

Difúze vodní páry - veličiny, hodnoty a jednotky

Vodní pára ve vzduchu

Vodní pára se ve vzduchu může vyskytovat jen v omezeném množství; od cca 0,05 objemových procent za silných mrazů (při teplotě -30 °C je objem syté vodní páry 0,043 %) do 8 % za horkých dní (při teplotě $+40\text{ °C}$ je tento objem 8,34 %).

Množství vodní páry ve vzduchu se vyjadřuje pomocí tzv. **částečného tlaku vodní páry**. Ten může vystoupat nejvýše k hodnotě tzv. **částečného tlaku syté páry**, který závisí na teplotě.

Částečný tlak vodní páry je tlak v Pa (pascalech), kterým by pára v nádobě působila na stěny, kdyby byla v nádobě sama.

Příklad: normální pokojový vzduch 20 °C má tlak přibližně 1000 hPa (hektopascalů), tj. 100 000 Pa. Kdyby byl tento vzduch zcela nasycený vodní párou, přispěla by pára tlakem 2337 Pa, tj. 2,337 % z 100 000 Pa. Když je vzduch nasycený vodní párou, říkáme také, že má 100 % relativní vlhkost. Je-li relativní vlhkost vzduchu 50 %, je částečný tlak páry ve vzduchu poloviční, tj. 1169 Pa.

Částečný tlak syté vodní páry, jak už bylo řečeno, závisí na teplotě. Tuto závislost vyjadřuje s dobrou přesností jednoduchý exponenciální vztah.

Magnusův vzorec

Tlak syté vodní páry při zvolené teplotě určíme pomocí empirického vzorce, kterému se někdy říká Magnusův:

$$p = \exp\left(27,376 - \frac{5745,31}{T}\right)$$

kde p je částečný tlak vodní páry a T je termodynamická teplota. Termodynamickou teplotu v kelvinech (K) dostaneme tak, že k číslu 273,15 přičteme teplotu θ ve $^{\circ}\text{C}$, tedy $T\text{ (K)} = 273,15 + \theta\text{ (}^{\circ}\text{C)}$.

Tlak syté páry při běžných "stavebních" teplotách uvádí následující tabulka:

teplota	$^{\circ}\text{C}$	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
částečný tlak syté páry	Pa	42,4	103	260	611	1228	2337	4238	8342

Difúze vodní páry obvodovou stěnou

Vodní pára se samovolně šíří difuzními pochody z míst o vyšším částečném tlaku vodní páry do míst s nižším částečným tlakem. Pro všechny samovolné děje v přírodě je typické, že vždy směřují k vyrovnávání tlaků, koncentrací a teplot. V běžných tuzemských podmínkách se pára šíří difúzí přes obvodovou stěnu z teplejšího vnitřku budovy ven do chladnějšího venkovního prostředí

Součinitel difúze vodní páry δ (s)

Vodní pára má postupuje difúzí z vnitřku domu ven a stěna jí to umožňuje tím víc, čím je vyšší její součinitel difúze vodní páry. Tento součinitel je analogický součiniteli tepelné vodivosti z úloh o vedení tepla; analogické výpočtům toků tepla je i logika a postup výpočtu difúzních toků, což ukazuje, že difúze a vedení tepla mají stejný fyzikální princip.

Uvažujme zimní podmínky, které stavaře nejvíc zajímají. Venku je 0 °C a prší se sněhem, je 100% relativní vlhkost, tzn. část. tlak páry 611 Pa. Doma je 20 °C a 50 % relativní vlhkosti, což odpovídá část. tlaku vodní páry 50 % z 2337, tzn. 1169 Pa.

Počítejme množství vodní páry m v kg, která za čas t v s "prodifunduje" v důsledku rozdílu částečných tlaků vodní páry $\Delta p = 1169 - 611 = 558$ Pa obvodovou stěnou o ploše A m² a tloušťce d metrů. To popisuje definiční rovnice

$$m = \delta \frac{A}{d} \cdot t \cdot \Delta p,$$

resp. z ní odvozená rovnice vyjadřující množství difúzního toku vodní páry v jednotce plochy stěny

$$\frac{m}{A} = \delta \cdot \frac{t}{d} \cdot \Delta p,$$

v nichž je δ součinitel difúze vodní páry, jehož fyzikální rozměr je $s = \text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa})$. Součinitel difúze je materiálová vlastnost. **Součinitelé difúze pro některé materiály jsou** (zdroj Rochla Milan, Stavební tabulky, SNTL 1987):

vzduch 0 °C:	$\delta = 0,178 \cdot 10^{-9}$ s
beton:	$\delta = 0,013 \cdot 10^{-9}$ s
pórobeton:	$\delta = 0,063 \cdot 10^{-9}$ s
cihlové zdivo:	$\delta = 0,031 \cdot 10^{-9}$ s
omítka vápenná:	$\delta = 0,033 \cdot 10^{-9}$ s
malta cementová s pískem:	$\delta = 0,010 \cdot 10^{-9}$ s
pěnový polystyren:	$\delta = 0,0028 \cdot 10^{-9}$ s
skelná vlna:	$\delta = 0,125 \cdot 10^{-9}$ s
kamenná vlna:	$\delta = 0,179 \cdot 10^{-9}$ s
dřevo:	$\delta = 0,090 \cdot 10^{-9}$ s
PVC:	$\delta = 0,0005 \cdot 10^{-9}$ s
linoleum:	$\delta = 0,00004 \cdot 10^{-9}$ s
pryž:	$\delta = 0,00004 \cdot 10^{-9}$ s
polyethylen:	$\delta = 0,000002 \cdot 10^{-9}$ s
epoxidový lak:	$\delta = 0,000083 \cdot 10^{-9}$ s
chlorkaučukový lak:	$\delta = 0,000003 \cdot 10^{-9}$ s

Dosazení součinitelů difúze a dalších veličin do předcházejících vztahů přenecháme čtenáři. Pro krátké časy t vyjdou velmi malá čísla. Dosadíme-li ale delší čas, např. pro 10 dní je $t = 864\,000$ s (to reprezentuje možný případ, že mrazy mohou trvat i několik dní) tak už může být množství kondenzátu nepřijemné.

Součinitel difúze vodní páry v praxi používá k obecnému vyjádření difúzní propustnosti stavebních materiálů pro vodní páru. V případě konstrukcí spíše volíme následující veličiny, které popisují difúzní vlastnosti konstrukcí:

Difúzní odpor R_d (m/s)

Vyjadřuje míru, s jakou konstrukce brání difúznímu prostupu vodní páry. Vypočítá se jako podíl tloušťky materiálu a jeho součinitele difúze vodní páry δ :

$$R_d = \frac{d}{\delta}$$

Například pěnový polystyrén tloušťky 100 mm má $R_d = 0,1/0,0028 \cdot 10^{-9} = 3,57 \cdot 10^{10}$ m/s. Nebo z jiného soudku – PE (polyethylenová) fólie tloušťky 30 mikrometrů má $R_d = 0,00003/0,00002 \cdot 10^{-9} = 1,5 \cdot 10^{10}$ m/s.

Poznamenejme, že odpory jednotlivých vrstev ve vícevrstvých konstrukcích se sčítají – např. stěna složená z vnitřní omítky (2 cm) + cihlového zdiva (30 cm) + pěnové polystyrénové izolace (10 cm) + venkovní omítky (0,5 cm) má **celkový difúzní odpor** rovný

$$R_d = 0,061 \cdot 10^9 + 9,68 \cdot 10^9 + 35,71 \cdot 10^9 + 0,15 \cdot 10^9 = 46,15 \cdot 10^9 \text{ m/s.}$$

Faktor difúzního odporu μ (-)

Tato **bezrozměrná** veličina vyjadřuje, kolikrát lépe propouští vodní páru nehybná vrstva vzduchu, než stejná tloušťka daného materiálu. Např. pro pórobeton (viz tabulka součinitelů difúze nahoře) je $\mu = 0,179/0,063 = 2,8$. Čtyřicet cm silná vrstva pórobetonu propouští tedy vodní páru difúzí cca 3× hůře, než stejná vrstva vzduchu.

Ekvivalentní difúzní tloušťka S_d (m)

Vyjadřuje, kolik m vzduchové vrstvy by svými difúzními vlastnostmi nahradilo danou vrstvu. Používá se ke stanovení difúzních vlastností fólií. Jednoduchou úvahou, kterou si po kratším soustředění udělá čtenář sám, zjistíme, že platí:

$$S_d = R_d \cdot \delta_{\text{vzduch}} = R_d \cdot 0,178 \cdot 10^{-9}$$

Pro PE vrstvu s $R_d = 15 \cdot 10^9$ m/s (viz příklad u definice difúzního odporu výše) je ekvivalentní difúzní tloušťka $S_d = 2,67$ m.

Kondenzace vodní páry ve stěně

Vodní pára se nemůže koncentrovat ve vzduchu libovolně, ale jen do výše částečného tlaku syté vodní páry, který silně, tzn. exponenciálně klesá s termodynamickou teplotou. Vodní pára, která difúzí přitéká do míst, kde bylo dosaženo tlaku syté páry, kondenzuje.

Nejvyšší riziko kondenzace je v zimě za mrazů, kdy obvodová stěna přenáší velký teplotní rozdíl mezi vnitřkem domu a venkovním prostředím a kdy je uvnitř vysoký částečný tlak vodní páry a venku velmi nízký. **Případná kondenzace, která se vesměs hromadí v izolacích nebo v izolačním zdivu, je pak vždy nevídaná. Lze tolerovat jen malá množství kondenzátu, která se na jaře a v létě bezpečně odpaří.**

1. Obrana spočívá ve dvou technických opatřeních:

a) Pomocí paro a vzduchotěsné fólie umístěné na interiérové straně zabránit tomu, aby do ochlazovaných obvodových stěn pronikala difúzí či prouděním vzduchu vodní pára. To je řešení většiny dřevostaveb v ČR.

b) Difúzně otevřené, tj. "dýchající" konstrukce navrhovat tak, aby k případné kondenzaci docházelo jen v extrémních podmínkách (mrázech) a v jen ve velmi malé míře. To je případ např. cihlových, ale i jiných staveb.

Zvládnout možnou kondenzaci ve stěně na bezpečné úrovni vyžaduje odborný návrh a provedení.