

Ing. Petr Slanina

Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Česká republika

VLASTNOSTI PRODĚRAVĚNÝCH PAROZÁBRAN

ABSTRAKT

Příspěvek se zaměřuje na případy plochých střech, ve kterých je parotěsnicí vrstva porušena a do střešního pláště se tak dostává výrazně větší množství vlhkosti než předpokládají současné normové výpočty (normy ČSN 730540-4 a ČSN EN ISO 13788). V příspěvku jsou uvedeny výsledky měření difúzních vlastností proděravěných parotěsnících zábran, které byly naměřeny v laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze pomocí nově vyvinuté aparatury, která vychází z normové metody Wet-Cup. Jednotlivé výsledky jsou podrobně v textu vyhodnoceny a porovnány. V závěru příspěvku najdou projektanti pozemních staveb doporučení pro navrhování plochých jednoplášťových střech s klasickým pořadím vrstev.

ÚVOD

Při navrhování střešních pláštů plochých střech projektanti musí dodržet závazné požadavky normy ČSN 730540-2 na množství zkondenzované vodní páry uvnitř střešního pláště. Množství zkondenzované vodní páry se vypočte pomocí jednoduchých výpočetních postupů, které jsou uvedeny v mezinárodní ČSN EN ISO 13788 i české normě ČSN 730540-4. Postup v české a evropské normě se liší pouze použitím okrajových podmínek a postupem výpočtu. Fyzikální principy obou výpočtů jsou shodné. Tento princip se nazývá Glaserovou metodou a byl publikován H. Glaserem v roce 1959 [1]. Původní metoda byla graficko výpočetním postupem, ale v současné době je převedena do numerické podoby. Výpočetní postup šíření vlhkosti v podobě vodní páry vychází z modifikovaného Fickova zákona,

$$\vec{g} = -\delta \text{ grad } p \quad (1)$$

do technických norem byl však vztah (1) ještě zjednodušen, a to na výraz,

$$g = \delta \Delta p \quad (2)$$

kde jsou

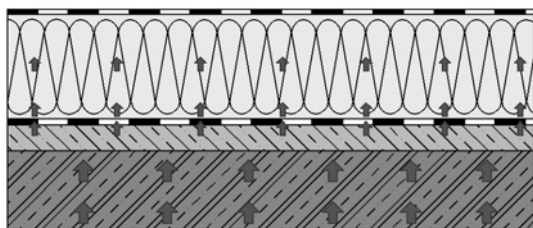
g	hustota hmotnostního toku difundující vodní páry v [kg/(m ² .s)],
p	částečný tlak vodních par v [Pa],
δ	součinitel difúzní propustnosti materiálu v [kg/(m.s.Pa)].

Ze vztahů (1) a (2) je patrné, jak jsou výpočetní postupy použité v tepelně technických normách pro šíření vlhkosti v podobě vodní páry jednoduché a výsledky vzešlé z těchto postupů často neodpovídají reálnému stavu. To je způsobeno zanedbáním několika vlivů, které normové výpočetní postupy opomíjejí a které jsou uvedeny např. v [2].

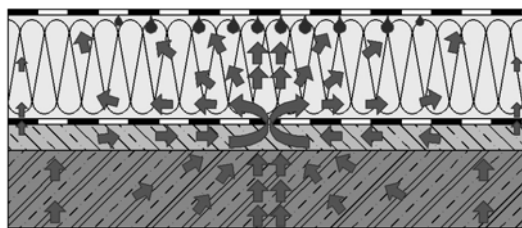
V normových výpočetních postupech je uvažováno pouze s jednorozměrným šířením vodní páry v konstrukci, což je správný předpoklad pouze pokud je konstrukce rovinná a s homogenními vlastnostmi jednotlivých vrstev střešního pláště. V případě stavebních detailů nebo v případě, že je střešní vrstva porušena, dochází k vícerozměrnému šíření vodní páry a normové výsledky neodpovídají skutečnosti. Dochází k nadměrné kondenzaci vodních par uvnitř střešního pláště, a to vede k degradaci tepelně izolačních materiálů a ke zkrácení životnosti celého střešního souvrství.

Na obrázcích Obr.1 a Obr.2 je schéma jednoplášťové střešní konstrukce s klasickým pořadím vrstev a vrstvou parotěsnicí, která je uprostřed proděravěna. Na Obr.1 je znázorněn směr hustoty difúzního toku vodní páry, tak jak je uvažován v normových výpočetních postupech podle norem ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540-4, tj. je

uvažováno s jednorozměrným šířením vodní páry. Na Obr.2 je znázorněn skutečný směr hustoty difúzního toku vodní páry v konstrukci s porušenou parotěsnicí vrstvou.



Obr. 1 Schéma jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev a s porušenou parotěsnicí vrstvou. Šipky znázorňují směr difúzního toku, tak jak je uvažován v normových výpočtech, tj pouze jednorozměrné šíření vodní páry.



Obr. 2 Schéma jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev a s porušenou parotěsnicí vrstvou. Šipky znázorňují skutečný směr difúzního toku vodní páry. V místě porušení parozábrany vzniká tzv. difúzní most.

VLASTNOSTI PORUŠENÉ PAROTĚSNICÍ VRSTVY

V odborné literatuře [3-5] najdeme doporučení snížit hodnotu ekvivalentní difúzní tloušťky s_d [m] parotěsnicí vrstvy v závislosti na jejím proděravění na 1% až 90% původní hodnoty neporušené parotěsnicí vrstvy. Tyto doporučení pro projektanty pozemních staveb jsou nedostatečné. Taktéž dosud publikované výsledky měření jsou nedostatečné a v souladu možnostmi doby, ve které měření byla provedena, tj. 60. a 80.letům 20.století, viz [6].

Z důvodu nedostatečných dosud naměřených výsledků a nedokonalých doporučení pro projektanty střešních konstrukcí bylo přistoupeno k měření difúzních vlastností proděravěné materiálů, které se používají pro parotěsnicí vrstvu. Po jeden a půl ročním výzkumu na FSV, ČVUT byla sestavena aparatura, která umožňuje měřit difúzní vlastnosti materiálů i s velkým difúzní odporem.

Princip měření vychází z metody Wet-Cup, která je popsána v několika mezinárodních normách ASTM E 96/E 96M, ČSN EN ISO 12572, ČSN EN 1931. Měřený vzorek je umístěn mezi dvě prostředí s rozdílnou relativní vlhkostí (50% a 93%). Při konstantní teplotě dochází k difúzi vodní páry skrz měřený vzorek z prostředí s vyšší relativní vlhkostí do prostředí s nižší relativní vlhkostí. Díky úbytku hmotnosti Al misky, v jejímž hrdle je utěsněn vzorek, se vypočte z následujícího vztahů ekvivalentní difúzní tloušťka měřeného materiálu.

$$s_d = \frac{\delta_a}{\delta} \cdot d \quad (3)$$

$$\delta = \frac{\Delta m d}{A \Delta t \Delta p} \quad (4)$$

kde jsou	s_d	ekvivalentní difúzní tloušťka v [m],
	δ	součinitel difúzní propustnosti materiálu v [kg/(m.s.Pa)],
	δ_a	součinitel dif. propustnosti vzduchu = $1,96 \cdot 10^{-10}$ kg/(m.s.Pa),
	Δt	časový rozdíl v [s],
	Δp	rozdíl částečných tlaků vodních par v [Pa],
	Δm	úbytek hmotnosti v [kg],
	A	plocha vzorku v [m ²].

Ekvivalentní difúzní tloušťka jednotlivých vzorků se vypočte ze vztahů 3 a 4. Výsledná hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky daného materiálu se vypočte jako rozdíl naměřených hodnot daného materiálu a slepého testu (do hrdla misky je vložen hliníkový plech, ze kterého je miska vyrobena), tj. podle následujícího vztahu:

$$s_{sf} = \sum_i \frac{s_{di}}{i} - s_{db} \quad (5)$$

kde jsou	s_{df}	výsledná hodnota ekv. dif. tloušťky měřeného materiálu v [m],
----------	----------	---

- s_{di} hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky jednoho vzorku v [m],
 s_{db} hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky slepého testu v [m],
i počet vzorků v [-].

Tento mnou optimalizovaný způsob měření difúzních vlastností materiálů je zcela jedinečný a dosud jsem se nesešel s podobným experimentálním měřením, které by bylo publikováno v odborné literatuře a použito pro měření difúzních vlastností materiálů. Nový způsob měření zpřesňuje měření difúzních vlastností materiálů s velkým difúzním odporem.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V průběhu půl roku byly v laboratořích FSV měřeny difúzní vlastnosti čtyř materiálů, které se používají pro parotěsnicí vrstvu. Materiály byly nejprve měřeny bez jakéhokoli porušení a postupně poté byly perforovány. Do zde publikovaných výsledků nebyl zahrnut vztah (5) a ucelený přehled všech výsledků bude představen až při ústní prezentaci. Výsledky měření jsou vyneseny v následujících tabulkách.

Název výrobku:	DEKSEPAR	výrobce/distributor:	Dektrade
Podíl plochy otvorů k celkové ploše	Počet vzorků: n = 4	Tloušťka: d = 0,15 mm	$s_{dvýrobce} = 21 \text{ m}$
<i>[%]</i>	<i>Průměrná ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]</i>		<i>Směr. odchylka</i>
0,0000	86,5		16,3
0,0024	47,6		3,6
0,0071	30,6		3,3
0,0143	20,3		1,5
0,0285	12,4		0,5
0,0570	6,7		0,4

Tab. 1 Výsledky měření difúzních vlastností proděravěné fólie Deksepar

Výsledky z Tab.1 ukazují:

- výrazný pokles hodnot ekvivalentní difúzní tloušťky již při malém procentu proděravění,
- přesnost měření (směrodatná odchylka je ve většině případů pod 10%),
- naměřená hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky neporušené fólie Deksepar je 4krát! vyšší než hodnota uvedená ve firemním prospektu.

Název výrobku:	PARADIENE SR3	výrobce/distributor:	Siplast-Icopal
Podíl plochy otvorů k celkové ploše	Počet vzorků: n = 4	Tloušťka: d = 2,7 mm	$s_{dvýrobce} = 130 \text{ m}$
<i>[%]</i>	<i>Pozn.</i>	<i>Průměrná ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]</i>	
0,0000		125,9	
0,0024	1)	181,8	
0,0056	2)	142,9	
0,0113	2)	83,7	
0,0169	2)	91,0	
0,0338	2)	61,8	
0,0675	2)	41,0	

Tab. 2 Výsledky měření difúzních vlastností proděravěného asfaltového pásu Paradiene SR3

Výsledky z Tab.2 ukazují:

- méně výrazný pokles ekvivalentní difúzní tloušťky než u fólií,
- menší přesnost výsledků – to je způsobeno možností absorpce vlhkosti asfaltovým materiálem, případně různým průměrem vytvořených otvorů,
- pozn.1 – při proděravění hrotem o průměru 0,98 mm došlo k zatažení vzniklého otvoru,
- pozn.2 – k proděravění byl použit zahřátý hrot o průměru 1,5 mm – zahřátí hrotu může mít vliv na menší přesnost měření (různá velikost otvorů),
- naměřená hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky neporušeného asfaltového pásu odpovídá hodnotě uvedené ve firemním prospektu.

Název výrobku:	SARNAVAP 1000	výrobce/distributor:	Sika CZ
Podíl plochy otvorů k celkové ploše	Počet vzorků: n = 3	Tloušťka: d = 0,22 mm	S _{dvýrobce} = 198m
<i>/%</i>	<i>Průměrná ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]</i>		<i>Směr. odchylka</i>
0,0000	186,3		40,4
0,0024	108,4		10,9
0,0071	48,8		4,8
0,0143	30,3		2,3
0,0285	16,8		1,9
0,0570	stále se měří		-

Tab. 3 Výsledky měření difúzních vlastností proděravěné fólie Sarnavap 1000

Výsledky z Tab.3 ukazují:

- přesnost měření (větší rozptyl výsledků je pouze u neporušeného vzorku),
- výrazný pokles ekvivalentní difúzní tloušťky již při malém procentu porušení,
- naměřená hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky neporušeného asfaltového pásu odpovídá hodnotě uvedené ve firemním prospektu.

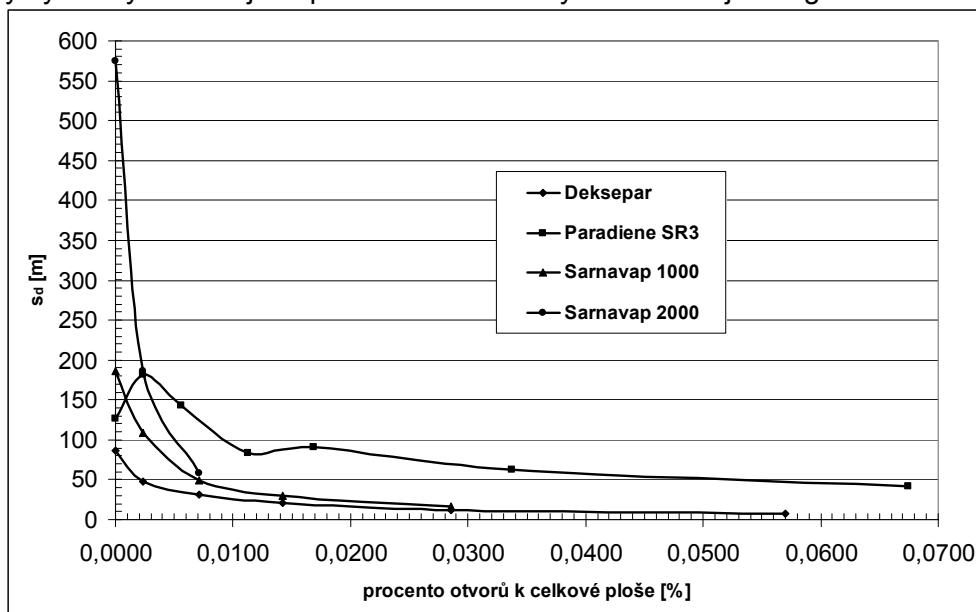
Název výrobku:	SARNAVAP 2000	výrobce/distributor:	Sika CZ
Podíl plochy otvorů k celkové ploše	Počet vzorků: n = 3	Tloušťka: d = 0,3 mm	S _{dvýrobce} = 360 m
<i>/%</i>	<i>Průměrná ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]</i>		<i>Směr. odchylka</i>
0,0000	575,3		152,9
0,0024	186,7		44,1
0,0071	58,4		4,7
0,0143	stále se měří		-
0,0285	stále se měří		-
0,0570	stále se měří		-

Tab. 4 Výsledky měření difúzních vlastností proděravěné fólie Sarnavap 2000

Výsledky z Tab.4 ukazují:

- zcela mimořádný pokles ekvivalentní difúzní tloušťky při nepatrném procentu proděravění,
- hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky neporušené fólie je nejspíš na hranici měřitelnosti sestavené aparatury - velký rozptyl výsledků je způsobem předčasným přerušením měření.

Všechny výsledky měření jsou přehledně zaneseny do následujícího grafu.



Obr. 3 Graf shrnující výsledky měření proděravěných parozábran

ZÁVĚREČNÁ DOPORUČENÍ

Výsledky měření difúzních vlastností proděravěných parozábran prezentované v příspěvku vedou k mnohým doporučením pro navrhování plochých střech s klasickým pořadím vrstev. Větší část doporučení je možné nalézt v odborné literatuře [7]. Na závěr tohoto příspěvku připojím pouze některá doporučení, a to:

- 1) Pro parotěsnicí vrstvu je vhodnější použít asfaltových pásů než parotěsnicích fólií, neboť při porušení asfaltových pásů dojde k určitému stažení materiálu. Zároveň je daleko obtížnější poškodit asfaltový pás než tenkou parotěsnicí fólii.
- 2) Při použití fólií jako parotěsnicí vrstvy doporučuji nejprve provést výpočet a vyhodnocení šíření vlhkosti ve stavební konstrukci podle norem (ČSN EN ISO 13788, ČSN 730540-4 a ČSN 730540-2) a použít hodnot ekvivalentní difúzní tloušťky parotěsnicí vrstvy uváděné výrobcem. Poté provést stejný výpočet a vyhodnocení, ale snížit hodnotu ekvivalentní difúzní tloušťky parotěsnicí vrstvy:
 - a) na 10 m - pro fólie s hodnotou ekvivalentní difúzní tloušťky $s_d > 50$ m,
 - b) na 5 m - pro fólie s hodnotou ekvivalentní difúzní tloušťky s_d mezi 10 m až 50 m.Pokud posouzení střešního pláště vyhoví podmínkám závazné normy v obou případech, střešní plášť lze považovat za správně navržený z hlediska šíření vodní páry v konstrukci.
- 3) Doporučení č.2 by mělo být chápáno jako doporučení pro celý střešní plášť. V případě porušení parotěsnicí vrstvy může dojít k lokální degradaci tepelně izolační vrstvy, proto by se projektanti i zhotovitelé měli snažit, aby parotěsnicí vrstva zůstala neporušená.

Text byl zpracován za podpory projektu ČVUT č.ig. CTU0700211

LITERATURA

- [1] GLASER, H. Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen, *Kaltetechnik*, č.11, 1959. s.345-355
- [2] SLANINA, P. a kol. Difúzní vlastnosti materiálů plochých střech a jejich vliv na tepelně technický výpočet. In *Juniorstav 2007.*, Brno, 2007. s.39. ISBN 978-80-214-3337-3
- [3] HANZALOVÁ, L., ŠILAROVÁ, Š. *Ploché střechy*. Informační centrum ČKAIT, Praha 2005. 328 s. ISBN 80-86769-71-2
- [4] CHALOUPKA, K. *Jak parotěsná je parozábrana v ploché střeše?* [online]. 2004, poslední revize 10.12.2003. Dostupné z: <<http://www.strechaspecial.cz/text13.html>
- [5] PETŘÍČEK, T. Vliv parozábrany na funkčnost skladeb šikmých střech. In *Juniorstav 2007.* Brno, 2007. [online].2007, Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_1.2/Petricek_Tomas_CL.pdf
- [6] MRLÍK, F. *Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí*. Bratislava: Alfa, 1985. 269s.
- [7] SLANINA, P. Návrh střechy z hlediska transportu vlhkosti. *Prezentace stavebních materiálů*. 2007. číslo 2. s. 79-81.