

# ŠÍŘENÍ VLHKOSTI V JEDNOPLÁŠŤOVÝCH STŘEŠNÍCH KONSTRUKCÍCH

## MOISTER TRANSPORT IN ONE-COAT ROOF STRUCTURE

Petr Slanina<sup>1</sup>

### Abstract

At present for the evaluation of the risk of moisture condensation in the interior of roof structures there are used simple calculation methods, described in the Czech and European standards ČSN 73 05 40-4 and EN ISO 13788. The calculation with the aid of these methods does not answer to the real state of the construction, the resulting roof cover designs are then not correct.

### Key words

Roof (střecha), roof structure (střešní konstrukce), moisture transport (transport vlhkosti), condensation (kondenzace), vapour barrier (parozábrana)

## 1 ÚVOD

Při navrhování jednoplášťových plochých střeš s klasickým pořadím vrstev nad prostory s tepelnými požadavky je nezbytné navrhnout ve střešním pláští i vrstvu parotěsnicí, která zabráňuje nadměrnému šíření vlhkosti z interiéru do vrstev střešního pláště, kde by v důsledku poklesu teploty došlo ke kondenzaci vodní páry. Nadměrné množství vlhkosti uvnitř jednotlivých vrstev střešního pláště může ohrozit funkčnost a zkrátit tak životnost celého střešního souvrství. Vzhledem k zanedbání některých vlivů při výpočtu zkondenzovaného množství vlhkosti uvnitř střešního pláště podle ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4 může dojít k nesprávnému vyhodnocení výsledků a posléze k chybnému návrhu a funkci celého střešního pláště.

## 2 TRANSPORT VLHKOSTI

Základní fyzikální model přenosu vlhkosti vycházejí z Onsagerovy lineární nevratné termodynamiky a formulovali je nezávisle na sobě Krischer a Lykov v 70. letech 20. století. Na základě jejich prací potom vznikla difúzní teorie transportu vlhkosti, která je dodnes v praxi nejvíce rozšířena. Jejím nejjednodušším výstupem je formulace transportu vlhkosti pomocí 1. Fickova zákona difúze[2].

$$\vec{g} = -\rho D \text{grad } c \quad (1)$$

---

<sup>1</sup> Petr Slanina, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Tháškova 7, 166 29 Praha 6, petr.slantina@fsv.cvut.cz

- D.....součinitel difúze
- $\rho$ .....hustota prostředí
- c.....koncentrace
- $\bar{g}$  .....difúzní tok

Model transportu vlhkosti vyjádřený Fickovým zákonem je tzv. čistý jev, tedy čistou difúzí, kde se uvažuje jako hnací termodynamická síla gradient koncentrace. Součinitel difúze D vyjadřuje vliv vnitřních faktorů (struktura skeletu, tj. tvar, velikost a rozmístění pórů, charakter tekutiny v porézním tělese, atd.). Transport vlhkosti je však ovlivněn dále vnějšími vlivy, které nejsou zahrnuty ve vztahu (1). Jsou jimi teplota, tlak, koncentrace, gravitace a elektrické pole. Z toho plyne, že transport vlhkosti je velmi komplexní děj a kvalitní matematický model transportu vlhkosti, který by umožňoval řešit transport vlhkosti, není snadné sestavit.

Ve stavební fyzice a v českých normách[7,9] se setkáváme se vztahem popisující transport vlhkosti:

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

- $\delta$ .....součinitel difúzní vodivosti materiálu
- p.....částečný tlak vodní páry
- $\bar{g}$  .....difúzní tok

Hnací silou je zde gradient částečného tlaku vodní páry a vlastnosti materiálu vyjadřuje součinitel difúzní vodivosti  $\delta$ .

Výpočet kondenzace vlhkosti ve stavebních konstrukcích se v současné době počítá pomocí Glaserových metod, které jsou popsány v českých normách ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4. Při těchto výpočtech se pro výpočet kondenzace vodních par v konstrukci zjednodušuje vztah (2) na vztahy:

$$g = \delta_p \cdot \frac{\Delta p}{d} = \frac{\delta_o}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{d} = \delta_o \cdot \frac{\Delta p}{s_d} \quad (3)$$

- $\delta_p$ .....součinitel difúzní vodivosti materiálu
- $\delta_o$ .....součinitel difúzní vodivosti vzduchu
- $\Delta p$ .....rozdíl částečných tlaků vodní páry
- g.....hustota difúzního toku
- d.....tloušťka materiálu
- $\mu$  .....faktor difúzního odporu
- $s_d$  .....ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu

Tyto vztahy uvažují pouze jednorozměrnou hustotu difúzního toku vlhkosti a to nejčastěji pouze ve směru kolmém na souvrství stavební konstrukce. Toto zjednodušení je možné pouze v případě homogenních vlastností použitých materiálů a rovinného uspořádání celé konstrukce. Ve skutečnosti však materiály zabudované do stavební konstrukce jsou často nehomogenní ať už v důsledku poškození nebo konstrukčního uspořádání. Současně se objevují i konstrukční detaily, které nemají rovinný ráz, a tudíž pro ně nelze aplikovat normové metody pro výpočet zkondenzované vlhkosti.

### 3 DIFÚZNÍ MOSTY

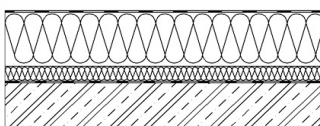
K nehomogenním vlastnostem materiálů může dojít z několika příčin:

- technologickou nekázní při výstavbě,
- nedokonalým spojením jednotlivých materiálů a napojením na prostory,
- mechanickým kotvením střešního pláště,
- stárnutím spojů.

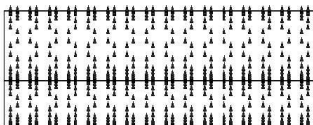
Při nehomogenních vlastnostech materiálů bude docházet k vícerozměrnému šíření vlhkosti, budou vznikat „difúzní mosty“, které jsou analogické k tepelným mostům a do střešního souvrství se dostane výrazně vyšší množství vlhkosti než předpokládá současný výpočetní model popsaný v normách ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4.

Na následujících obrázcích 1,2,3 je znázorněna schéma klasické jednoplášťové konstrukce s parotěsnicí vrstvou. Na obr. 2 je zobrazen směr hmotnostního toku vlhkosti v případě, kdy všechny vrstvy konstrukce jsou homogenní a nedochází tak k vícerozměrnému transportu vlhkosti. S tímto ideálním modelem počítají současné české i evropské normy. Na dalším obr. 3 je zobrazen směr difúzního toku v případě, kdy je porušena parotěsnicí vrstva., k čemuž by mohlo dojít například nedbalostí při pokládání vrstvy, nebo nevhodným napojením dvou pásů. Na obrázku je jasně patrné, že hmotnostní tok vlhkosti se koncentruje v místě porušení parotěsnicí vrstvy. Vzniká zde difúzní most a do střešní konstrukce se dostává více vlhkosti než předpokládá současný normový výpočetní model.

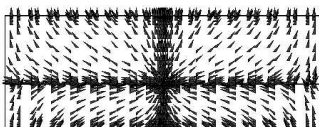
**Obr. 1)** Schéma klasické jednoplášťové konstrukce s parotěsnicí vrstvou.



**Obr. 2)** Znázornění směru jednorozměrného difúzního toku vlhkosti. Střešní vrstvy jsou homogenní.



**Obr. 3)** Znázornění směru vícerozměrného difúzního toku vlhkosti. Dochází k difúznímu mostu v místě porušení parotěsnicí vrstvy



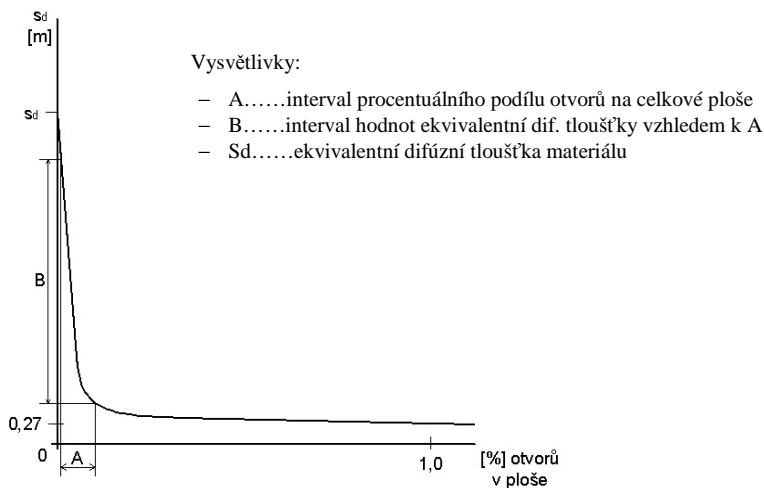
## 4 VLASTNOSTI PRODĚRAVĚNÝCH PAROZÁBRAN

Problematické je stanovení difúzních vlastností nehomogenních vrstev obzvláště u tenkých vrstev s velkým difúzním odporem. V normách a odborné literatuře můžeme najít některá doporučení:

- V normě ČSN EN ISO 13788 je uvedeno, že „u materiálu s velmi vysokou ekvivalentní difúzní tloušťkou je rozhodující způsob napojení desek, fólií apod. mezi sebou a dále vliv četných proděravění v důsledku konstrukčního uspořádání. Může tak dojít k poklesu výsledné návrhové hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky až o několik řádů“.
- V odborné literatuře [1] se doporučuje odborným odhadem snížit podle procenta poškození faktor difúzního odporu až na 10% jeho původní hodnoty.
- V literatuře [5] se dokonce doporučuje „zohlednit nedokonale utěsněné spáry v parotěsnící vrstvě, průrazy vzniklé při ukládání a mechanickém připevnění. Difúzní (i vzduchová) těsnost vrstvy (a tím i hodnota faktoru difúzního odporu popř. ekvivalentní difúzní tloušťky  $s_d$ ) je často 10 x až 100 x nižší než deklarovaná vlastnost materiálu.“

Problematické stanovení hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky nehomogenní vrstvy hlavně při malém procentu proděravění je znázorněno na následujícím grafu č.1. Z grafu je patrné, že poměrně malý interval podílů otvorů na celkové ploše vzorku způsobuje několikanásobně větší interval hodnot ekvivalentní difúzní tloušťky. Tento jev bude zřetelnější především u tenkých vrstev z materiálů s velkým difúzním odporem.

**Graf. 1)** Graf závislosti hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky materiálu na jeho procentuálním proděravění otvory[4]



Hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky nehomogenní vrstvy se nedá stanovit analytickým výpočtem ani váženým průměrem hodnot, vypočtených v místě homogenních vlastností a v místě porušení vrstvy. Je zapotřebí použít numerických metod nebo laboratorní měření difúze.

Současné numerické modely nedokáží zcela popsat transport vlhkosti, neboť je to velmi komplexní jev, který je ovlivněn mnoha faktory (teplota, tlak, chemický a elektrický potenciál, koncentrace) a změny skupenství.

Z dosavadních výsledků měření, které byly provedené např. prof. Dr. W. Bauera (Stavební Akademie NDR)[3] plyne, že hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky klesá v závislosti na velikosti proděravěné plochy procentuálně rychleji u materiálů s vyšším difúzním odporem. Z další výsledků měření provedených ve VÚPS ve Zlíně[3] a na FSv[4], ČVUT v Praze potvrzují výrazný pokles hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky proděravěných parozábran. Bohužel vzhledem k malému počtu těchto měření nelze přesně stanovit závislost hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky parozábran na procentu jejich proděravění. V dalším výzkumu difúzních vlastností parozábran, se bude i nadále pokračovat.

## 5 ZÁVĚR

Z celého příspěvku plyne několik doporučení nejen pro navrhování střešních konstrukcí:

- Zjistit difúzních vlastností materiálů s vysokou hodnotou difúzního odporu při malém podílu jejich proděravění.
- Vytvořit odpovídající matematický model, který by dokázal zohlednit nehomogennitu materiálů při výpočtu zkondenzovaného množství vlhkosti.
- Zajistit vysokou technologickou kázeň při pokládání a spojování jednotlivých pásů parotěsnících vrstev a jejich důkladné napojení na prostupující prvky (omezení vlivu nehomogeneity materiálů).
- Při návrhu plochých jednoplášťových střech použít ke stabilizaci střešního pláště přednostně přítěžovací vrstvy nebo stabilizovat střešní plášť lepením.
- Navrhovat střechy s obráceným pořadím vrstev, které při vhodně zvolené tloušťce tepelné izolace obvykle zcela vylučují kondenzaci vodních par ve střešním plášti.

**Text byl zpracován za podpory MSM 6840770001**

### Literatura

- [1] HANZALOVÁ, L., ŠILAROVÁ, Š. a kolektiv. *Ploché střechy - navrhování a sanace*. Praha: Public History, 2001. 397s. ISBN 80-86445-08-9.
- [2] ČERNÝ, R., TOMAN, J., HOŠKOVÁ, Š. Nestacionární metoda stanovení součinitele difúze vodní páry ve stavebních materiálech. *Stavební obzor*. 1994, č.10, s. 304-306.
- [3] MRLÍK, F. *Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí*. Bratislava: Alfa, 1985. 269s.
- [4] SLANINA, P. *Definování parotěsné vrstvy u plochých jednoplášťových střech*. Praha: ČVUT – FSv, 2003. 180s.

- [5] CHALOUPKA, K., ŠÁLA, J. *Ploché střechy a pěnový polystyren, Izolační praxe 3*. Praha: Sdružení EPS, 2002
- [6] SLANINA, P. Parozábrany v plochých střechách. *Střechy, fasády, izolace*, 2004, roč. 11, č. 10. s. 40 – 42.
- [7] ČSN 730540-1-4 : 2002 *Tepelná ochrana budov – Část 1 až Část 4*
- [8] ČSN 731901 : 1999. *Navrhování střech – Základní ustanovení*.
- [9] 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*.

### **Recenzoval**

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