

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 tedy 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].

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

kde D je součinitel difúze, c je koncentrace, ρ je hustota prostředí a g difúzní tok. Difúzní 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 není snadné sestavit.

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

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

kde δ je součinitel difúzní vodivosti materiálu, p je částečný tlak vodní páry a g je hustota difúzního toku. Hnací silou je zde gradient částečného tlaku vodní páry a vlastnosti materiálu vyjadřuje součinitel difúzní vodivosti δ .

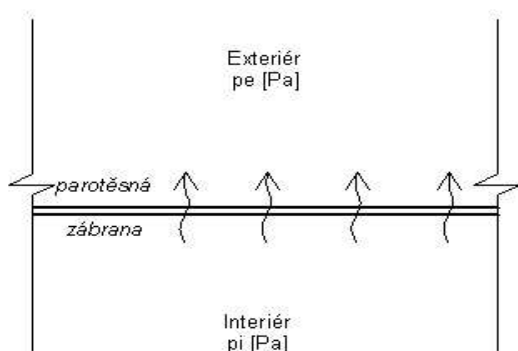
Výpočet kondenzace vlhkosti ve stavebních konstrukcích se v současné době počítá pomocí Glaserových metod, které jsou popsány v českých normách ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4. Při těchto výpočtech se pro výpočet kondenzace vodních par v konstrukci zjednodušuje vztah (2) na vztahy:

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

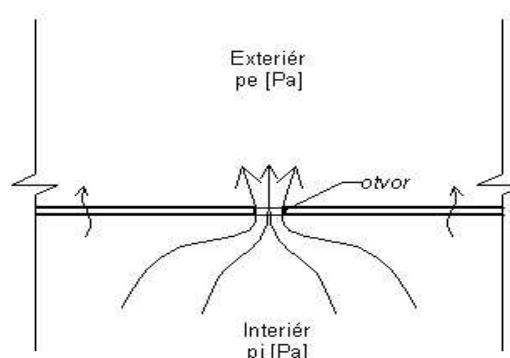
kde g je hustota difúzního toku, δ_p je součinitel difúzní vodivosti materiálu, Δp je rozdíl částečných tlaků vodní páry, d je tloušťka materiálu, μ je faktor difúzního odporu, δ_o je součinitel difúzní vodivosti vzduchu a s_d je ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu.

Tyto vztahy uvažují pouze jednorozměrný hmotnostní tok vlhkost a to nejčastěji pouze ve směru kolmém na souvrství stavební konstrukce. 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, 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 č.1 a č.2 je znázorněna schematicky střešní konstrukce. Na prvním obrázku jsou střešní vrstvy s homogenními vlastnostmi. Na obrázcích č.2 je znázorněno porušení parotěsní vrstvy, což způsobí vícerozměrný transport vlhkosti do střešní konstrukce, dojde k vytvoření difúzního mostu v místě porušení parotěsní vrstvy a zvýší se tak transport vlhkosti do dalších vrstev střešní konstrukce.



Obr. 1 Schéma střešního pláště s homogenními materiály



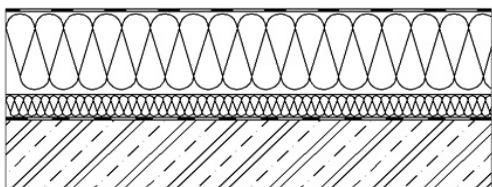
Obr. 2 Schéma střešního pláště s nehomogenními materiály

Výpočetní postupy popsány v českých normách ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4 nezohlední porušení materiálů (viz na obr.2), protože normový výpočetní postup nedokáže zohlednit vícerozměrný difúzní tok vlhkosti a bude proto docházet k nesprávnému vyhodnocení výsledků. Díky vícerozměrnému

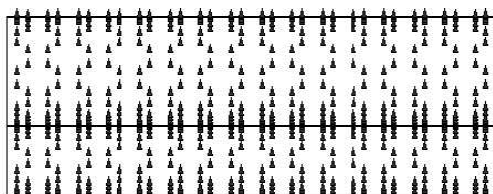
šíření vlhkosti v konstrukci nelze ani počítat množství vlhkosti, která se dostane do střešní konstrukce, váženým průměrem hodnot, vypočtených v místě celistvého střešního souvrství a v místě porušení střešních vrstev.

3. PŘÍKLADY DIFÚZNÍCH MOSTŮ

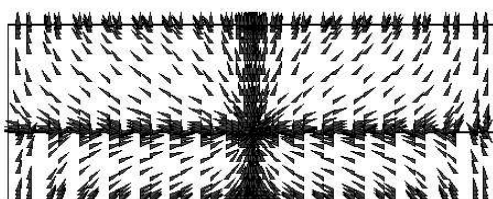
Difúzní mosty vznikají všude tam, kde jsou použité materiály ve stavební konstrukci nehomogenní nebo v místech stavebních detailů (napojení atiky, prostupy střešní konstrukcí, dilatace, atd). Na obrázcích 3a, 3b, 3c je znázorněna skladba klasické jednoplášťové konstrukce s parotěsnicí vrstvou.



Obr. 3a Skladba klasické jednoplášťové konstrukce z parotěsnicí vrstvou.



Obr. 3b Znázornění směru jedno-rozměrného difúzního toku vlhkosti. Střešní vrstvy jsou homogenní.



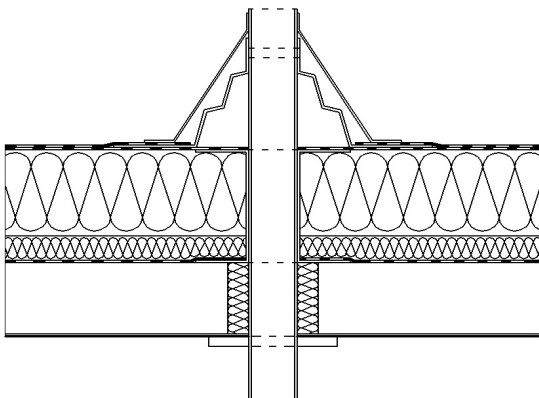
Obr. 3c Znázornění směru více-rozměrného difúzního toku vlhkosti. Dochází k difúznímu mostu v místě porušení parotěsnicí vrstvy

Na obrázku č.3b 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 normy.

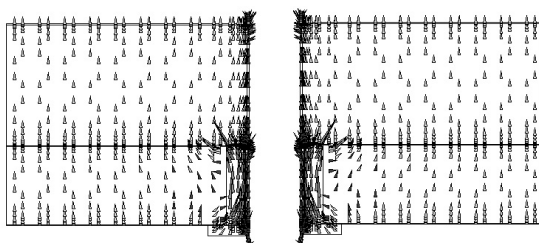
Na následujícím obr.3c taktéž zobrazen směr difúzního toku v případě, kdy je porušena parotěsnicí vrstva, k čemuž by mohlo dojít například nedbalostí při pokládání vrstvy, nebo nevhodným napojením dvou pásů. Na obrázku je jasně patrné, že hmotnostní tok vlhkosti se koncentruje v místě porušení parotěsnicí vrstvy. Vzniká zde difúzní most a do střešní konstrukce se dostává více vlhkosti než předpokládá současný normový výpočetní model.

Na obrázcích č.4a, 4b, 4c je zachycen detail při prostupu potrubí skrz střešní rovinu při použití ochranného prvku z kovu. Skladba konstrukce je shodná s obrázkem č.3a. Nejprve na obrázku č.4b je zobrazen směr difúzního toku v případě, že parotěsnicí vrstvu je správně 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 kolmo na střešní vrstvy, tak jak předpokládá normový výpočetní model. Na dalším obrázku č.4c je zobrazen stejný detail, tentokrát však není parotěsnicí vrstva

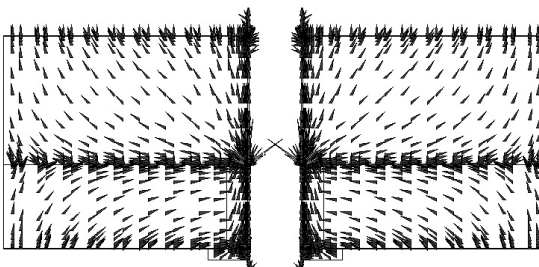
napojena k prostupujícímu potrubí. Dochází zde ke směřování difúzního toku vlhkosti k prostupujícímu potrubí a poté do střešního pláště. Difúzní tok vlhkosti v tomto případě není konstantní a do střešní konstrukce se dostane více vlhkosti než předpokládá současný normový výpočetní model.



Obr. 4a Detail prostupu potrubí skrz střešní rovinu při použití ochranného kovového prvku.



Obr.4b Detail prostupu potrubí – směr difúzního toku vlhkosti v případě, kdy je parozábrana parotěsně napojena na prostupující potrubí



Obr. 4c Detail prostupu potrubí – směr difúzního toku vlhkosti v případě, kdy parozábrana není parotěsně napojena na prostupující potrubí

Přesnější stanovení množství vlhkosti, která se dostane do stavební konstrukce, je možné následujícími způsoby:

- použít současný jednoduchý výpočetní model, ale zohlednit nehomogennitu materiálů pomocí koeficientů viz[3]. Koeficienty získat z experimentálního měření nehomogenních materiálů.
- použít kvalitního matematického modelu, který by dokázal při výpočtu zkonduované vlhkosti zohlednit nehomogennitu materiálů a vícerozměrného šíření hmotnostního toku vlhkosti.

4. ZÁVĚR

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

- 1) Zjistit difúzních vlastností materiálů s vysokou hodnotou difúzního odporu při malém podílu jejich proděravění.

- 2) Vytvořit odpovídající matematický model, který by dokázal zohlednit nehomogenitu materiálů při výpočtu zkondenzovaného množství vlhkosti.
- 3) Zajistit vysokou technologickou kázeň při pokládání a spojování jednotlivých pásů parozábran a jejich důkladnému napojení na prostupující prvky (omezení vlivu nehomogenity materiálů).
- 4) Při návrhu plochých jednoplášťových střech použít ke stabilizaci střešního pláště přednostně přitěžovací vrstvy nebo stabilizovat střešní plášť lepením.
- 5) Navrhnout střechy s obráceným pořadím vrstev, které při vhodně zvolené tloušťce tepelné izolace obvykle zcela vylučují kondenzaci vodních par ve střešním plášti (toto řešení není vždy konstrukčně možné).

Text byl zpracován za podpory FRVŠ G1/699/2005

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] KEIM, L., ŠÁLA, J. *Teplo? Teplo! Tepelná ochrana budov*. Praha: Stav-Inform, 1994. 201s. ISBN 80-85380-30-8
- [4] MRLÍK, F. *Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí*. Bratislava: Alfa, 1985. 269s.
- [5] BARTKO, M. Parotesná vrstva v skladbe plochej strechy z hradiska synergie. *Střechy, fasády, izolace*, 2000, roč. 7, č. 1, s. 14-15.
- [6] SLANINA, P. *Definování parotěsné vrstvy u plochých jednoplášťových střech*. Praha: ČVUT – FSv, 2003. 180s.
- [7] SLANINA, P., Parotěsná vrstva – terminologie, rozdělení, navrhování. *Tepelná ochrana budov*, 2004, roč. 7, č. 3, s. 13-16.
- [8] SLANINA, P. Parozábrany v plochých střechách. *Střechy, fasády, izolace*, 2004, roč. 11, č. 10, s. 40 – 42.
- [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*.