tepelně izolačních materiálů [3]. Z. Kutnar v [1] uvádí, že bez použití parozábrany se ze střešního pláště vypaří v průběhu roku až 3 kg/m<sup>2</sup> vlhkosti. Na problém velkého množství vlhkosti v tepelně izolačních vrstvách plochých střech se poukazuje i v [4], avšak pouze s vyjmenováním obecných příčin zvýšení vlhkosti a bez výčtu konkrétních typů problematických střešních pláštů.

## CÍL

Cílem příspěvku je zjistit, zda-li zvýšená vlhkost v tepelně izolačních vrstvách plochých jednoplášťových střech je způsobena zatékáním dešťové vody anebo transportem vodní páry z interiéru budov a následnou akumulací vlhkosti ve střešním plášti.

Následující kroky byly použity ke stanovení cíle:

- 1) Porovnat klasickou skladbu střechy s parozábranou a bez parozábrany z hlediska šíření vlhkosti za pomoci nejnovějších výpočetních modelů šíření tepla a vlhkosti.
- 2) Porovnat tyto skladby při simulování zatékání dešťové vody do střešního pláště.
- 3) Posoudit a porovnat tyto skladby z hlediska normových výpočetních postupů a požadavků na šíření vlhkosti konstrukcí

## 1) POROVNÁNÍ DVOU SKLADEB PLOCHÝCH STŘECH

### Výběr skladeb

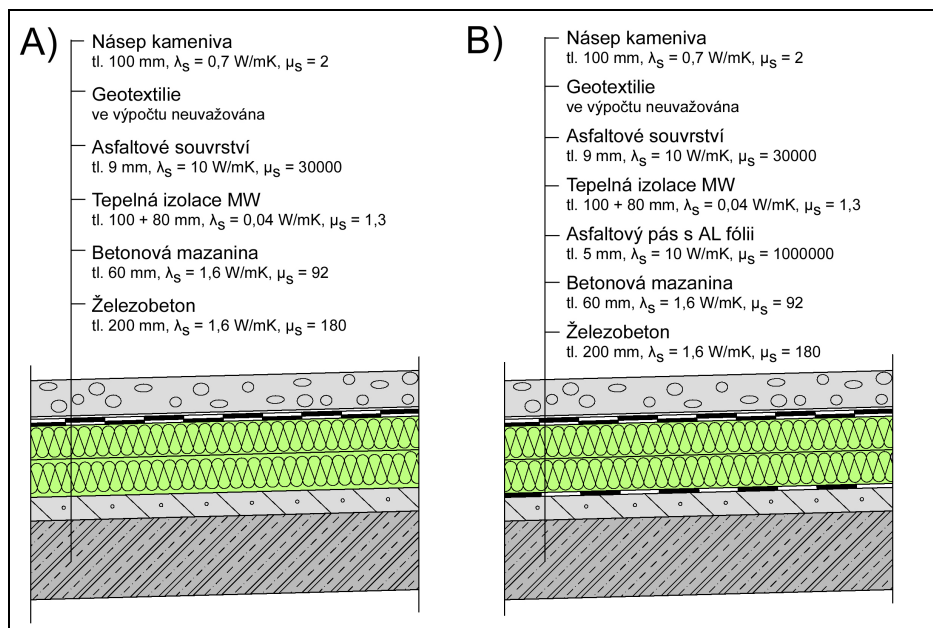
Skladba klasického střešního pláště bez parozábrany Obr. 1A) byla zvolena podle [5] takovým způsobem, aby byla co nejnepříznivější pro šíření vodní páry z interiéru, tj. hydroizolační souvrství je tvořeno dvěma asfaltovými pásy (velký difusní odpor), tepelná izolace je z minerální vlny (naopak velmi malý difusní odpor) a je použita stabilizační vrstva kameniva, která eliminuje pozitivní vliv slunečního záření na šíření vlhkosti konstrukcí. Skladba klasického střešního pláště s parozábranou Obr. 1B) je shodná s předchozí

skladbou, pouze přibyla parozábrana tvořená asfaltovým pásem s hliníkovou vložkou. Obě skladby se tedy liší pouze použitím parozábrany.

### Vlastnosti materiálů

Tepelně technické vlastnosti materiálů byly převzaty z databáze WUFI. Základní parametry (tloušťka, součinitel tepelné vodivosti –  $\lambda$  a faktor difusního odporu –  $\mu$ ) jsou uvedeny u jednotlivých vrstev na Obr. 1. Uvedené hodnoty jsou hodnoty pouze pro materiály v suchém stavu, avšak při výpočtu bylo uvažováno s těmito parametry a závislostmi:

- součinitel tepelné vodivosti [W/mK] – závislost na teplotě a množství vlhkosti v materiálu
- faktor difusního odporu [-] – závislost na množství vlhkosti v materiálu
- sorpční izoterma (funkce rovnovážné vlhkosti v materiálu)
- porosita [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]
- objemová hmotnost [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- měrná tepelná kapacita [J/kgK]



Obr. 1 Skladba A) a skladba B) včetně materiálů a jejich základních vlastností v suchém stavu.

### Vnější okrajové podmínky

Jako vnější okrajové podmínky byly použity měřené hodinové hodnoty následujících veličin pro oblast Hradce Králové, které odpovídají Referenčnímu klimatickému roku podle ČSN EN ISO 15927-4: 2011 [6].

- Teplota vnějšího vzduchu v [°C],
- Relativní vlhkost vnějšího vzduchu v [%],
- Přímé sluneční záření v [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],
- Difusní sluneční záření v [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],
- Dlouhovlnné vyzařování oblohy v [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],
- Množství srážek v [mm],
- Rychlost a směr větru v [m/s].

### Vnitřní okrajové podmínky a počáteční podmínky

Pro vnitřní okrajové podmínky bylo zvoleno prostředí s vysokým zatížením vlhkostí podle ČSN EN ISO 13788:2013 [7], respektive podle ČSN EN 15026:2007 [8], tedy podmínky nepříznivé z hlediska šíření vodní páry z interiéru budovy.

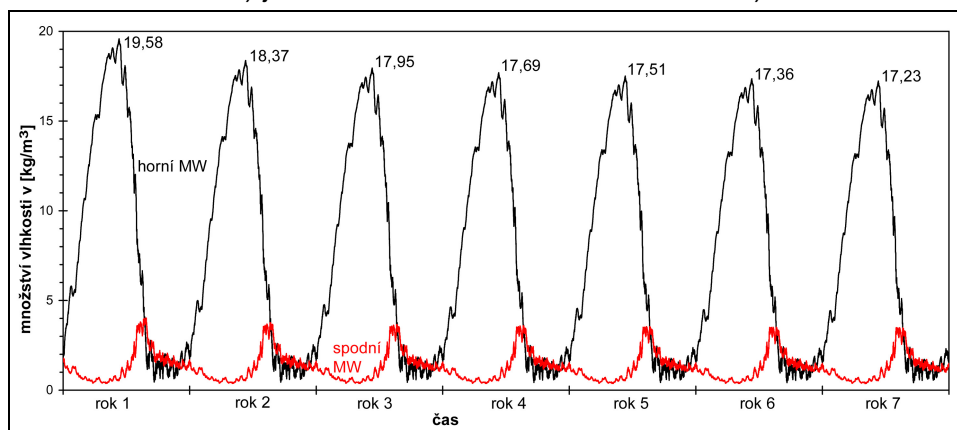
Pro dynamické výpočty je nezbytné definovat i počáteční parametry (teplotu, množství vody) pro materiály ve střešní konstrukci. Pro výpočty byla použita počáteční teplota 20°C a množství vlhkosti v materiálech odpovídající relativní vlhkosti prostředí 80%, kromě železobetonu, kde množství vlhkosti odpovídalo relativní vlhkosti vnitřního prostředí.

## Výpočet

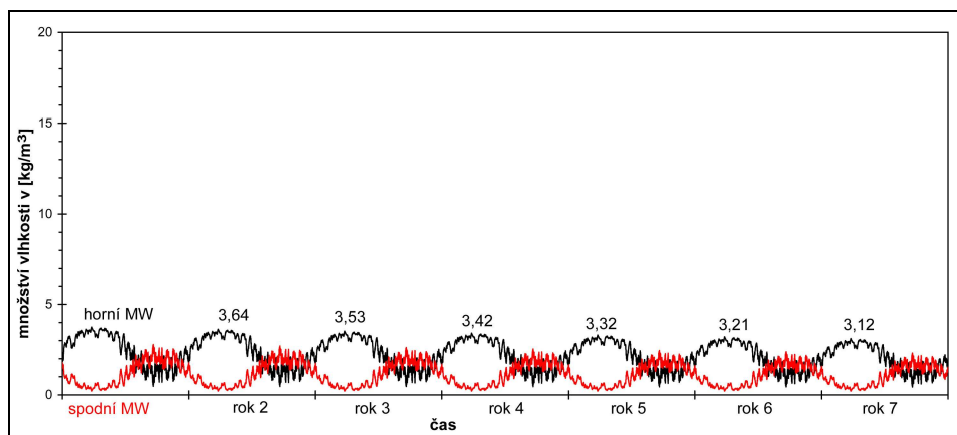
Dynamický výpočet současného šíření tepla a vlhkosti byl proveden v programu WUFI Pro 5.2, který vychází z dizertační práce [9]. Výhody tohoto dynamického modelu oproti jednoduchým normovým běžně používaným výpočtům jsou popsány v [10]. Numerický výpočet byl proveden v souladu s technickou normou ČSN EN 15026:2007 s hodinovým krokem. Počátek výpočtu byl pro obě skladby vždy 1. října a výpočet simuloval šíření tepla a vlhkosti konstrukcí pro období sedm let.

## Výsledky výpočtu

Dynamický výpočtem bylo sledováno množství vlhkosti v jednotlivých vrstvách střešních pláštů v průběhu 7 let a hmotnostní tok vlhkosti na rozhraní tepelně izolačního materiálu v průběhu posledního roku výpočtu. Množství vlhkosti v horní i spodní vrstvě tepelného izolantu z MW ve skladbě A) je zobrazeno na Obr.2 a ve skladbě B) na Obr. 3.



Obr. 2. Skladba A) bez parozábrany. Křivky zobrazují množství vlhkosti v kg/m<sup>3</sup> v horní a spodní vrstvě tepelného izolantu z MW v průběhu 7 let, roky jsou uváděny od 1.10.



Obr. 3. Skladba B) s parozábranou. Křivky zobrazují množství vlhkosti v kg/m<sup>3</sup> v horní a spodní vrstvě tepelného izolantu z MW v průběhu 7 let, roky jsou uváděny od 1.10.

## Díličí závěry vyplývající z Obr. 2 a Obr. 3

- 1) V obou případech dochází ke snižování množství vlhkosti v tepelně izolačních vrstvách, tj. je kladná roční bilance naakumulované vlhkosti ve sledovaných vrstvách.
- 2) U obou skladeb dochází k navyšování množství vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu v průběhu zimních měsíců (října až března) a k navyšování množství vlhkosti v dolní skladbě tepelného izolantu v době letních měsíců (od dubna do září). To odpovídá rozdílnému směru hmotnostního toku vlhkosti v letních a zimních měsících.
- 3) Množství akumulované vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu je daleko větší u střešní skladby A) než u skladby B).
- 4) Množství naakumulované vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu ve skladbě A) v průběhu zimních měsíců plně vyschne v průběhu letních měsíců.

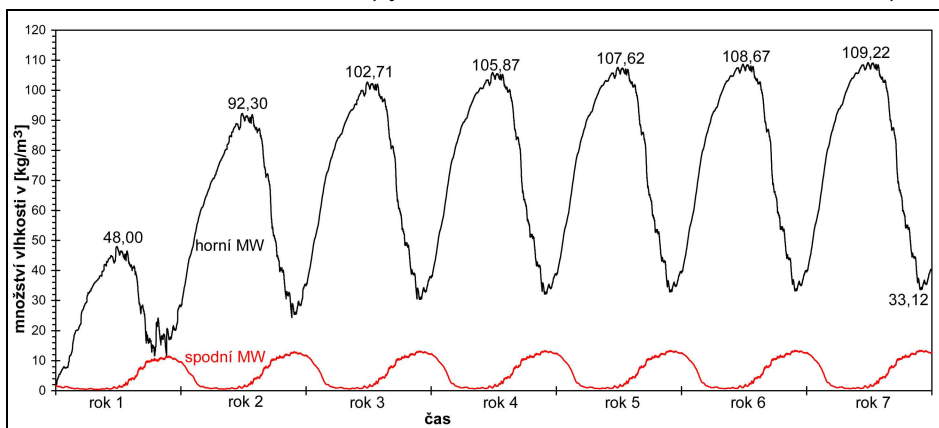
- 5) Maximální množství naakumulované vlhkosti v horní vrstvě tep. izolantu u skladby A) je cca  $17-18 \text{ kg/m}^3$ , to odpovídá  $1,36 - 1,44 \text{ kg/m}^2$  nebo hmot. množství vlhkosti 28-30 %. Při tomto množství vlhkosti dojde ke zvýšení součinitele tepelné vodivosti z  $0,04 \text{ W/mK}$  na méně než  $0,041 \text{ W/mK}$  podle [11], tedy k zcela zanedbatelnému zvýšení součinitele tepelné vodivosti.

## 2) SIMULACE ZATĚKÁNÍ DEŠTĚ

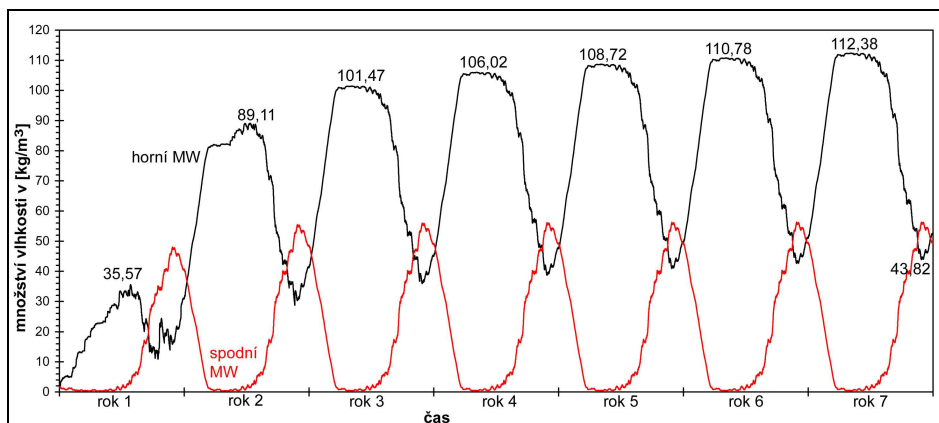
Ve druhém kroku byly porovnány opět skladby A) i B) zobrazené na Obr. 1. Při numerickém výpočtu byly všechny parametry stejné jako v předchozím případě (tj. vlastnosti materiálů, okrajové a počáteční podmínky i doba a krok numerického výpočtu), pouze došlo k simulování dešťových srážek, které zatečou do skladby střechy. Zatékání bylo simulováno jako zdroj vlhkosti pod hydroizolačním souvrstvím, a to o velikosti 1% dešťových srážek pro danou lokalitu, tj. pokud v průběhu hodiny spadlo např. 3,1 mm srážek, do střešního pláště zateklo  $0,031 \text{ kg/m}^2$  vlhkosti.

### Výsledky výpočtu

Opět bylo dynamicky výpočtem sledováno množství vlhkosti v jednotlivých vrstvách střešních pláštů v průběhu 7 let a hmotnostní tok vlhkosti na rozhraní tepelně izolačního materiálu v průběhu posledního roku výpočtu. Množství vlhkosti v horní i spodní vrstvě tepelného izolantu z MW ve skladbě A) je zobrazeno na Obr. 4 a ve skladbě B) na Obr. 5.



Obr. 4. Skladba A) bez parozábrany při simulaci zatékání deště do skladby střechy. Křivky zobrazují množství vlhkosti v  $\text{kg/m}^3$  v horní a spodní vrstvě tepelného izolantu z MW v průběhu 7 let, roky jsou uváděny od 1.10.



Obr. 5. Skladba B) s parozábranou při simulaci zatékání deště do skladby střechy. Křivky zobrazují množství vlhkosti v  $\text{kg/m}^3$  v horní a spodní vrstvě tepelného izolantu z MW v průběhu 7 let, roky jsou uváděny od 1.10.

### Dílič závěry vyplývající z Obr. 4 a Obr. 5

- 1) V obou případech dochází ke zvyšování množství vlhkosti v tepelně izolačních vrstvách, tj. je záporná roční bilance naakumulované vlhkosti ve sledovaných vrstvách.
- 2) U obou skladeb v horní vrstvě tepelného izolantu nedochází k úplnému vyschnutí naakumulované vlhkosti ze zimních měsíců.

- 3) V obou případech se maximální množství naakumulované vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu pohybuje kolem  $110 \text{ kg/m}^3$ , tj.  $8,8 \text{ kg/m}^2$  nebo 183% hmotnostní vlhkosti. Při tomto množství vlhkosti se zvyšuje hodnota součinitele tepelné vodivosti izolantu z  $0,04 \text{ W/mK}$  na  $0,047 \text{ W/mK}$  dle [11], tj. o 17,5%.
- 4) U skladby A) je 6 x více vlhkosti v horním tepelném izolantu než při výpočtu bez zatékání srážek. U skladby B) je to dokonce cca 30 x více.

Tab. 1 Hodnoty hmotnostního toku vlhkosti v průběhu letního a zimního období (7. rok) pro horní rozhraní vrstev (horní tepelná izolace vs. asphaltové souvrství) a spodní rozhraní vrstev (spodní tepelná izolace vs. betonová mazanina nebo parozábrana).

období	množství zatékajících srážek v $\text{kg/m}^2$	Skladba A)		Skladba B)	
		horní rozhraní	spodní rozhraní	horní rozhraní	spodní rozhraní
tok vlhkosti v $\text{kg/m}^2$ (+ směr nahoru, - směr dolů)					
1.10 – 31.3.	0,000	+0,004	+1,018	+0,004	0,000
1.4. – 30.9.	0,000	+0,012	-1,015	+0,011	0,000
2. krok – simulování zatékání dešťové vody do střešního pláště					
1.10 – 31.3.	2,423	+0,004	+4,328	+0,004	0,000
1.4. – 30.9.	3,937	+0,021	-4,915	+0,021	0,000

### Díličí závěry vyplývající z Tab. 1

- 1) U skladby A) při běžných podmínkách vyschne veškerá vlhkost průběhu letního období do interiéru (cca  $1 \text{ kg/m}^2$  vody).
- 2) U skladby A) při simulaci zatékání dešťové vody vyschne směrem k interiéru cca  $5 \text{ kg/m}^2$  vody v letním období, ale ani tak velké množství nestačí k celkovému vyschnutí střechy.
- 3) U skladby B) nedochází k vysychání vody skrz parozábranu směrem k interiéru a pouze k velice omezenému vysychání skrz hydroizolační souvrství.

### 3) POROVNÁNÍ NORMOVÝCH POSTUPŮ ŠÍŘENÍ VLHKOSTI KONSTRUKCÍ

V následující tabulce Tab. 2 jsou porovnány tři různé normové postupy výpočtu šíření vlhkosti konstrukcí pro skladbu A) a skladbu B) při běžných podmínkách, tj. bez zatékání dešťové vody do střešní skladby. Tyto skladby jsou následně posouzeny vůči tepelně technické normě ČSN 730540-2:2011 [12].

- a) Postup podle normy ČSN EN 15026:2007 – okrajové podmínky a materiálové charakteristiky byly popsány výše.
- b) Postup podle normy ČSN EN ISO 13788:2013 – okrajové podmínky byly odvozeny od naměřených hodinových hodnot, viz postup a), proto aby byly metody srovnatelné. Hodnoty faktoru difusního odporu pro betonovou mazaninu a železobeton byly převzaty z normy ČSN 730540-3:2005 [13], neboť nelze použít přesnější závislost faktoru difusního odporu na množství vlhkosti v daném materiálu, která byla použita v postupu a).
- c) Postup podle normy ČSN 730540-4:2005 [14] – okrajové podmínky byly převzaty z normy ČSN 730540-3:2005 a vlastnosti materiálů převzaty podle postupu b).

Podmínky posouzení: 1) U všech normových postupů a) – c) nesmí docházet k navyšování akumulované vlhkosti v průběhu ročního cyklu. 2) Maximální množství naakumulované vlhkosti v tepelné izolaci nesmí zhoršit její tepelné vlastnosti o více než 10% pro postup a) viz [3] a pro postup b) a c) je maximální zkondenzované množství vlhkosti nesmí převýšit hodnotu  $0,1 \text{ kg/m}^2$  podle normy ČSN 730540-2:2011.

Tab. 2. Porovnání třech normových postupů popisujících šíření vlhkosti konstrukcí na skladbě A) a B) a posouzení skladeb podle normy ČSN 730540-2:2011 a [3].

skladba	podmínka	ČSN EN 15026	ČSN EN ISO 13788	ČSN 730540-4
<b>Skladba A</b>	roční bilance vlhkosti	OK	NE	OK
	max. zkon. množství	OK	NE (0,187kg/m <sup>2</sup> )	NE (0,213kg/m <sup>2</sup> )
<b>Skladba B</b>	roční bilance vlhkosti	OK	OK	OK
	max. zkon. množství	OK	OK	OK

### Dílčí závěry vyplývající z Tab. 2:

- 1) Normové postupy a) – c) se liší u skladby A) a naopak výsledky posouzení se shodují u skladby B).

### KRÁTKÁ DISKUSE

Ve výše uvedených příkladech byly vždy použity vnější okrajové podmínky pro Hradec Králové. V případě, že budu použity okrajové podmínky z chladnější oblasti je možné, že celoroční bilance naakumulované vlhkosti se změní pro obě použité skladby.

Ve výše uvedených příkladech byla použita tepelná izolace z minerální vaty ze skelných vláken. V případě, že bude použita jiná tepelná izolace, bude vliv vlhkosti na její tepelné vlastnosti jiný.

Rozdíl mezi normovými postupy a) – c) je pravděpodobně důsledkem rozdílných okrajových podmínek, neboť postup a) na rozdíl od postupu b) a c) bere v potaz sluneční záření. Postup c) na rozdíl od postupu a) a b) má jinak definované okrajové podmínky, tedy normou ČSN 730540-3:2005.

### ZÁVĚR

Nejčastější příčinou výskytu nadměrné vlhkosti v klasických střešních pláštích s parozábranou i bez parozábrany je porušení hydroizolační funkce střechy a zatékání dešťové vody do střešní skladby a dále do interiéru budov. Ve výjimečných případech - při vnitřním provozu s velkým zdrojem vlhkosti (prádelny, kuchyně, bazény, atd.) nebo při chladných klimatických podmínkách (oblasti s vyšší nadmořskou výškou) - může být příčinou nadměrné vlhkosti ve střešním plášti difuze vodní páry z interiéru budovy.

Pro správný návrh hydroizolačního souvrství v těchto střeších je nezbytné dodržovat tyto základní zásady:

- 1) Dostatečný sklon střešní roviny, alespoň 3% a důkladné provedení napojení a vytažení hydroizolace u všech prostupujících prvků – tedy správné opracování střešního detailu.
- 2) Volba vhodného materiálu hydroizolační vrstvy pro daný sklon střešní roviny.

Nevýhodou klasické střešní skladby s parozábranou je to, že se ve střešní skladbě může akumulovat obrovské množství vlhkosti, které se dostává do střešního pláště porušeným hydroizolačním souvrstvím. V případě, že je kvalitně provedena parotěsnicí vrstva, může se vlhkost ve střešním plášti akumulovat několik let bez toho, aby příčina zatékání byla odhalena. Po odhalení situace je již většinou pozdě a je nutné vyměnit kompletně celou skladbu střešního pláště. V takovém případě můžeme vlhkost pomalu se akumulující ve střeše nazvat časovanou bombou, která jednoho dne vybuchne.

Proto při návrhu parotěsnicí vrstvy v klasické ploché střešní skladbě je nutné dodržovat zásady uvedené v [5]. Ty nejdůležitější jsou:

- 1) Parozábranu do klasické skladby střechy umísťujeme pouze tehdy, pokud je ve střešním plášti nezbytně nutná.
- 2) Pokud již navrhujeme parozábranu v klasické střeše, tak pouze jako dodatečnou hydroizolaci, tj. parotěsnicí vrstva musí být ve spádu napojena na odvodňovací systém střechy a současně musí být důkladně napojena na všechny prostupující konstrukční prvky.

## LITERATURA

- [1] Kutnar, Z. Vývoj skladeb plochých střech – interakce vad a poruch. In L. Hanzalová & Š.Šilarová (Eds), *Ploché střechy* (pp.284-305). Praha: Informační centrum ČKAIT, (2005).
- [2] Tobiasson, W. General Considerations for Roofs. In H.R.Trechsel (Ed), *Moisture Control in Buildings* (pp.35-53). Philadelphia: ASTM, 1994.
- [3] Slanina, P. Nechte nás navrhovat střechy správně! Konstruktivní kritika nové tepelně technické normy ČSN 730540-2 In *Zborník zo sympozia Strechy 2011* (pp. 39-45), Bratislava: STU v Bratislavě, Cech strechárov Slovenska, (2011).
- [4] Oláh, J. & Ingeli, R. Ploché strechy v procese ich funkčnosti. In *Zborník zo sympozia Strechy 2013* (pp. 108-114), Bratislava: STU v Bratislavě, Cech strechárov Slovenska, (2013).
- [5] Slanina, P. *Moisture Transport in Compact Flat Roofs*. Dizertační práce. Praha: ČVUT v Praze, 2009.
- [6] ČSN EN ISO 15927-4:2011. *Tepelně vlhkostní chování budov – Výpočet a uvádění klimatických dat – Část 4: Hodinová data pro posuzování roční energetické potřeby pro vytápění a chlazení*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [7] ČSN EN ISO 13788:2013. *Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [8] ČSN EN 15026:2007. *Hodnocení šíření vlhkosti stavebními dílci pomocí numerické simulace*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [9] Künzeli, H.M. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters*. Disertační práce. Stuttgart: Fraunhofer Institute of Building Physics, 1995.
- [10] Slanina, P. Dynamické tepelněvlhkostní hodnocení stavebních konstrukcí. *Tepelná ochrana budov* (5)16, 2013, 32-39.
- [11] Hokoi, S. & Kumaran, M. K. Experimental and analytical investigations of simultaneous heat and moisture transport through glass fiber insulation. *Journal of Building Physics*, 16(3), 263-292, 1993.
- [12] ČSN 73 0540-2: 2011. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [13] ČSN 73 0540-3: 2005. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [14] ČSN 73 0540-4: 2005. *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005.