

DIFÚZNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ PLOCHÝCH STŘECH A JEJICH VLIV NA TEPELNĚ TECHNICKÝ VÝPOČET

DIFFUSION PROPERTIES OF MATERIALS IN FLAT ROOFS AND THEIR INFLUENCE ON TECHNICAL THERMAL CALCULATION

Petr Slanina¹, Veronika Husáková², Jakub Kalináč³, Marek Pokorný⁴

Abstract

Thermal diffusion properties of material are not clearly described in Czech and European Standard for evaluation of moisture transport in roof structures and these properties significantly influence moisture transport in single/coat roof structures. The paper is focused on describing diffusion properties of materials, which are used for roof, from view of the theory and standards. Also the paper is focused on failures caused by inexact standard calculation methods and simple described properties of materials. In the conclusion there is a recommendation for efficient design of flat roofs.

Key words

Roof (střecha), roof structure (střešní konstrukce), moisture transport (transport vlhkosti), condensation (kondenzace), diffusion properties of material, (difúzní vlastnosti materiálu), permeability (propustnost), water vapour permeability of materials (součinitel difúzní propustnosti materiálu).

1 DIFÚZNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

1.1 TRANSPORT VLNKOSTI – NORMY VERSUS TEORIE

Při navrhování jednoplášťových plochých střech s klasickým pořadím vrstev nad prostory s tepelnými požadavky se navrhuje střešní plášť tak, aby nedošlo k nadměrnému transportu vlhkosti z interiéru do střešního souvrství, kde by v důsledku snížení teploty došlo až ke kondenzaci vodních par uvnitř konstrukce. V současné době je možné množství zkondenzovaných par v konstrukci počítat podle dvou norem: ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4. Obě tyto normy vycházejí z velmi jednoduchých výpočetních postupů, které se nazývají Glaserovy metody a byly vyvinuty v 60. letech 20. století. Normové metody používají následující vztahy pro transport vzdušné vlhkosti:

$$g = \delta_p \cdot \frac{\Delta p}{d} = \frac{\delta_o}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{d} = \delta_o \cdot \frac{\Delta p}{s_d} \quad (1)$$

kde g je hustota difúzního toku, δ_p je součinitel difúzní propustnosti (vodivosti)⁵ materiálu, Δp je rozdíl částečných tlaků vodní páry, d je tloušťka materiálu, μ je faktor difúzního odporu, δ_o je součinitel difúzní propustnosti vzduchu a s_d je ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu. Tyto vztahy vycházejí ze základního vztahu nevrátné termodynamiky pro popis transportu vzdušné vlhkosti z 1. Fickova zákona:

$$\vec{g} = \delta \text{ grad } p \quad (2)$$

kde δ je součinitel difúzní propustnosti materiálu, p je částečný tlak vodní páry a \vec{g} je hustota hmotnostního toku vlhkosti. Hnací silou celého procesu je zde gradient částečného tlaku vodní páry a vlastností materiálu vyjadřuje součinitel difúzní propustnosti δ . Za zmínku stojí, že 1. Fickův zákon je čistý jev difúze, který je ovšem ve skutečnosti ovlivněn dalšími faktory: teplotou, tlakem, koncentrací solí, gravitací, elektrickým polem i fázovými změnami.

1.2 DIFÚZNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

¹ Petr Slanina, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, (petr.slanina@fsv.cvut.cz)

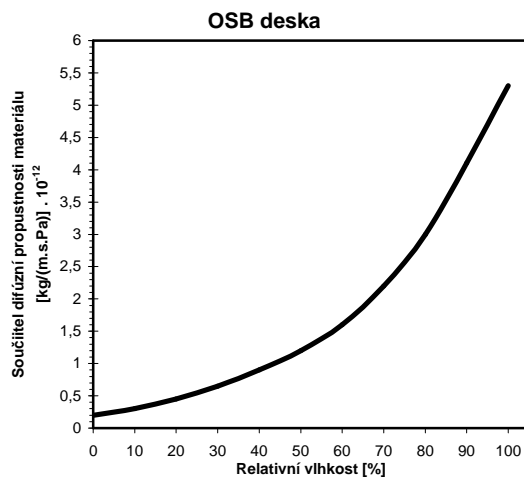
² Veronika Husáková, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, (veronika.husakova@fsv.cvut.cz)

³ Jakub Kalináč, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, (jakub.kalinac@fsv.cvut.cz)

⁴ Marek Pokorný, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, (marek.pokorny.1@fsv.cvut.cz)

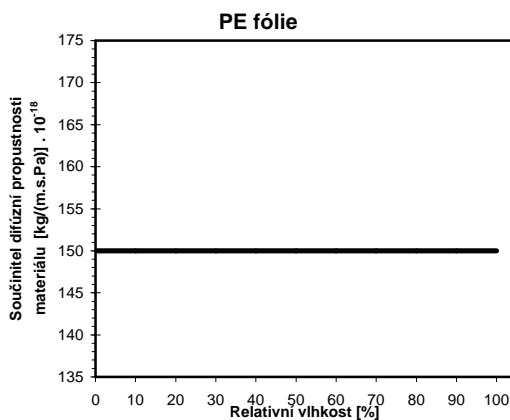
⁵ V českých normách (např. ČSN 730540, ČSN EN ISO 13788) je nevhodně přeložen termín „permeability“ jako „vodivost“ materiálu. Přesnější je použít termín „propustnost“ materiálu podobně jako v [1,2].

Vztahy (1) a (2) uvažují s konstantními vlastnostmi materiálů, tj. s konstantní hodnotou součinitele difúzní propustnosti materiálu δ . Podle provedených měření ve světě[3,4], se ukazuje, že tomu tak ve skutečnosti není a součinitel difúzní propustnosti je závislý na relativní vlhkosti prostředí, ve které se daný materiál nachází. Viz graf 1.



Graf 1 Závislost součinitele difúzní propustnosti OSB desky na relativní vlhkosti

Na grafu 2 je uvedena opět závislost součinitele difúzní propustnosti PE fólie na relativní vlhkost prostředí, ve kterém se fólie nachází.



Graf 2 Závislost součinitele difúzní propustnosti PE fólie na relativní vlhkosti

Z porovnání grafů je patrný rozdíl v závislosti součinitele difúzní propustnosti materiálů na relativní vlhkosti prostředí, ve kterém se daný materiál nachází. Obecně lze vyjádřit, že u materiálů s velkým difúzním odporem (velkou hodnotou ekvivalentní difúzní tloušťky) respektive s malou propustností pro vodní páry je hodnota součinitele difúzní propustnosti materiálu konstantní tedy nezávislá na relativní vlhkosti prostředí. U materiálů, které jsou propustné pro vodní páry, není tato závislost konstantní, ale závisí na relativní vlhkosti prostředí.

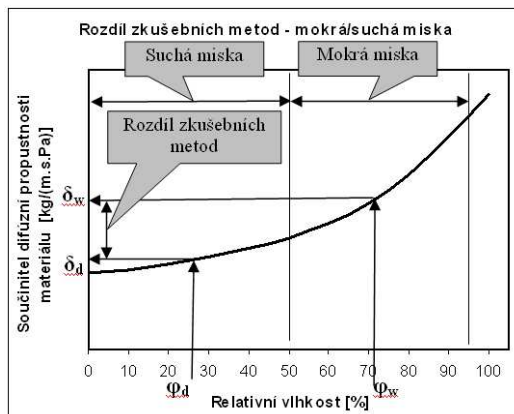
Tyto nové poznatky jsou jen částečně zahrnuty v tepelně technické normě ČSN 730540-3:2005, kde se rozdělují difúzní veličiny na suché a mokré. Tj. je rozdělen faktor difúzního odporu na suchý/mokřý faktor difúzního odporu, suchá/mokřá hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky a suchý/mokřý součinitel difúzní propustnosti materiálu. Jednotlivé veličiny se dají vyjádřit následujícím vztahem:

$$s_{dx} = \mu_x d = \frac{\delta_o}{\delta_{px}} d = \frac{d}{N \delta_{px}} \quad (3)$$

kde se za „x“ dosadí buď suchá (d – dry) nebo mokřá (w – wet) veličina. Suché/mokřé veličiny nelze mezi sebou zaměňovat.

1.3 METODY MĚŘENÍ DIFÚZNÍCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ – ROZPORY V NORMÁCH

Rozdělení difúzní veličin odpovídá rozdílným podmínkám zkoušek, při kterých se měří difúzní veličiny materiálů. Jedná se o zkoušky tzv. „suchou miskou“ a „mokrou miskou“. Tyto zkoušky a jejich podmínky provádění jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 12572: 2002. Rozdílné hodnoty difúzních veličin, naměřené suchým/mokrym zkušební postupem, ukazuje následující Obr.č.1.

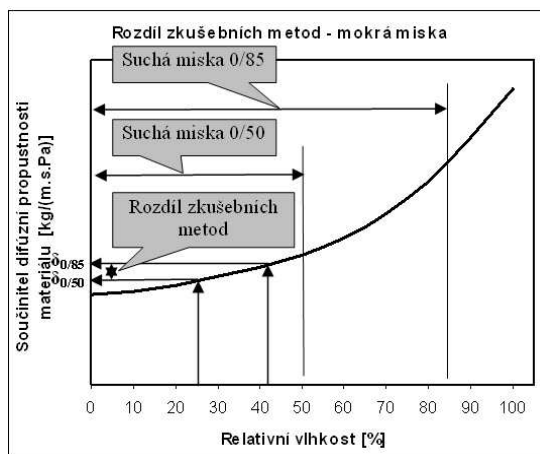


Obr. 1 Schéma rozdělení zkušebních metod – mokrá/suchá miska

Na Obr.1 je patrný rozdíl, ke kterému bude docházet při změření difúzních vlastností materiálů pomocí metod suché/mokré misky. Tento rozdíl vzniká proto, že suchá miska používá pro stanovení difúzních vlastností materiálů zkušební prostředí o 0% respektive 50% relativní vlhkosti vzduchu a zkušební metoda mokrá miska používá zkušební prostředí o relativní vlhkosti vzduchu 50% respektive 95%. Změřené hodnoty difúzních vlastností materiálů jsou tak při tzv. bodové hodnotě pro $\phi_d = 25\%$ a $\phi_w = 72,5\%$, tak jak je tomu uvedeno v normě ČSN EN ISO 12572: 2002.

Z obrázku plyne, že hodnoty součinitele difúzní propustnosti materiálu stanovené mokrou miskou budou větší než hodnoty změřené pomocí suché misky. Vzhledem k těmto rozdílům norma ČSN 730540-3:2005 předepisuje používat suché hodnoty pro výpočty, kde je vnitřní prostředí s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\phi \leq 60\%$. Naopak pro prostředí, kde převažuje relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\phi > 60\%$, norma předepisuje použít mokré difúzní veličiny. Mokré veličiny se použijí i pro přesnější výpočty. Hodnoty suchých veličin je možno nalézt v tabulkách v normě ČSN 730540-3:2005, s hodnotami pro mokré veličiny je to horší.

Tepelně technická norma ČSN 730540-3:2005 stanovuje i počet měření pro stanovení součinitele difúzní propustnosti materiálu (tj. minimálně 6 měření), přičemž toto množství je již stanoveno v normě ČSN EN ISO 12572: 2002, pro vzorky s plochou menší než 0,02 m² – 5 měření, pro ostatní vzorky postačí ke stanovení součinitele difúzní propustnosti materiálu pouze 3 měření.



Obr. 2 Schéma rozdělení zkušebních metod – suchá miska

Nová tepelně technická norma ČSN 730540-3:2005 stanovuje i zkušební prostředí pro obě zkušební metody. Pro mokrou miskou jsou podmínky shodné s normou ČSN EN ISO 12572: 2002, ale u metody suché misky stanoví včetně zkušební prostředí 0% respektive 50% i možnost zkušební prostředí 0% respektive 85%, čímž vnáší zmatek do měření i stanovení difúzních vlastností materiálů. To vyplývá z Obr.2.

Rozdíl zkušebních metod z Obr.2 samozřejmě nebude tak velký jako při použití metod suché a mokré misky, ale na druhou stranu ho nelze zanedbat.

2. DALŠÍ VLIVY NA TEPELNĚ TECHNICKÝ VÝPOČET

Při výpočtu zkondenzované vlhkosti podle norem ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4 jsou zanedbány další vlivy, které budou mít výrazný podíl na šíření vlhkosti uvnitř střešního pláště.

2.1 ZANEDBÁNÍ POHYBU KAPALNÉ VLHKOSTI

Při výpočtu množství zkondenzované vlhkosti uvnitř střešního pláště je podle výše zmíněných norem zanedbán vliv šíření kapalné vlhkosti. Vlivem gravitaci se bude množství zkondenzované vlhkosti pohybovat směrem zemské tíhy a negativně tak ovlivní vlastnosti materiálů, které jsou prostupné pro kapalnou vlhkost. To má negativní vliv na součinitel prostupu tepla i na součinitel difúzní propustnosti materiálů a změní se tak rozložení vlhkosti a teploty ve střešním plášti.

2.2 ZANEDBÁNÍ POHYBU VZDUCHU

Proudění vzduchu má velmi negativní vliv na transport tepla a vlhkosti především u lehkých obalových konstrukcích. U těžkých konstrukcích je většinou provedena masivní vrstva, která je pro proudění vzduchu téměř nepropustná. Například viz[5].

2.3 SKUTEČNĚ OKRAJOVÉ PODMÍNKY NEODPOVÍDAJÍ NORMOVÝM OKRAJOVÝM PODMÍNKÁM

Je zřejmé že v průběhu měsíce či dne nebudou vnější i vnitřní okrajové podmínky konstantní jak to předpokládají tepelně technické normy. Vnitřní okrajové podmínky, které jsou v normách deklarovány s dostatečnou bezpečností přírůzkou, budou v převážných případech působit na straně bezpečnosti. Vnější okrajové podmínky, které jsou stanoveny statisticky z dlouhodobého měření, mohou například ve výpočtu zkondenzovaného množství vlhkosti uvnitř střešního pláště vést k podcenění návrhu střešní skladby, ve které bude docházet ke kondenzaci vodních par, přestože podle normového výpočtu střešní skladba vyhoví na nulové množství zkondenzované vlhkosti. Více viz[6]

2.4 JE UVAŽOVÁNO POUZE JEDNOROZMĚRNÉ ŠÍŘENÍ VLHKOSTI

Při hodnocení šíření vlhkosti v konstrukcích podle vztahu (1), který využívají české tepelně technické normy a který je uveden na začátku příspěvku, je uvažováno (narozdíl od vztahu (2)) pouze s jednorozměrným šířením vzdušné vlhkosti. Toto zjednodušení je opodstatněné pouze pokud materiály zabudované ve střešní konstrukci budou homogenní a konstrukce bude mít rovinný charakter. V případě, že materiály zabudované do konstrukce budou s četnými nehomogenitami (spáry mezi jednotlivými dílci, otvory apod.), nebo střešní plášť nebude mít rovinný charakter (stavební detaily), dojde k vícerozměrnému šíření vlhkosti a do střešního pláště se dostane výrazně vyšší množství vlhkosti než předpokládají jednoduché výpočetní postupy podle tepelně technických norem. Podrobněji viz[7].

2.5 JE ZANEDBÁNO PŮSOBNÍ SOLÁRNÍHO A DLOUHOVLNNÉHO ZÁŘENÍ

- Solární záření

Solární záření je zcela opomenuto ve výpočtu zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukce podle ČSN EN ISO 13788. Ve výpočtu podle normy ČSN 730540-4 je zahrnut vliv solárního záření v podobě četnosti zatažených a jasných dnů tj. v podobě četnosti ekvivalentní teploty venkovního vzduchu při jasné obloze a při zatažené obloze. Podle normy je možno použít vliv solárního záření pouze v případě, kdy na střešní konstrukci bude po celou dobu životnosti nerušeně dopadat sluneční záření.

V případě nezapočítání slunečního záření do tepelně technického výpočtu podle normy ČSN 730540-4 a při výpočtu podle normy ČSN EN ISO 13788 budou výpočty na straně bezpečnosti z dlouhodobého horizontu. Sluneční záření však může působit i negativně, a to v případech kdy po dlouhotrvajících mrazech se nahromadí zkondenzované množství vlhkosti pod hydroizolačním souvrstvím. Díky slunečním paprskům dojde k rychlému zahřátí teploty a ke změně skupenství vlhkosti a tedy k rychlému zvětšení objemu. Může tak dojít k porušení hydroizolačního souvrství.

- Dlouhovlnné záření

Dlouhovlnné záření působí tak, že dochází k výměně energie zvýšeným tepelným tokem mezi střešním pláštěm a oblohou. Výsledkem je výrazně nižší vnější povrchová teplota, což zapříčiní zvýšení zkondenzované vlhkosti uvnitř

střešního pláště. Tento negativní vliv není zahrnut ani v české normě ČSN 730540-4 ani v evropské normě ČSN EN ISO 13788. Podrobněji viz[8].

3. DISKUZE

V předchozí kapitole bylo pojednáno o vlivech, které nejsou zahrnuty v žádných normových tepelně technických výpočtech, ale které výrazně ovlivňují vlhkostní režim ve střešním plášti. Až na sluneční záření se jedná o vlivy, které ovlivňují výpočet negativně. Ke kompenzaci jednotlivých vlivů dojde použitím vnitřním parametrům, které jsou stanoveny s jistou bezpečnostní přírážkou. Problémy vlhkostního rázu ve střešním plášti nastávají především v těch případech, kdy působí více vlivů najednou. Například může nastat následující situace:

Při pokládání parotěsnící vrstvy nedojde k napojení jednotlivých pasů mezi sebou, a tak se do střešního pláště bude dostávat výrazně vyšší množství vlhkosti. Dojde ke zvýšené kondenzaci ve střešním plášti, díky čemuž se změní vlastnosti použitých materiálů. Zvýší se celkový součinitel prostupu tepla konstrukce v daném místě, což povede k ještě větší kondenzaci vodní páry. Může pak dojít k porušení hydroizolačního souvrství z důvodu objemových změn kondenzátu vlivem slunečního záření nebo ke vzniku plísní na vnitřní straně konstrukce z důvodu poklesu minimálních vnitřních povrchových teplot nebo zatékání zkondenzované vlhkosti ze střešního pláště.

Samozřejmě kombinací různých vlivů, které nejsou zahrnuty v tepelně technických výpočtech, je možné poukázat více negativních příkladů.

4. ZÁVĚR

Z příspěvku plynou následující doporučení pro navrhování střešních pláštů.

- Použití tepelně technických výpočtů podle norem ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540-4 je pouze přibližné, nedává ucelenou představu o vlhkostním režimu ve střešním plášti, ale může dobře sloužit k porovnání jednotlivých variant použitých materiálů ve střešních skladbách.
- Při tepelně technických výpočtech je nezbytné zadat do výpočtu realné vlastnosti materiálů i správné vnitřní a vnější okrajové podmínky.
- Při realizaci střešního pláště je nezbytné zajistit vysokou technologickou kázeň při pokládání a spojování jednotlivých vrstev s velkým difúzním odporem a jejich důkladnému napojení na prostupující prvky.

Text byl zpracován za podpory MSM 6840770001

Literatura

- [1] ČERNÝ R., TOMAN, J., HOŠKOVÁ, Š. Nestacionární metoda stanovení součinitele difúze vodní páry ve stavebních materiálech. *Stavební obzor*. 1994, č.10, s. 304-306.
- [2] BINKO, J. *Veličiny a jednotky v stavební fyzice*. Bratislava: Alfa, 1975. 102 s.
- [3] TRECHSEL, H.P. *Manual on Moisture Control in Buildings*, Series ASTM manual series, MNL 18. 1994
- [4] hygIRC 1-D Version 1.0, National Research Council Canada. 2004
- [5] SVOBODA, Z. Výpočtové modelování infiltrace do obalových konstrukcí. *In Kongres Střechy 2003*. s. 29 – 37
- [6] SLANINA, P. Vlhkostní režim v plochých střeších. *In Střechy 2006. 13 ročník mezinárodního sympozia*, Bratislava, 2006. s.205 – 209. ISBN 80-227-2529-3
- [7] SLANINA, P., ŠILAROVÁ Š. Difúzní mosty. *Střechy, fasády, izolace*, 2006, roč. 13, č. 4 s.66,67
- [8] FICENEC, J. Tepelně vlhkostní režim povrchového souvrství kontaktně zateplovacího systému. *In Juniorstav 2006. 8. Odborná konference doktorského studia*, Brno, 2006. s.93 - 98. ISBN 80-214-3107-5
- [9] ČSN 730540-1-4 : 2005 *Tepelná ochrana budov – Část 1 až Část 4*.
- [10] ČSN EN ISO 13788: 2002 *Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody*.
- [11] ČSN EN ISO 12572 : 2002 *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků. Stanovení prostupu vodní páry*.

Recenzoval

Doc. Ing. Šárka Šilarová, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební (docentka), Thákurova 7, 166 29 Praha 6, silarova@fsv.cvut.cz