

Parozábrany v plochých střeších

Ing. Petr Slanina

1. Úvod

Při navrhování jednoplášťových plochých střeš s klasickým pořadím vrstev nad prostory s tepelnými požadavky je nezbytné navrhnou ve střešním plášti i vrstvu parotěsnicí, která zabraňuje nadměrnému šíření vlhkosti z interiéru do dalších vrstev střešního pláště, kde by v důsledku poklesu teploty došlo ke kondenzaci vodní páry. Nadměrné množství zkondenzované 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 celého střešního pláště.

2. Veličiny popisující difúzní vlastnosti parozábran

Nejdůležitější vlastností každého výrobku používaného pro parotěsnicí vrstvu je jeho propustnost pro vodní páru, která může být vyjádřena několika veličinami:

- 1) Součinitel difúze vodní páry materiálu δ_p [$\text{kg}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$], vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí.
- 2) Faktor difúzního odporu μ [-], vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí. Je poměrem difúzního odporu materiálu a difúzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce při definovaných podmínkách.
- 3) Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m], vyjadřuje ekvivalentní difúzní tloušťku vrstvy vzduchu, která by kladla stejný difúzní odpor jako tloušťka vrstvy konstrukce.

Vzájemné vztahy veličin jsou následující:

$$s_d = \mu d = \frac{\delta_o}{\delta_p} d = \frac{d}{N \delta_p} \quad [\text{m}]$$

kde d [m] je tloušťka materiálu.

δ_o [$\text{kg}/(\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m})$] je součinitel difúze vodní páry ve vzduchu. Hodnota součinitele závisí na teplotě a barometrickém tlaku, ale tyto vlivy jsou v normě ČSN EN ISO 13788 zanedbány a je uvažováno s hodnotou $\delta_o = 2 \times 10^{-10}$ [$\text{kg}/(\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m})$].

N [s^{-1}] je teplotní difúzní funkce, která závisí na teplotě a barometrickém tlaku a její hodnoty jsou tabelizovány.

3. Navržení parotěsnicí vrstvy

Hlavní funkcí parotěsnicí vrstvy je zabránit nadměrnému šíření vlhkosti z interiéru do dalších vrstev střešního pláště, kde by v důsledku poklesu teploty došlo ke kondenzaci vodní páry. Parotěsnicí vrstva se proto umísťuje co nejbližší k vnitřnímu prostředí. Nesmí se umísťovat pod vrstvy se zabudovanou vlhkostí (například monolitické spádové vrstvy), neboť vypařování vlhkosti by bylo problematické a v některých případech i nemožné. Pro spolehlivou funkci musí být tato vrstva parotěsně napojena na všechny prostupující obvodové konstrukce a prvky. Použitím parotěsnicí vrstvy se snižuje průvzdušnost konstrukce, což se kladně projeví hlavně u lehkých střešních konstrukcí. Parotěsnicí vrstva může taktéž plnit funkci dočasné hydroizolace například v průběhu výstavby objektu, ale pouze pokud materiály na ní použité odolají povětrnostním vlivům.

Parotěsnicí vrstva by se měla navrhovat nad prostorem s tepelnými požadavky tak, aby byly splněny požadavky normy ČSN 730540-2:2002, vyhlášek MMR č. 137/1998 Sb., MPO č. 291/2001 Sb. a zákona č. 406/2000 Sb. na množství zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukce.

Zkondenzované množství vodní páry se prokazuje výpočtem po měsících podle normy ČSN EN ISO 13788. Pokud nejsou dostatečně známy návrhové klimatické hodnoty může se výpočet provést podle normy ČSN 730540-4.

Výpočet podle ČSN EN ISO 13788 lépe simuluje chování vlhkosti v průběhu roku, než výpočet podle původní české normy ČSN 730540-4. Přesto je počítáno s jednoduchým výpočtním modelem a dosažené výsledky často neodpovídají reálnému stavu. Je to dáno zanedbáním několika vlivů, které norma opomíjí:

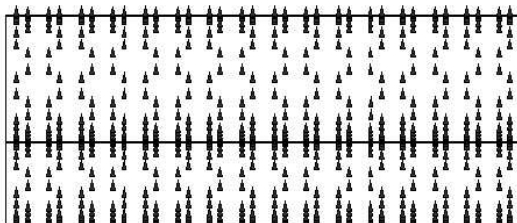
- a) Skutečné okrajové podmínky nejsou během měsíce konstantní.
- b) Jsou zanedbávána působení solárního a dlouhovlnného záření.
- c) Déšť nebo tající sníh mohou také ovlivnit vlhkostní podmínky v konstrukci.
- d) Použití konstantních vlastností materiálů je přibližné.
- e) Je uvažováno s jednorozměrným šířením vlhkosti.
- f) Součinitel tepelné vodivosti závisí na obsahu vlhkosti a teplo je uvolňováno/akumulováno při kondenzaci/vypařování. To mění rozložení teplot v konstrukci, což má vliv na zkondenzované/vypařené množství.
- g) Pohyb vzduchu trhlinami nebo ve vzduchových dutinách může způsobovat rozložení vlhkosti podle proudění vzduchu.

Vlivy a) až c) jsou zpravidla na straně bezpečnosti. Ostatní vlivy vedou ke zvýšení vlhkosti, která se dostane do střešního pláště, kde pak dochází k vyšší kondenzaci než předpokládá jednoduchý výpočtový model podle normy.

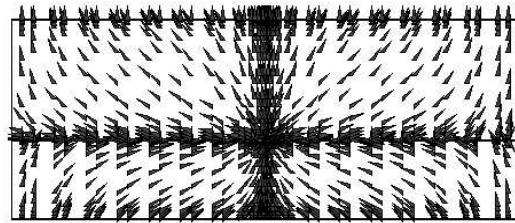
Nejvýraznější přírůstek vlhkosti, která se dostane do střešního souvrství oproti výpočtnímu modelu, je díky nehomogenním vlastnostem parotěsnicí vrstvy. K této nehomogenitě může dojít z několika příčin:

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

Vlivem nehomogenních vlastností parotěsnicí vrstvy, dojde k výraznému zvýšení vlhkosti, které se dostane do střešního souvrství. Toto zvýšené množství se neprojeví v jednoduchém výpočtovém modelu podle normy, neboť bude docházet k vícerozměrnému šíření vlhkosti, které norma neuvažuje. Vznikají tak „vlhkostní mosty“, které jsou analogické k tepelným mostům. Na následujících obrázcích je znázorněna skladba jednoplášťové střešní konstrukce s klasickým pořadím vrstev. V jednom případě je parozábrana homogenní a dochází tak k jednorozměrnému šíření vlhkosti. Ve druhém případě je v parozábraně otvor a tudíž dochází k vícerozměrnému šíření vlhkosti ve střešním plášti a v místě proděravění vzniká vlhkostní most.



Obr.3 Jednorozměrné šíření vlhkosti – parozábrana je neporušena



Obr.4 Dvojezměrné šíření vlhkosti – parozábrana je perforována a vzniká tak „vlhkostní most“

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 [2] 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.“

V [3] jsou vyjádřeny difúzní vlastnosti nehomogenní parotěsnící vrstvy pomocí součinitele podmínek působení, který má hodnotu $z < 1$. Jeho hodnota byla stanovena na základě experimentálního měření prováděné ve VUPS Zlín profesorem F. Mrlíkem. Návrhová hodnota faktoru difúzního odporu pro nehomogenní parotěsnící vrstvu se vypočte z následujícího vztahu,

$$\mu_p = z \cdot \mu_n$$

kde μ_p [-] je návrhová hodnota faktoru difúzního odporu nehomogenního materiálu
 μ_n [-] je normová hodnota faktoru difúzního odporu homogenního materiálu
 z [-] je součinitel podmínek působení

Součinitel podmínek působení je uveden pouze pro PE fólie tloušťky $d = 0,085$ mm. Jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 1-3 v závislosti na způsobu proděravění a na procentu podílu proděravěné plochy.

| Počet spon na 1 m ² | Souč. pod. působení z_{spony} |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 1,00 |
| 50 | 0,35 |
| 100 | 0,18 |

Tab.1 Součinitel podmínek působení z_{spony} zahrnující vliv porušení PE fólie sponkami prošitými skrz

| Podíl plochy otvorů k celkové ploše v % | Souč. pod. působení z_{hreb1} |
|---|---------------------------------|
| 0,0 | 1,00 |
| 0,1 | 0,30 |
| 0,2 | 0,08 |
| 0,3 | 0,06 |
| 0,4 | 0,03 |
| 0,6 | 0,02 |
| 1,0 | 0,01 |

Tab.2 Součinitel podmínek působení $z_{hreb,1}$ zahrnující vliv probití PE fólie hřebíky sevřené mezi deskové

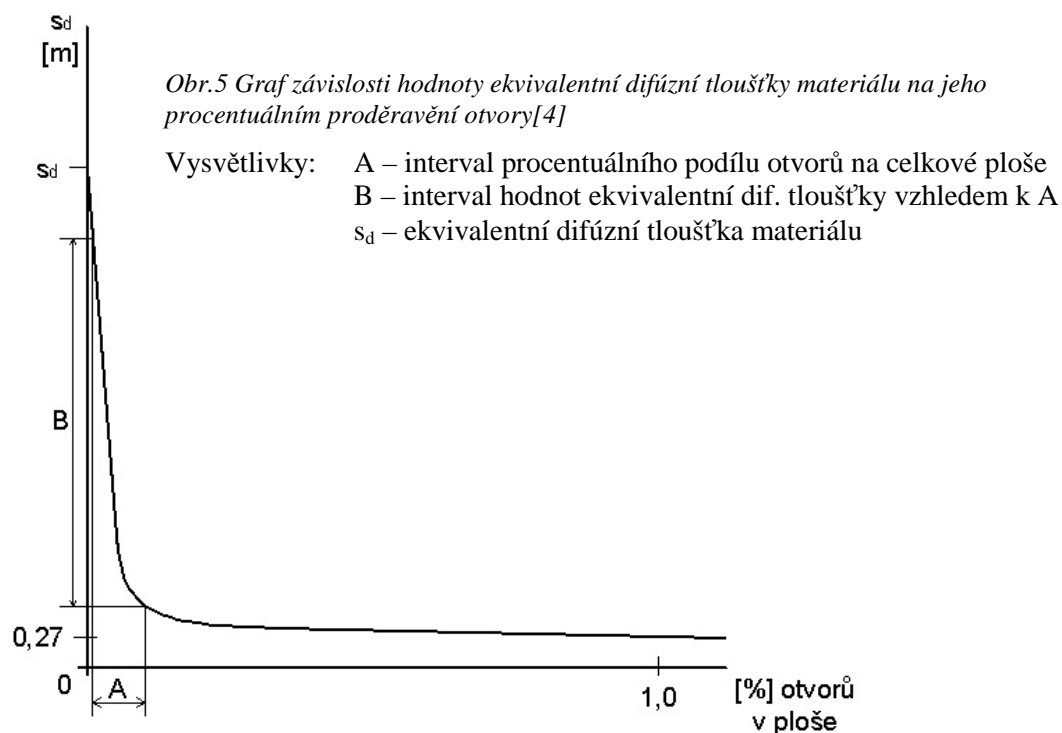
| Podíl plochy otvorů k celkové ploše v % | Souč. pod. působení z_{hreb2} |
|---|---------------------------------|
| 0,0 | 1,00 |
| 0,1 | 0,70 |
| 0,2 | 0,60 |
| 0,3 | 0,45 |
| 0,4 | 0,30 |
| 0,6 | 0,20 |

| | |
|-----|------|
| 1,0 | 0,10 |
|-----|------|

Tab.3 Součinitel podmínek působení $z_{hreb,2}$ zahrnující vliv probití PE fólie hřebíky s hlavičkou na straně fólie.

Způsob stanovení difúzních vlastností proděravěných parozábran použitím součinitele podmínek působení je velmi zjednodušený a vypočtené návrhové hodnoty pro parotěsňicí vrstvu jsou pouze orientační. Tento způsob neumožňuje zjištění difúzních vlastností parozábran při procentu proděravěné plochy pod 0,1% a problémem je i zjištění difúzních vlastností pro jiné proděravěné parozábrany, hlavně pro ty které budou mít výrazně vyšší hodnotou ekvivalentní difúzní tloušťky než PE fólie.

Problematické stanovení hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky nehomogenní vrstvy hlavně při malém procentu proděravění je znázorněno na následujícím grafu. 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.



5. Výsledky měření difúzních vlastností proděravěných parozábran

Stanovení hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky nehomogenní vrstvy se nedá stanovit analytickým výpočtem a je zapotřebí použít numerických metod nebo laboratorní měření difúze. Z výsledků měření, které byly provedené prof. Dr. W. Bauera (Stavební Akademie NDR)[5] tab.4 plyne, že hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky klesá v závislosti na velikosti proděravěné plochy procentuálně rychleji u materiálů s vyšším difúzním odporem.

| Podíl plochy otvorů k celkové ploše | Hliníkový plech $d = 1 \text{ mm}$ | PVC fólie $d = 0,16 \text{ mm}$ | Laminátové desky $d = 4,1 \text{ mm}$ |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|--|
| [%] | Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m] (%) | | |
| 0 | 54,00 (100 %) | 14,24 (100 %) | 0,45 (100 %) |

| | | | |
|------|--|---------------|----------------|
| 0,03 | 5,00 (9,26 %) | 3,00 (21,07%) | 0,44 (97,78 %) |
| 0,3 | 0,60 (1,11 %) | 0,40 (2,81 %) | 0,34 (75,56 %) |
| 0,5 | 0,47 (0,87 %) | 0,33 (2,81 %) | 0,31 (68,89 %) |
| - | <i>Dále se již uvádí s_d pro materiály společně</i> | | |
| 1 | 0,27 | | |
| 1,5 | 0,24 | | |
| 2 | 0,22 | | |
| 3 | 0,19 | | |
| 5 | 0,15 | | |
| 10 | 0,08 | | |

Tab.4 Hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky proděravěných materiálů[5].

Bohužel z tab.4 nelze stanovit hodnotu ekvivalentní tloušťky proděravěných parozábran v případě, že procento otvorů je menší než 0,03%. Přitom procento proděravěné plochy u kotveného střešního souvrství se pohybuje cca 0,001% - 0,02% v závislosti na způsobu kotvení. Dále je problematické stanovení hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky proděravěných parozábran, které mají hodnotu ekvivalentní difúzní tloušťky několikrát vyšší než zde uvedený hliníkový plech.

V laboratořích FSv v rámci [4] bylo provedeno měření hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky proděravěných parozábran. V následujícím tab.5 jsou uvedeny výsledky měření pomocí metody Wet-Cup parozábran, jejichž proděravěná plocha byla 0,125% z celkové plochy vzorku.

| Název výrobku | Výrobce | Druh vzorku | Naměřená ekvivalentní dif. tloušťka s_d [m] | | % |
|---------------|----------|-----------------|---|----------|-----|
| | | | bez otvorů | s otvory | |
| Menitex | Sarnafil | fólie – proděr. | 52,41 | 2,86 | 5,3 |
| PE-LD | Sarnafil | fólie – proděr. | 52,41 | 2,45 | 4,7 |

Tab. 5 Naměřené hodnoty ekvivalentní dif. tloušťky proděravěných parotěsnících fólií.

Dále byly měřeny parozábrany proděravěné nasimulovaným kotevním prvkem. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.

| Název výrobku | Výrobce | Druh vzorku | Ekvivalentní dif. tloušťka s_d [m] | | % |
|------------------|----------|--------------------|--------------------------------------|----------|------|
| | | | dle výrobce | naměřené | |
| Parafor Solo S/4 | Siplast | A. pás SBS + kotva | 200 | min 91,9 | 46,0 |
| Sklobit | Icopal | A. pás ox + kotva | 140 | 46,0 | 32,9 |
| Sarnavap 2000 | Sarnafil | fólie + kotva. | 306 | 2,31 | 0,8 |
| Menitex | Sarnafil | fólie + kotva. | 154 | 1,17 | 0,8 |
| PE-LD | Sarnafil | fólie + kotva | 108 | 2,31 | 2,1 |

Tab.6 Naměřené hodnoty ekvivalentní dif. tloušťky proděravěných asfaltových pásů kotevním prvkem.

Z výsledků plyne výrazný pokles hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky proděravěných parozábran. Větší pokles hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky u parotěsnících fólií než u asfaltových pásů může být způsoben lepším zatažením asfaltového pásu kolem dřívku kotvy a nebo vznikem většího otvoru při provrtání přiklepovou vrtačkou u parotěsnících fólií. Měření probíhalo na vzorcích o velikosti plochy 0,002 m² respektive 0,008m². Při této malé ploše zkušebních vzorků se vícerozměrné šíření vlhkosti zcela neprojeví.

Výše uvedené výsledky měření mohou být zatíženy chybou, neboť měření hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky probíhalo pouze jednou pro každý výrobek. V dalším výzkumu

difúzních vlastností parozábran, které upřesní dosavadní měření, se bude i nadále pokračovat.

6. Závěr

- 1) Doporučuji se zaměřit na zjištění difúzních vlastností parotěsníci vrstvy při malém podílu proděravění, které by odpovídalo procentu proděravění u kotveného střešního souvrství a změřit na difúzní vlastnosti proděravěných parozábran, které budou mít hodnotu ekvivalentní difúzní tloušťky výrazně vyšší než $s_d = 100$ m.
- 2) Při proděravění výrobků s vysokým difúzním odporem (např. parozábran) bude ve střešní konstrukci docházet k vícerozměrnému šíření vlhkosti. Budou tak vznikat „vlhkostní mosty“ a hmotnostní tok vlhkosti směřující do stavební konstrukce se zvýší nad rámec výpočtového modelu uvedeném v normě ČSN EN ISO 13788 nebo ČSN 730540-4.
- 3) Vzhledem ke zvýšení vlhkosti, která se dostane do střešního souvrství díky nehomogennitě materiálu, je důležité zajistit vysokou technologickou kázeň při pokládání a spojování jednotlivých pásů parozábran a jejich důkladnému napojení na prostupující prvky.
- 4) Při navrhování plochých jednoplášťových střech s klasickým pořadím vrstev používat ke stabilizaci střešního pláště přednostně přitěžovací vrstvy nebo jednotlivé střešní vrstvy lepit mezi sebou a vyhnout se tak kotvení střešního souvrství, které by perforovalo parozábranu.
- 5) Upřednostnit návrh střechy s obráceným pořadím vrstev, která při vhodně zvolené tloušťce tepelné izolace obvykle zcela vylučuje kondenzaci vodních par ve střešním plášti (toto řešení není vždy konstrukčně možné).

Text byl zpracován za podpory MSM 210000001

Literatura

- [1] HANZALOVÁ, L., ŠILAROVÁ, Š. a kolektiv. *Ploché střechy - navrhování a sanace*. Praha: Public History, 2001. 397s. ISBN 80-86445-08-9.
- [2] CHALOUPKA, K., ŠÁLA, J. *Ploché střechy a pěnový polystyren, Izolační praxe 3*. Praha: Sdružení EPS, 2002
- [3] KEIM, L., ŠÁLA, J. *Teplo? Teplo! Tepelná ochrana budov*. Praha: Stav-Inform, 1994. 201s. ISBN 80-85380-30-8
- [4] SLANINA, P. *Definování parotěsné vrstvy u plochých jednoplášťových střech*. Praha: ČVUT – FSv, 2003. 180s.
- [5] MRLÍK, F. *Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí*. Bratislava: Alfa, 1985. 269s.
- [6] CHALOUPKA, K. *Jak parotěsná je parozábrana v ploché střeše?* [online]. 2004, poslední revize 10.12.2003. Dostupné z: <<http://www.strechaspecial.cz/text13.html>>
- [7] SLANINA, P., ŠILAROVÁ, S. Vliv kotvení parotěsné vrstvy na její vlastnosti. In *Tepelná ochrana budov 2004*. 11. Mezinárodní konference, Praha, 2004. s.99–103.
- [8] ČSN 730540-1-4 : 2002 *Tepelná ochrana budov – Část 1 až Část 4*
- [9] ČSN 731901 : 1999. *Navrhování střech – Základní ustanovení*.

[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 prof. Ing. Jozef Oláh, PhD.

Popisy k jednotlivým obrázkům

Obr.1 Halový objekt s lehkou jednoplášťovou střešní konstrukcí na trapézovém plechu při pokládání parotěsnící a tepelně izolační vrstvy.

Obr.2 Halový objekt s lehkou jednoplášťovou střešní konstrukcí na trapézovém plechu při závěrečném pokládání hydroizolační vrstvy.

Obr.6 Vzorky parozábran připravené k měření pomocí metody Wet-Cup. V hrdle hliníkové misky je osazen vzorek parozábran. Uvnitř misky je roztok dihydrogenfosforečnanu amonného $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, který udržuje relativní vlhkost vzduchu uvnitř misky 93%. Misky se posléze vloží do exsikátoru, v kterém bude udržována relativní vlhkost vzduchu 50%.

Obr.7 Měření difúzních vlastností parozábran pomocí metody Wet-Cup. Uvnitř exsikátorů jsou uloženy hliníkové misky se vzorky. Relativní vlhkost vzduchu uvnitř exsikátoru je 50% díky nasycenému roztoku $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Při stejné teplotě bude vlhkost difundovat z prostředí misky tedy z prostředí s vyšší relativní vlhkostí do prostředí exsikátoru. Z měření úbytku hmotnosti misky se vypočtou difúzní vlastnosti vzorků parozábran.