

Feltöltési idő számítása páradiffúziós ellenőrzés során

Determination the time to reach equilibrium at vapour diffusion calculation

Dr. FÜLÖP László, PhD

Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék,
7624 Pécs, Boszorkány u. 2. Honlap: <https://mik.pte.hu/>
E-mail: fulop.laszlo@mik.pte.hu

Abstract

During the vapor diffusion examination of building structures, the first step is to calculate the distribution of partial vapor pressure and saturation pressure in the cross section of the structure. assuming a steady state condition. If during this we get the result that there is condensation in the structure, then we calculate the time to reach equilibrium state, based on the moisture absorption capacity of the structure. If this time is longer than the heating period, then the structure is applicable because it does not reach the saturated state. During the calculation of the time to reach equilibrium state, the vapour flow entering the structure is taken as if it were the vapour flow according to the dimensioning condition for the entire time, but this does not correspond to reality. This article presents a procedure that takes into account that the outside temperature and humidity change during the heating season. The presented calculation is not more complicated than the one set in the standard, but the result is more realistic.

Keywords: vapor diffusion examination, vapour flow, time to reach equilibrium state, vapour balance, pressure difference cumulation

Kivonat

Az épületszerkezetek páradiffúziós ellenőrzése során első lépésben kiszámítjuk a parciális párányomás és a telítési nyomás eloszlást a szerkezet keresztmetszetében. állandósult állapot feltételezésével. Ha ennek során azt az eredményt kapjuk, hogy a szerkezetben páralecsapódás van, akkor kiszámítjuk a feltöltési időt, ami az egyensúlyi állapot eléréséhez szükséges idő, a szerkezet nedvességfelvevő képessége alapján. Ha ez az idő hosszabb, mint a fűtési időszak, akkor a szerkezet megfelel, mivel nem éri el a telített állapotot. A feltöltési idő számítása során a szerkezetbe jutó páraáramot úgy vesszük, mint ha a teljes időben a méretezési állapot szerinti páraáram lenne, ez azonban nem felel meg a valóságnak. Jelen cikk bemutat egy olyan eljárást, ami figyelembe veszi, hogy a külső hőmérséklet és páratartalom változik a fűtési idény során. A bemutatott számítás nem bonyolultabb, mint a szabvány szerinti, ugyanakkor az eredménye realisabb.

Kulcsszavak: páradiffúziós számítás, páraáram, feltöltési idő, nedvességmérleg módszer, párányomás különbség összegzés módszer

1. A JELENLEG HATÁLYOS PÁRADIFFÚZIÓS SZÁMÍTÁSI ELJÁRÁS

A hatályos szabvány szerint a páradiffúziós számítást -2°C külső hőmérséklet feltételezésével kell elvégezni, ez a méretezési állapot, a megfelelő kockázati szint. A méretezési belső légállapot felvételével kiszámítjuk a határoló szerkezetben a réteghatár hőmérsékleteket és a párányomásokat a réteghatárokon. A hőmérsékletekből következnek a telítési párányomások. Diagramban ábrázoljuk a telítési nyomás és a parciális párányomás eloszlást és megnézzük, hogy a parciális párányomás mindenütt a telítési nyomás alatt marad-e. Ha igen, és nincs a rétegrendben nedvességre különösen érzékeny anyag, mint például szálalás hőszigetelés vagy faanyag, akkor rendben is van, megépíthető a szerkezet. Ha van nedvességre érzékeny anyag, akkor azt kell megnézni, hogy a relatív páratartalom nem megy-e 75% fölé, ami a kapilláris

kondenzáció határa. A relatív páratartalom eloszlást meg tudjuk határozni, hiszen az nem más, mint a parciális párányomás osztva a telítési nyomással.

Ha viszont a parciális párányomás eléri a telítési nyomást, akkor van kondenzáció. Az MSZ-04-140/2:1991 előtti változataiban itt meg is állt a számítás, de a tapasztalat szerint nem volt mindig ténylegesen nedvesedés, amikor a számítás páralecsapódást jelzett.

1.1. Az instacioner folyamat közelítése

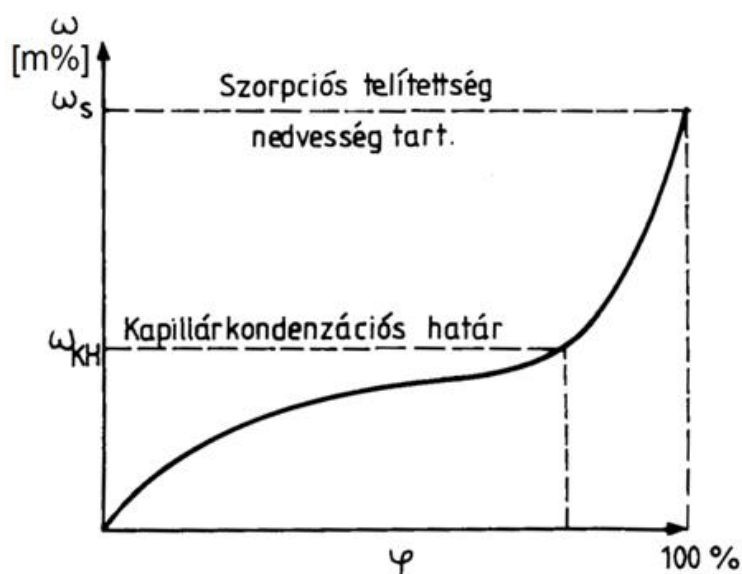
A számítás kiinduló peremfeltételei szerint egydimenziós, stacioner, forrásmentes esetről van szó. Ha viszont van kondenzáció, akkor nem forrásmentes, hiszen a bejutott pára egy része nem megy ki a másik oldalon, hanem lecsapódik és víz formájában a szerkezetben marad. A szerkezetben negatív forrás, nyelő van. Azt, hogy nem stacioner eset, már a számítás elején tudtuk, hiszen a hőmérséklet folyamatosan változik a szerkezet mindkét oldalán. Belül kis, kívül nagy mértékben. Tehát a réteghatár hőmérsékletek, ebből következően a telítési nyomás eloszlás folyamatosan változik. Természetesen a páraáram sűrűség és a parciális párányomások is folyamatosan változnak. Ezt az instacioner folyamatot többféle módon lehet közelíteni.

Van olyan eljárás, amely szerint azt kell kiszámítani, hogy télen mennyi nedvesség jut be (természetesen belülről) és nyáron mennyi távozik, természetesen mindkét irányban. Ha több nedvesség távozik nyáron, mint amennyi bejut télen, akkor a szerkezet évről-évre szárad, ellenkező esetben évről-évre nedvesedik. Ez éves nedvességmérleg.

Az MSZ-04-140/2:1991 szabványban a feltöltési idő számítás jelent meg a valóságos, azaz instacioner folyamat közelítésre. Kiszámítjuk a feltöltési időt, ami az egyensúlyi állapot eléréséhez szükséges idő, és ha ez hosszabb, mint a fűtési idény, akkor nem következik be a páralecsapódás, azaz megfelel a rétegrend. Ellenkező esetben viszont át kell tervezni.

1.2. A feltöltési idő számítása

A szerkezeti rétegekben bekövetkező nedvességtartalom változás kiszámításához szükség van az anyagok szorpciós izotermájára, ami az adott anyag nedvességtartalmát mutatja meg tömegszázalékban a relatív páratartalom függvényében.



1. ábra. Szorpciós izoterma

Meghatározzuk a nedvességtartalmat egyensúlyi állapotban és ebből kivonjuk a kezdeti nedvességtartalmat, ez a nedvességtartalom növekedés a fűtési szezon kezdetétől az egyensúlyi állapotig

$$\Delta \omega = \omega_{\text{egyensúlyi}} - \omega_{\text{kezdeti}} \quad [\text{m}\%]$$

A fűtési szezon elején a relatív páratartalom 60% a szerkezet teljes keresztmetszetében. Erre az állapotra olvassunk le a nedvességtartalmat a szorpciós izotermáról.

Egy szerkezeti réteg fajlagos tömege:

$$m = d \cdot \rho \quad [\text{kg/m}^2]$$

Ahol

d = a szerkezeti réteg vastagsága [m]

ρ = a szerkezeti réteg sűrűsége [kg/m^3]

Ezzel a víztartalom változása az adott rétegben:

$$\Delta m_v = m \frac{\Delta \omega}{100} \quad [\text{kg/m}^2]$$

Az egyes szerkezeti rétegben bekövetkező nedvességtartalom változás összege:

$$\sum \Delta m_v = \Delta m_{v1} + \Delta m_{v2} \dots \Delta m_{vn}$$

A feltöltési idő:

$$\tau_t = \frac{\sum \Delta m_v \cdot 1000}{g \cdot 3600} \quad [h]$$

Ahol

τ_t = feltöltési idő [h]

Δm_v = nedvességtartalom változás az egyensúlyi állapotig egy rétegben [kg/m^2]

$\sum \Delta m_v$ = az egyes szerkezeti rétegben bekövetkező nedvességtartalom változás összege, azaz a szerkezet nedvességfelvétele [kg/m^2]

g = páraáram sűrűség méretezési állapotban ($t_e = -2^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 90\%$) [g/s m^2]

$$g = \frac{p_i - p_e}{\Sigma R_v} \quad [\text{g/s m}^2]$$

Ahol

p_i = belső oldali párányomás méretezési állapotban [Pa]

p_e = külső oldali párányomás méretezési állapotban ($t_e = -2^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 90\%$) [Pa]

ΣR_v = a szerkezet összesített páraellenállása [$\text{s Pa m}^2/\text{g}$]

Tehát az 1991-ben megjelent szabvány módosítás jelentős előrelépést jelentett azzal, hogy közelítő megoldást adott a folyamat időbeliségének figyelembe vételéhez, de eléggé leegyszerűsítve kezeli a szerkezetbe jutó páramennyiség kiszámításának a módját. Megjegyzendő, hogy az akkori számítástechnikai lehetőségek messze elmaradtak a maiak mögött. Épp, hogy túl voltunk a logarléc korszakon. A számológép már elterjedt, de a számítógép még ritkaság volt, tehát csak olyan eljárás jöhetett számításba, ami számológéppel elvégezhető.

Ebben a számításban az a gond, hogy mivel p_i és p_e méretezési állapotra vonatkozik, ezért a „g” páraáram sűrűség is, ami több mint a fűtési szezon átlaga. A fűtési idény nagy részében ennél magasabb a külső hőmérséklet. Ezáltal a külső oldali abszolút páratartalom magasabb, tehát a párányomás különbség kisebb, ezzel a páraáram sűrűség is kisebb. Így a feltöltési idő rövidebbre adódik, mintha a fűtési szezon átlagára számítottuk volna. A fűtési szezon átlagos nyomáskülönbségének kiszámításához szükség van a tipikus meteorológiai évre (TMY), ami akkoriban nem állt rendelkezésre. (A TMY minden egyes órájának az adatai tényleges mért értékek, de olyan hónapokat tartalmaznak, amelyek átlagértékei megegyeznek a hosszú távú havi átlagokkal. Így aztán a TMY jellemzően nem egy bizonyos év, hanem különböző évekből válogatott hónapok adatait tartalmazza.)

Nehéz szerkezeteknél ez a túlméretezés nem gond, mert a feltöltési idő bőven hosszabbra szokott kijönni, mint a fűtési idény. Könnyebb szerkezetek (mint pl üreges, porózus falazóblokkok) párafellevő képessége viszont kisebb, így a feltöltési idő gyakran rövidebbre jön ki, tehát nem felel meg. Ugyanakkor nem kizárt, hogy ami az ellenőrzés szerint nem felel meg, az a valóságban megfelel. (Persze, vannak -2°C alatti hőmérsékletek is, amikor pedig nagyobb lesz a páraáram, ráadásul alacsonyabbak a réteghőmérsékletek!) Tehát ki kellene számítani az egész szezonra, hogy lássuk, mennyi a tényleges nedvesség mennyiség!

2. A NEDVESSÉGMÉRLEG MÓDSZER

A szabvány szerinti eljárást finomítani kellene, hogy ne minősítsen rossznak olyan szerkezetet, ami nem az.

A mai számítástechnikai háttérrel már nem gond egy egyszerű szimulációt elkészíteni, akár Excel számolótáblában is megoldható. Az időjárás adatok egy tipikus meteorológiai évre (TMY) órai bontásban a GIS honlapon elérhetők az ország egész területére. Ha tehát egy számolótáblába beillesztjük a külső és belső hőmérséklet és páratartalom adatokat úgy, hogy a sorok a fűtési szezon egyes óráinak az adatait tartalmazzák (4400 óra, tehát 4400 sor), akkor ebben ki tudjuk számítani a párányomásokat és páraáram sűrűséget minden egyes órára.

$$g_{\text{órai}} = \frac{\bar{p}_l - \bar{p}_e}{3,6 \Sigma R_v} \quad [\text{kg/h m}^2]$$

Ahol

$g_{\text{órai}}$ = páraáram sűrűség az adott órában [kg/h m²]

\bar{p}_l = belső oldali párányomás órai átlaga [Pa]

\bar{p}_e = külső oldali párányomás órai átlaga [Pa]

ΣR_v = a szerkezet összesített páraellenállása [s Pa m²/g]

Megjegyzés: a 3,6 szorzó az átváltás a másodperc és óra valamint a gramm és a kilogramm között

Elvégezve a számítást a fűtési szezon összes órájára az órai értékek összeadhatók.

$$g_{\text{szezon}} = \Sigma g_{\text{órai}} \quad [\text{kg/m}^2]$$

Ez lesz a fűtési idényben a szerkezetbe jutó összes páramennyiség. Ezt lehet összehasonlítani a szerkezet nedvességtároló képességével. Ha a szerkezetbe jutó páramennyiség kevesebb, mint a szerkezet nedvességfelvevő képessége, akkor megfelel. Ellenkező esetben nem felel meg.

$$\text{Ha } g_{\text{szezon}} < \Sigma \Delta m_v \text{ akkor a szerkezet megfelel}$$

Ahol

$\Sigma \Delta m_v$ = a szerkezeti rétegekbe a telítési állapotig bejutó nedvességtartalom összege [kg/m²]

$\Sigma \Delta m_v$ tulajdonképpen a szerkezet nedvességfelvevő képessége az őszi 60% relatív páratartalomtól kiindulva a telítési állapotig. A bejutó nedvességnek ez alatt kell maradnia.

Tehát nem a feltöltési időt hasonlítjuk a fűtési idény hosszához, hanem nedvességmérleget készítünk. A végeredmény ugyanaz, de a nedvességmérleg módszerrel lehetőség van a szerkezetbe jutó nedvesség pontosabb meghatározására azzal, hogy nem csak méretezési állapotra határozza meg a szerkezetbe jutó nedvességet, hanem a fűtési idény minden egyes órájára.

3. A SZÁMÍTÁSI MÓDSZER EGYSZERŰSÍTÉSE A GYAKORLATI ALKALMAZÁSHOZ

Valójában nincs is szükség arra, hogy a páraáram számítását végezzük el minden órára. Elegendő, ha a belső-külső párányomás különbségeket adjuk össze, mint, ahogy a hőmérséklet-különbségeket összeadjuk, amikor a fűtési hőfokhidat képezzük. Ott a mértékegység h·K (régebben napfok) itt pedig h·Pa

A fűtési hőfokhid:

$$G = \Sigma (\bar{t}_l - \bar{t}_e) \quad [\text{hK}]$$

Ahol

G = fűtési hőfokhid [hK]

\bar{t}_l = órai belső átlaghőmérséklet [K vagy °C]

\bar{t}_e = órai külső átlaghőmérséklet [K vagy °C]

Ugyanez az eljárás a párányomás különbségek összegzésére:

$$\Sigma \Delta p = \sum (\bar{p}_i - \bar{p}_e) \text{ [hPa]}$$

Ahol

$\Sigma \Delta p$ = párányomás különbségek összege [h Pa]

\bar{p}_i = órai belső átlagos párányomás [Pa]

\bar{p}_e = órai külső átlagos párányomás [Pa]

Az így kapott nyomáskülönbség-összeg értéket osztjuk a szerkezet páraellenállásával és megkapjuk a fűtési szezonban a szerkezetbe jutó nedvesség értékét.

$$g_{\text{szekon}} = \frac{\Sigma \Delta p}{3,6 \Sigma R_v} \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Ahol

ΣR_v = a szerkezet összesített páraellenállása [s Pa m²/g]

(Megjegyzés: a 3,6 szorzó a [s Pa m²/g] átváltása [h Pa m²/kg] mértékegységre)

Ugyanoda jutottunk, mint amikor a páraáramokat számoltuk ki a fűtési idény minden egyes órájára és azokat adtuk össze.

A nyomáskülönbség-összeg értéket egyszer kell kiszámítani egy régióra (mint ahogy a hőfokhidat is) utána a páradiffúziós számításokban már egyetlen osztással megkapjuk a szerkezetbe jutó páramennyiséget.

Így ez a számítás az MSZ-24140:2015 szabvány szerinti eljárásba könnyen beilleszthető, mindössze a szerkezetbe jutó nedvesség mennyiség számítása változik, valamint az értékelés módja (idő összehasonlítás helyett nedvesség mennyiségek összehasonlítása).

4. PÉLDA A PÁRANYOMÁS KÜLÖNBSÉGEK ÖSSZEGZÉSÉRE

A párányomás különbségek összegzését elkészítettem Pécsre $t_i = 20^\circ\text{C}$ és $\varphi_i = 65\%$ légállapotra

A belső légállapotot állandónak vettem, de tovább lehet finomítani azzal, hogy éjszakára alacsonyabb hőmérsékletet veszünk, mint nappalra. Ha még finomabb számítást akarunk, akkor a belső páratartalom napon belüli változását is bele lehet venni.

Ennek alapján a párányomás különbségek összege $3.366 \cdot 10^6$ h·Pa 182 napra, azaz 4368 órára számítva

Mintapélda: Üreges égetett kerámia falazóblokk külső oldalon hőszigetelve. A számítás eredményeinek összefoglalása.

A szabvány szerinti adatokkal számítva:

1. táblázat

| | | |
|--|---------|------------------------------|
| $g =$ | 45,304 | 10^{-6} g/m ² s |
| 1 órára: | 243 720 | 10^{-6} g/m ² h |
| Fűtési idény: | 4368 | óra |
| A bejutó nedvesség, ha a -2°C hőmérsékleten számított mennyiséget szorozzuk az idővel: $G =$ | 1065 | g/m ² |
| A szerkezet tárolóképessége: $G =$ | 964 | g/m ² |

Ennek alapján a szerkezet nem felel meg, mivel a bejutó nedvesség több, mint a szerkezet tárolóképessége.

Ellenőrzésképpen a feltöltési idő kifejezhető úgy, hogy a (tárolóképesség / bejutó pára) aránytényezővel szorozzuk a fűtési idény hosszát, ami így 164.8 nap, ugyanannyi, mint a szabvány szerinti számítás eredménye. A következtetés is ugyanaz: mivel a feltöltési idő rövidebb, mint a fűtési idény, a szerkezet nem felel meg.

Ha viszont az órai páryanomás különbségek összegét vesszük a fűtési idényre, akkor egészen más eredményt kapunk:

A nyomáskülönbségek összegével számítva

2. táblázat

| | | |
|--|---------|--------------------------------------|
| $\Sigma \Delta p =$ | 3,366 | $10^6 \text{ h} \cdot \text{Pa}$ |
| $\Sigma R_v =$ | 23,2870 | $\text{m}^2 \text{s MPa} / \text{g}$ |
| A szerkezetbe bejutó nedvesség: $G = \Sigma \Delta p / \Sigma R_v =$ | 520 | g/m^2 |
| A szerkezet tárolóképessége: $G =$ | 964 | g/m^2 |

Ennek alapján a szerkezet megfelel, mivel a szerkezetbe bejutó nedvesség kevesebb, mint a szerkezet tárolóképessége.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott nedvességmérleg módszer jobban közelíti a valóságos páraáramokat, mint a szabvány szerinti módszer, mivel figyelembe veszi, hogy a külső hőmérséklet és páratartalom folyamatosan változik. Ez a módszer alkalmazható, ha számolótáblában szimulációs számítást állítunk fel, vagy célszoftvert készítünk.

A módszer továbbfejlesztése, egyúttal egyszerűsítése, ha nem a páraáramokat számítjuk ki a fűtési idény minden egyes órájára, hanem csak a páryanomás különbségeket adjuk össze és ezt az összeget osztjuk a szerkezet összesített páraellenállásával. A páryanomás különbségek összegét egyszer kell elkészíteni egy régóra és könnyen elkészíthető bármely régióra, mivel a meteorológiai adatok elérhetőek.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Dr. Zöld András: Épületfizika, BME 1994.
- [2] MSZ-24140:2015
- [3] Geographic Information System (GIS) (SOLARGIS) database