

# Evaporatív léghűtőkről

**Manapság egyre gyakrabban hallani az evaporatív léghűtők alkalmazásáról. Sokan kételkedve és idegenkedve fogadják a prospektusok hízelgő adatait, amelyek gyakran felületesek. Ugyanakkor a különböző problémák megoldása során ennek az eljárásnak a hatékonysága és alkalmazhatósága nem nélkülözhető. Ilyen ellentmondásos esetben érdemes az eljárás műszaki tartalmába mélyebben betekinteni, és tisztába tenni azokat a kérdéseket, melyeket a napi gyakorlat során felületesen vagy egyáltalán nem kezelünk.**

## Az eljárásról és annak történetéről

Az evaporatív hűtők a víz közvetlen elpárologtatásának tulajdonságai alapján működnek.

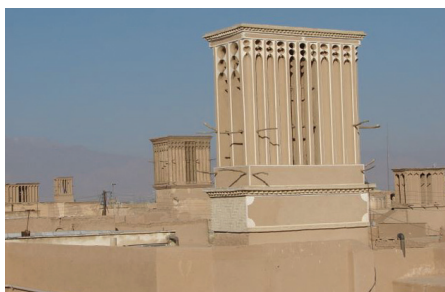
Megfigyelhetjük - mint ahogy korábban is észlelték már -, hogy a víz elpárolgása hőelvonással jár. Érezhető ez mondjuk egy tusolás után, amikor az ember teste vizes, és az addig meleg fürdőszoba hidegnek tűnik.

Amíg a bőrünkön párolog a víz, hűtést tapasztalunk. Ennél egyszerűbb példa az izzadás, hiszen a szervezetünk a hőegyensúlyt más módok mellett ezzel a hűtési eljárással biztosítja.

Mint tudjuk, ezen az elven működnek az ipari hűtőtornyok is, amelyek ugyan nem a most tárgyalt klasszikus evaporatív eljárást alkalmazzák, hanem ahhoz igen közeli, gyakorlatilag azonos elvű hűtést valósítanak meg.

Az érdekesség kedvéért érdemes két alkalmazást megemlíteni a rég- és a közelmúltból.

A közel-keleti térségben valószínűleg évezredek óta – de legalábbis évszázadok óta – alkalmazzák az úgynevezett széltornyokat (1. ábra).



1. ábra

Ezek a következő séma szerint működtek. Építettek egy nagy átmérőjű és viszonylag magas tornyot, amelyet a mindenkori széljárás figyelembevételével tájoltak. A torony légtér a lakott tér légtérével össze volt kötve, mely lakott tér átszellőzési lehetőséget kapott a közelében, általában a föld alatt lévő víztározó, vagy természetes vízfolyás felszíne felett kialakított légcatornából.

A víz felszíne felett, mint a természetben mindig, kialakult egy vízpárával 100 %-ig telített réteg. Ennek a rétegnek a hőmérséklete lecsökkent. A széltoronyban a kéményhatás miatt, illetve szél esetén a csökkenő statikus nyomás miatt, nyomásesés alakult ki, és ez áramlást generált a fent leírt rendszerben. A beömlő csatornán keresztül tehát hűtött, friss levegő jutott a kezelt térbe, majd távozott a torony felé. Nyilvánvaló, hogy a bebocsátó rácsok felületével, illetve a szelepekkel egyszerűen biztosítható volt a huzatmentes, friss levegőztetés, a hűtés, és annak szabályozása.

Létezik ennek olyan verziója is, amely a víz helyi hiánya miatt a szívó oldalon nedvesített száradó textilálat alkalmaz.

A ma használatos evaporatív léghűtőkkel hasonló módon kezelt légtérket alakítunk ki.

Meg kell említeni azt a korábbi alkalmazást, melyet az 1950-60-as évekig a könnyű iparban, elsősorban a textiliparban alkalmaztak hazánkban is.

Hatalmas méretű beömlő nyíláson mechanikus előszűrés után a



2. ábra

friss levegő egy nagy teremnyi méretű kamrába került. Itt hálózati vizet csorgattak le több csövön, és több kifúvó fejen keresztül. Ez az igen rossz hatékonysággal porlasztott víz tulajdonképpen a terem másik oldalán lévő, nagy teljesítményű ventilátor szívóterében volt.

A levegőt az így kialakított többszörös vízfüggönyön keresztül szívták át, mely párologáshoz vezetett, és nyilvánvalóan hűtötte a levegőt.

Értelemszerűen a ventilátor előtt hatékony cseppelválasztásra is szükség volt. Ez a kezelt levegő jutott légcatornákon keresztül a dolgozók által használt térbe.

A fenti példákat két okból érdemes megfigyelnünk: az egyik, hogy ez is igazolja a gyakorlatban, hogy egy működőképes, az emberi szervezet számára kellemes, hatékony, energiatakarékos eljárásról van szó. A másik, hogy a fenti példák egyike sem számítható, méretezhető. Ellenkezőleg, esetleges és tapasztalati alapon ugyan, de ötletelés és próbálgatás útján hoz eredményt.

## Az evaporatív rendszerek működési elveinek letisztázása

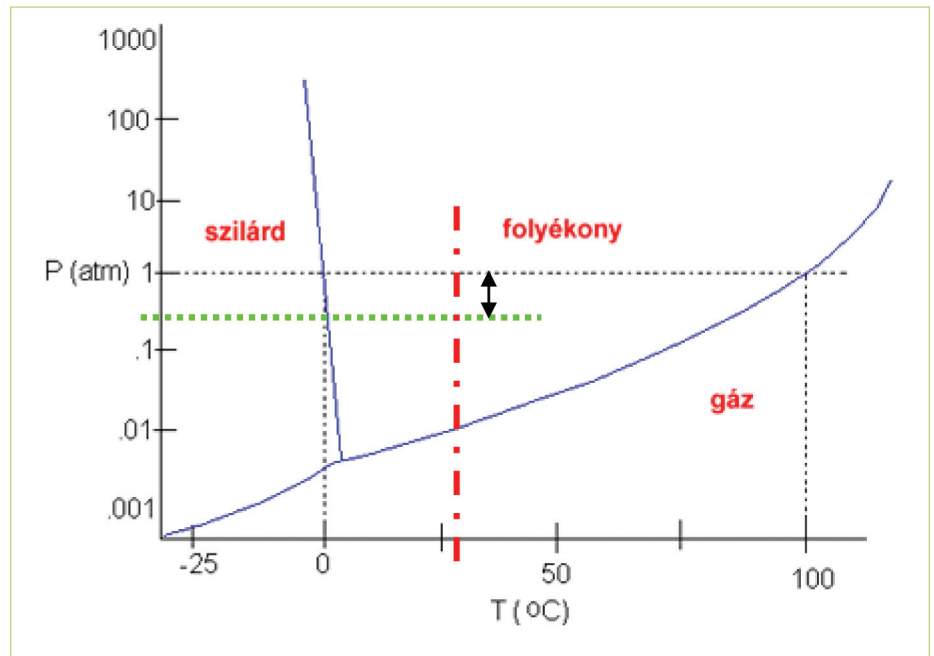
A következőkben az eljárás pontos termodinamikai tartalmát vizsgáljuk meg, szigorúan szem előtt tartva, hogy ez a gyakorlati alkalmazás során használható legyen, és annak kereteit írja körül.

Minden egyes berendezés és minden eljárás saját tulajdonságai mentén értékelendő. Az adott feladatunk

megoldása során céljainkat szolgáló tulajdonságokat hasznosnak vagy jónak nevezzük, a többit korlátnak. A következőkben tehát a tulajdonságok pontos leírása után a telepítésben szerzett tapasztalatok, buktatók és sikerek konzekvenciáinak levonásával a célszerű alkalmazás irányait vázoljuk fel.

A levegő, amely bennünket körül vesz, gázok elegye. A vízpára ennek természetes része. A páratartalom nagysága igen széles tartományban mozog és változik. A természetben 15-20% alatti relatív nedvességtartalom nem, vagy igen ritkán fordul elő. Ezzel szemben 100%-os relatív nedvességtartalom igen gyakran előfordul. Az emberi létezés szempontjából a 20-25% fölötti relatív nedvességtartalom kívánatos, amely akár 65-70%-ig is növelhető anélkül, hogy problémát okozna. Légzőszerveink ugyanis a magasabb, akár 100%-os relatív nedvességtartalmú levegő mellett működnek optimálisan. (Ilyen esetben természetesen már fellépnek egyéb komfortérzeti problémák, különösen a hőmérséklet emelkedésével).

A magas relatív nedvességtartalom és a kellemes közérzet kialakulására jó példa talán a 2006 nyarán a Bakonyban, Farkasgyepű település melletti erdőben mért értékek. Az erdőn kívül, a közúton, árnyékban



3. ábra

33-34 °C volt, és 35% relatív nedvességtartalom. Az említett település tudószanatóriuma melletti erdőben ~23 °C és több mint 85% relatív nedvességtartalom volt mérhető. Ez nyilvánvalóan egyedi, pillanatnyi eset, ugyanakkor szubjektív szempontból többedmagammal igazolhatjuk, hogy ez a légállapot egyáltalán nem volt kellemetlen, sőt igen jó érzéstöltött el mindenkit a friss levegőn.

Csak érintve a komfortérzetet fontos leszögezni, hogy az ember nem egy, vagy egy-két mérhető paraméter szerint fogja kellemesen érezni magát, hanem olyan környezetben, ahol a szervezet belső rend-

szerei, figyelembe véve a ruházatot és a tevékenységet is, hatékonyan tudnak dolgozni a hőháztartás egyensúlyának fenntartása érdekében. Minden környezet, amely ezen rendszerek igényét kiszolgálja, kellemes lesz.

### A termodinamikai összefüggések.

A víz a bioszférára jellemző légnyomás tartományban három fázisban van jelen. 0 °C felett folyadék és gáz állapotban, míg alatta a nyomás függvényében szilárd és gáz állapotban is megtalálható (3. ábra).

**Danfoss**

## Kiemelkedő rendszerhatékonyság A költségcsökkentés új módja

A Danfoss „Micro Plate” hőcserélők a legújabb kutatási eredményeket felhasználva, sokkal hatékonyabban üzemelnek, mint más típusok.

Használja ki az innováció által nyújtott előnyöket, a jobb hőátvitelt, hosszabb élettartamot, alacsonyabb nyomásesést, mindezekkel energia- és költségmegtakarítást.

**10%-kal**  
jobb hőátadás  
A kedvezőbb áramlási sebesség-eloszlás miatt.

**35%-kal**  
csökkentett nyomásesés  
A forradalmian új lemezmintázatnak köszönhetően.

[www.futestecnika.danfoss.com](http://www.futestecnika.danfoss.com)

A vizsgált eljárás működési tartománya miatt, a továbbiakban a 20 °C feletti állapotokat tárgyaljuk, általános légköri nyomás mellett.

A levegőben található vízgőz mennyisége alapvetően a levegő és a vízgőz parciális nyomásának függvénye. A 3. ábra szemlélteti a pillanatnyi halmazállapotot a nyomás és hőmérséklet függvényében. A nyomás diagramunkon a hőmérséklet a mindenkori légköri nyomáshoz viszonyított. Jól látható, hogy ilyenkor 100 °C-on forr a víz és 0 °C-on fagy meg.

A piros vonal körülbelül 30 °C-nál helyezkedik el. Láthatjuk, hogy két halmazállapotban van jelen a víz. Jól látható az is, hogy az össznyomás az alkotók parciális nyomásainak összege.

Ha az össznyomást csökkentjük valamivel, de a hőmérséklet állandó marad – ezt szemlélteti a zöld pontozott vonal – a gáz halmazállapotú és a folyadék halmazállapotú anyagmennyiségek össznyomás csökkenésén kívül a parciális nyomások egymáshoz viszonyított aránya is megváltozik. Az egyensúlyi állapot viszont a kék vonal mentén van. Hiszen ezzel a vonal azon pontok halmaza, ahol a víz parciális nyomása egyensúlyt tart a vízgőz parciális nyomásával. A termodinamikai folyamatok mindig az egyensúly irányába haladnak. Szokták ezt a termodinamika nulladik tételének is nevezni.

Csökkenő nyomás esetén a korábbihoz képest nagyobb arányúvá válik a gáz halmazállapotú anyagrésze. Tehát ilyenkor a folyadék – jelen esetben a víz – intenzíven párologni kezd.

A levegőben is található vízgőz. Ennek jelenlétét, arányait és néhány jellemzőjét vizsgáljuk a következőkben.

A természetben teljesen száraz levegő gyakorlatilag nem fordul elő, valamilyen nedvességtartalom mindig jelen van.

Fejezzük ki ezt az alkotók tömegeinek arányában.

$$x = m_g / m_l$$

ahol x: a levegőben lévő gőz [g/kg]-ban

$m_g$ : a vízgőz tömege  
 $m_l$ : a levegő tömege.

Az állapotegyenletet általánosan felírva

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

ahol p a vizsgált közeg nyomása

[Pa]-ban

V a vizsgált közeg hőmérséklete [m<sup>3</sup>/s]-ben

m a tömegáram [kg/s]-ban

R a közeg specifikus gázállandója [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>K]-ban

T a közeg hőmérséklete

[K]-ben

alkalmazhatjuk azt szárazlevegőre, illetve a vízgőzre, kifejezhetjük a száraz levegő és a benne lévő vízgőz tömegét. Ezt azért tehetjük, mert a vízgőzt is és a száraz levegőt is a vizsgált hőmérséklet és nyomás tartományban ideális gáznak tekinthetjük, azaz a közeg homogén módon kitölti a teret, keveredik, és homogén gázt alkot a végén.

$$p_g \cdot V = m_g \cdot R_g \cdot T_g ; m_g = (R_g \cdot T_g) / p_g$$

$$p_l \cdot V = m_l \cdot R_l \cdot T_l ; m_l = (R_l \cdot T_l) / p_l$$

(a víz és a levegő hőmérsékletét azonosnak tekintve)

Behelyettesítve ezt az  $x = m_g / m_l$  képletbe, az egyszerűsítések után azt kapjuk, hogy

$$x = 0,622 \cdot (p_g / p_l)$$

Mivel a levegő össznyomása a benne lévő vízgőz és a száraz levegő tartalom parciális nyomásainak összege,

$$p = p_g + p_l, \text{ amiből következik, hogy } p_l = p - p_g$$

ezután felírható, hogy

$$x = 0,622 \cdot (p_g / (p - p_g))$$

ebből és a fázisdiagramból látható, hogy amíg a levegővel víz érintkezik és a levegő nem telített vízgőzzel, párologás lesz.

Amennyiben a víz nyitott rendszerben a természetes levegővel érintkezik, felszíne közelében egy 100 %-os légnedvességű telített réteg alakul ki. Ezt egyszerűbben úgy is magyarázhatjuk, hogy a folyadékban lévő vízmolekulák mozgása a levegő irányába kevésbé fékeződik. Így részecskék szakadnak ki – párolognak – növelve ezzel a víz felszíne környezetében a légnedvességet. Ez a folyamat mindaddig lejátszódik, amíg az említett rétegben a vízgőz parciális nyomása meg nem nő arra a szintre, hogy a folyamat lelassuljon, teljesen

leálljon. Ez a diagram kék színnel jelelt határvonal pontjain, az azokhoz tartozó hőmérséklet és nyomás paraméterek mellett valósul meg.

Az álló levegő a víz felszíne körüli növekvő parciális vízgőznyomást – igen rossz hatékonysággal – átveszi.

Emiatt a párologás, még ha rossz hatékonysággal is, de folyamatos.

Ezért van az, hogy egy edényben felejtett víz a normál hőmérsékletű szobában teljes bizonyossággal elpárolog, csak idő kérdése.

Ha a levegő mozog, a fent említett magas nedvességtartalmú réteg elvékonyodik, és a kipárologás intenzívebbé válik, hiszen a telített határréteg helyére mindig kisebb nedvességtartalmú, azaz vízpára felvételére alkalmasabb levegő érkezik.

Ezért száradnak a ruhák a szélben igen hatékonyan, még akkor is, ha adott esetben a hőmérséklet nem magas.

## Hőmérsékletváltozás a párologás során

Tapasztalatból tudjuk, hogy a víz párologásakor változik a levegő hőmérséklete. A hőmérséklet változását az entalpia alakulásával számíthatjuk ki.

Az entalpia az anyagra és annak pillanatnyi állapotára jellemző energia jellegű állapotjelző. Magába foglalja az anyagban lévő hőenergiát és a rajta végzett munka hatását.

Általánosan az entalpia a következőképpen írható fel:

$$H = U + p \cdot V ; h = u + p \cdot v$$

Ahol U: a belső energia és  $U = Q + L_v$ , azaz a hőenergia ( $Q = m \cdot c_p \cdot dT$ ) és a közegen végzett térfogati munka összege.

Mellőzve a levezetéseket kifejezhető:

$$dh = c_p \cdot dT$$

(Látható, hogy ez az egységnyi tömegre vetítve igaz akkor, ha munkát nem végzünk a közegen. És mi éppen ilyen esetet vizsgálunk)

(Folytatjuk)

**Kostyák Ferenc**