

# **DIFÚZNÍ MOSTY**

Šárka Šilarová, Petr Slanina

Doc. Ing. Šárka Šilarová, CSc.  
Ing. Petr Slanina  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## DIFÚZNÍ MOSTY

### ABSTRAKT

Při jednoduchém výpočtu zkondenzovaného množství vlhkosti uvnitř střešního pláště podle ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4 může dojít k nesprávnému vyhodnocení výsledků z důvodu zanedbání vlivu difúzních mostů, a tak k chybnému návrhu celého střešního pláště.

### 1. ÚVOD

Při navrhování jednoplášťových plochých střech s klasickým pořadím vrstev nad prostory s tepelnými požadavky je nezbytné navrhnout střešní plášť tak, aby se zabránilo nadměrnému transportu vlhkosti z interiéru do střešního souvrství, kde by v důsledku snížení teploty došlo ke kondenzaci vodních par. Vzhledem k zanedbání vlivu difúzních mostů může dojít k výrazně vyššímu výskytu zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukce, než předpokládá jednoduchý výpočetní model podle ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4, a tím k nesprávnému vyhodnocení výsledků a posléze k chybnému návrhu celého střešního pláště.

### 2. CO JSOU DIFÚZNÍ MOSTY

Základní matematické modely 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].

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

kde:  $D$ ..... je součinitel difúze,  
 $c$ .....je koncentrace,  
 $\rho$ .....je hustota prostředí,  
 $\vec{g}$  .....je hustota difúzního toku ve 3D.

Difúzní model transportu vlhkosti vyjádřený Fickovým zákonem je tzv. čistý jev, tedy čistou difúzí, kde je uvažován 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 není snadné sestavit.

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

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

kde:  $\delta$ .....je součinitel difúzní vodivosti materiálu,  
 $p$ .....je částečný tlak vodní páry,  
 $\vec{g}$  .....je hustota difúzního toku opět ve 3D.

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

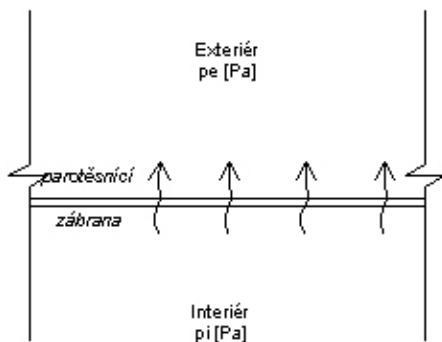
Výpočet kondenzace vlhkosti ve stavebních konstrukcích se v současné době počítá pomocí Glaserových metod, které jsou popsány v českých normách ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4. Při těchto výpočtech se pro výpočet kondenzace vodních par v konstrukci zjednodušuje vztah (2) na vztahy:

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

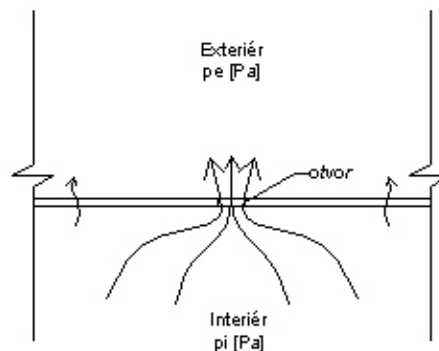
kde:  $g$ .....je hustota difúzního toku pouze v 1D,  
 $\delta_p$ .....je součinitel difúzní vodivosti materiálu,  
 $\Delta p$ ..... je rozdíl částečných tlaků vodní páry,  
 $d$ .....je tloušťka materiálu,  
 $\mu$ .....je faktor difúzního odporu,  
 $\delta_o$ .....je součinitel difúzní vodivosti vzduchu,  
 $s_d$ .....je ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu.

Tyto vztahy uvažují pouze jednorozměrný hmotnostní tok vlhkost a to nejčastěji pouze ve směru kolmém na souvrství stavební konstrukce. Takové 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, napojování nebo konstrukčního uspořádání. Současně se objevují i konstrukční detaily, který nemají rovinný ráz, a tudíž je nelze počítat podle normových metod.

Na následujících obrázcích *Obr.1* a *Obr.2* jsou znázorněny schémata střešních konstrukcí. Na prvním obrázku je parotěsnicí vrstva s homogenními vlastnostmi. Na druhém obrázku je znázorněno porušení parotěsnicí vrstvy, což způsobí vícerozměrný transport vlhkosti do konstrukce střešních vrstev, a tak dojde k vytvoření difúzního mostu v místě porušení parotěsnicí vrstvy. Výrazně se zvýší transport vlhkosti do dalších vrstev střešního souvrství konstrukce.

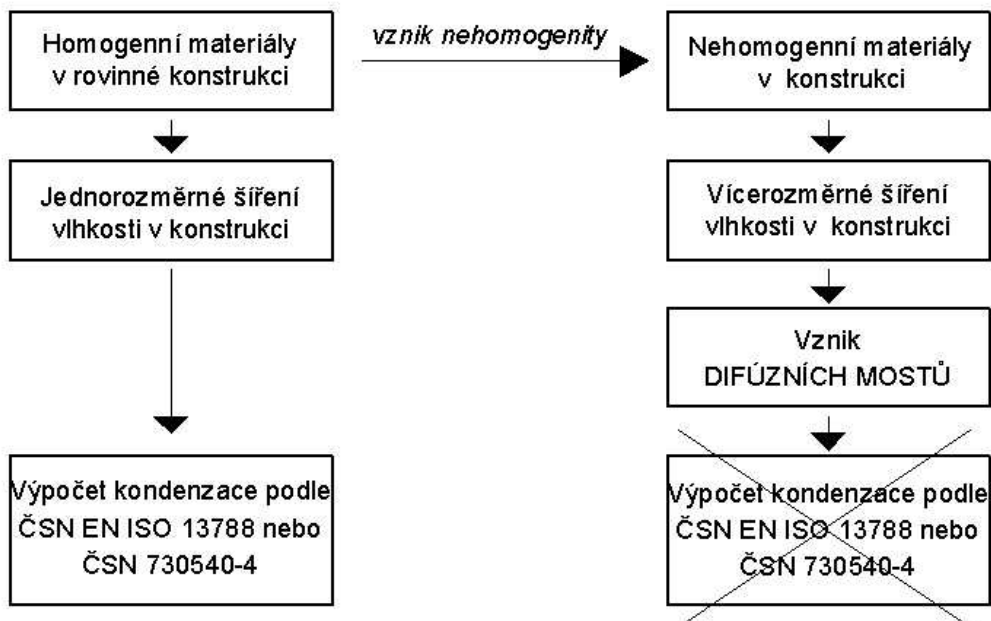


Obr. 1 Schéma střešního pláště s homogenními materiály



Obr. 2 Schéma střešního pláště s nehomogenními materiály

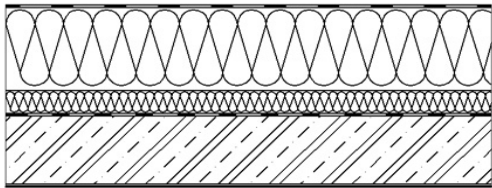
Výpočetní postupy popsané v českých normách ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4 nezohlední porušení materiálů (viz Obr.2), protože normový výpočetní postup nedokáže zohlednit vícerozměrný difúzní tok vlhkosti a tím dochází k nesprávnému vyhodnocení výsledků. Díky vícerozměrnému šíření vlhkosti v konstrukci nelze ani přesně určit množství vlhkosti, která se dostane do střešní konstrukce, váženým průměrem hodnot vypočtených v místě celistvého střešního souvrství a v místě porušení střešních vrstev.



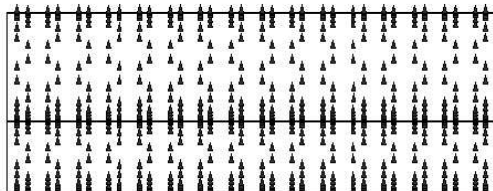
Obr. 3 Schéma vzniku difúzních mostů a použití normových postupů pro stanovení množství zkondenzované vlhkosti ve vrstevné konstrukci.

### 3. PŘÍKLADY DIFÚZNÍCH MOSTŮ

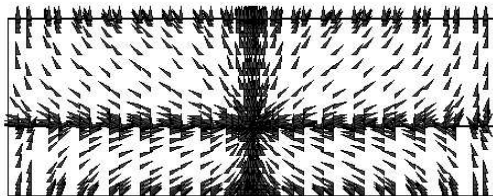
Difúzní mosty vznikají všude tam, kde jsou použité materiály ve stavební konstrukci nehomogenní nebo v místech stavebních detailů (napojení atiky, prostupy střešní konstrukcí, dilatace, atd). Na Obr.4a, Obr.4b, Obr.4c je znázorněna skladba klasické jednoplášťové konstrukce s parotěsnicí vrstvou.



*Obr. 4a Skladba klasické jednoplášťové konstrukce s parotěsnicí vrstvou.*



*Obr. 4b Znázornění směru jedno-rozměrné hustoty difúzního toku. Střešní vrstvy jsou homogenní.*

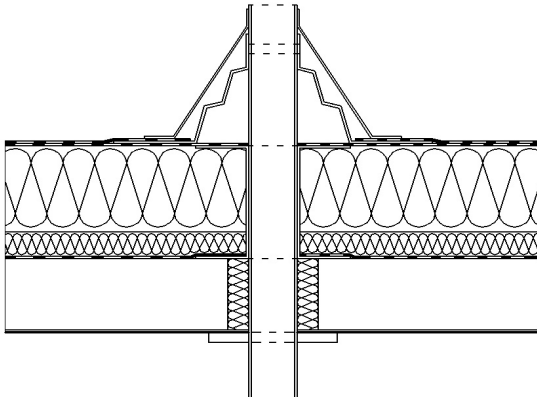


*Obr. 4c Znázornění směru více-rozměrné hustoty difúzního toku. Dochází k difúznímu mostu v místě porušení parotěsnicí vrstvy*

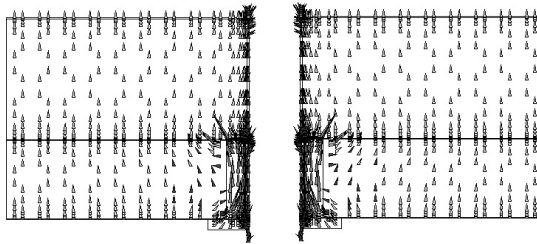
Na *Obr.4b* je zobrazen směr hmotnostního toku vlhkosti v případě, kdy všechny vrstvy konstrukce jsou homogenní a nedochází tak k vícerozměrnému transportu vlhkosti. S tímto ideálním modelem je počítáno v současných českých normách.

Na následujícím *Obr.4c* je zobrazen směr difúzního toku v případě, kdy je porušena parotěsnicí vrstva, k takovému případu by mohlo dojít například nedbalostí při pokládání parotěsnicí vrstvy anebo nevhodným napojením dvou pásů této vrstvy. Na obrázku je jasně patrné, že hustota difúzního toku se koncentruje v místě porušení parotěsnicí vrstvy. Vzniká tím difúzní most a do střešní konstrukce se dostává více vlhkosti než předpokládá současný normový výpočetní model.

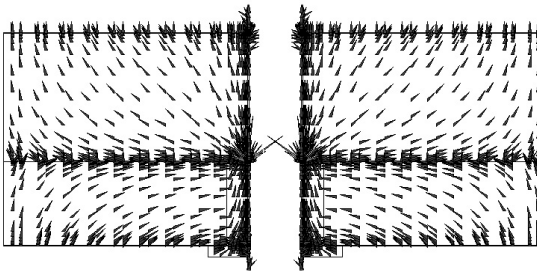
Na *Obr.5a*, *Obr.5b*, *Obr.5c* je zachycen detail prostupu potrubí střešním pláštěm za použití ochranného prvku z kovu. Skladba konstrukce je shodná s *Obr.4a*. Na *Obr.5b* je zobrazen směr difúzního toku v případě, že parotěsnicí vrstva je bezchybně parotěsně napojena na prostupující potrubí. Na obrázku je vidět, že kromě místa, kde je nahrazena železobetonová deska tepelně-izolačním materiálem, je směr difúzního toku konstantní a kolmo na střešní vrstvy, tak jak předpokládá normový výpočetní model. Na dalším *Obr.5c* je zobrazen stejný detail, tentokrát však není parotěsnicí vrstva těsně napojena k prostupujícímu potrubí. V tomto případě dochází k soustředění difúzního toku vlhkosti k prostupujícímu potrubí a následně do střešního pláště. Difúzní tok vlhkosti v tomto případě není konstantní a do střešní konstrukce se dostane více vlhkosti než předpokládá současný normový výpočetní model.



*Obr.5a Detail prostupu potrubí skrz střešní rovinu při použití ochranného kovového prvku.*



*Obr.5b Detail prostupu potrubí – směr hustoty difúzního toku v případě, kdy je parozábrana parotěsně napojena na prostupující potrubí*

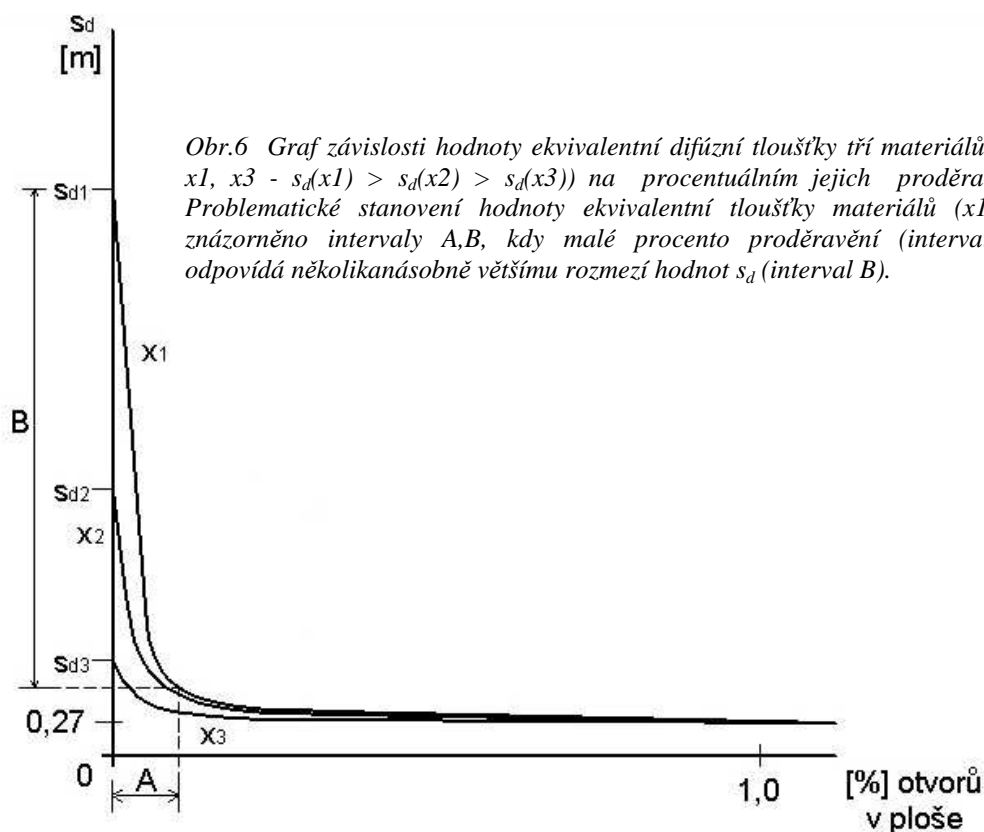


*Obr.5c Detail prostupu potrubí – směr hustoty difúzního toku v případě netěsně napojené parotěsníci vrstvy na potrubí*

#### 4. SKUTEČNÉ MNOŽSTVÍ VLHKOSTI VE STŘEŠNÍM PLÁŠTI

Zjištění skutečného množství vlhkosti vstupující do střešního pláště vlivem difúzních mostů je značně problematické. Jednou z dostupných metod je použití experimentálního měření nebo použití kvalitního výpočetního modelu.

Změření difúzních vlastností nehomogenních materiálů případně zjištění množství vlhkosti, která se dostane skrz nehomogenní materiál, je problematické především při malém procentu perforování a vysokém difúzním odporu měřeného materiálu. Tento problém je vyjádřen na Obr.6. Na tomto obrázku jsou zakresleny tři křivky (x1, x2, x3) materiálů s různým difúzním odporem. Z grafu je patrné, že při minimálním proděravění materiálů s vysokým difúzním odporem dojde k radikálnímu poklesu hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky (křivka x1). Naopak u materiálů s nízkým difúzním odporem pokles hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky nebude tak výrazný (křivka x3).



Použití matematického modelu pro stanovení množství vlhkosti, která se dostává do střešního pláště vlivem difúzních mostů, je problematické kvůli obtížnému matematickému vyjádření hmotnostního toku vlhkosti a faktorů, které jej ovlivňují:

1) Například program AREA 2002 (Svoboda software) řeší transport vlhkosti pomocí rozdělení konstrukce na dílčí řezy ve směru tepelného toku. V těchto dílčích řezech počítá šíření vlhkosti jako jednorozměrný problém podle Glaserových metod. Celkové množství vlhkosti, které se dostane do konstrukce, je vypočítáno jako součet vlhkosti ze všech dílčích řezů. Protože transport vlhkosti není vyvolán pouze gradientem teploty, ale převážně gradientem částečného tlaku vodních par, šíří se množství vlhkosti i mezi jednotlivými dílčími řezy. Vypočtené množství vlhkosti v konstrukci pro tento výpočet může být zatížené značnou chybou a výsledky tak neodpovídají reálnému stavu.

2) Další výpočetní program DELPHIN4,5 počítá šíření tepla, vlhkosti i šíření solí v konstrukci. Matematický model vytvořený Prof. J. Grünwaldem na Universitě v Drážďanech je velmi komplexní. Bohužel program vykazuje nepřesné výsledky při vysokých relativních vlhkostech vzduchu tj. v místech, kde dochází ke kondenzaci vodních par v konstrukci.

## 5. ZÁVĚR

Ze zjištěných skutečností vyplývá několik doporučení nejen pro navrhování střešních konstrukcí, ale i pro vrstvené obalové konstrukce obecně:

1) Při absenci odpovídajícího matematického modelu, který by dokázal zohlednit nehomogenitu materiálů jednotlivých vrstev, je nutné zjistit

množství vlhkosti prostupující skrz nehomogenní parotěsnicí vrstvy za pomoci experimentálního měření.

- 2) Nutnost zajištění vysoké technologickou kázně při pokládání a spojování jednotlivých parotěsnicích pásů a jejich důkladné napojení na prostupující prvky (omezení vlivu nehomogenity materiálů).
- 3) Při návrhu plochých jednoplášťových střech je nutné použít ke stabilizaci střešního pláště přednostně přitěžovací vrstvy, anebo stabilizovat střešní plášť lepením.
- 4) Přednostně 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] BARTKO, M. Parotesná vrstva v skladbe plochej strechy z hradiska synergie. *Střechy, fasády, izolace*, 2000, roč.7, č.1, s. 14-15.
- [5] SVOBODA, Z. Nápopvěda k programu AREA 2002, Svoboda Software.
- [6] SLANINA P., ŠILAROVÁ Š. Difúzní mosty. In *Střechy 2005*. 12. Mezinárodní symposium, Bratislava, 2004. s.100 – 103.
- [7] SLANINA, P., Parotěsná vrstva – terminologie, rozdělení, navrhování. *Tepelná ochrana budov*, 2004, roč. 7, č. 3, s. 13-16.
- [8] SLANINA, P. Všeobecně o parozábranách střech. *Střechy, fasády, izolace*. 2004. ročník 11. číslo 9. s. 76 – 78.
- [9] ČSN 730540-1-4 : 2002 *Tepelná ochrana budov – Část 1 až Část 4*
- [10] ČSN 731901 : 1999. *Navrhování střech – Základní ustanovení*.
- [11] 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*.





*Obr.7 Při realizaci střešního pláště hrozí nebezpečí proděravění parotěsnících vrstev, proto je nezbytné dodržet vysokou technologickou kázeň.*