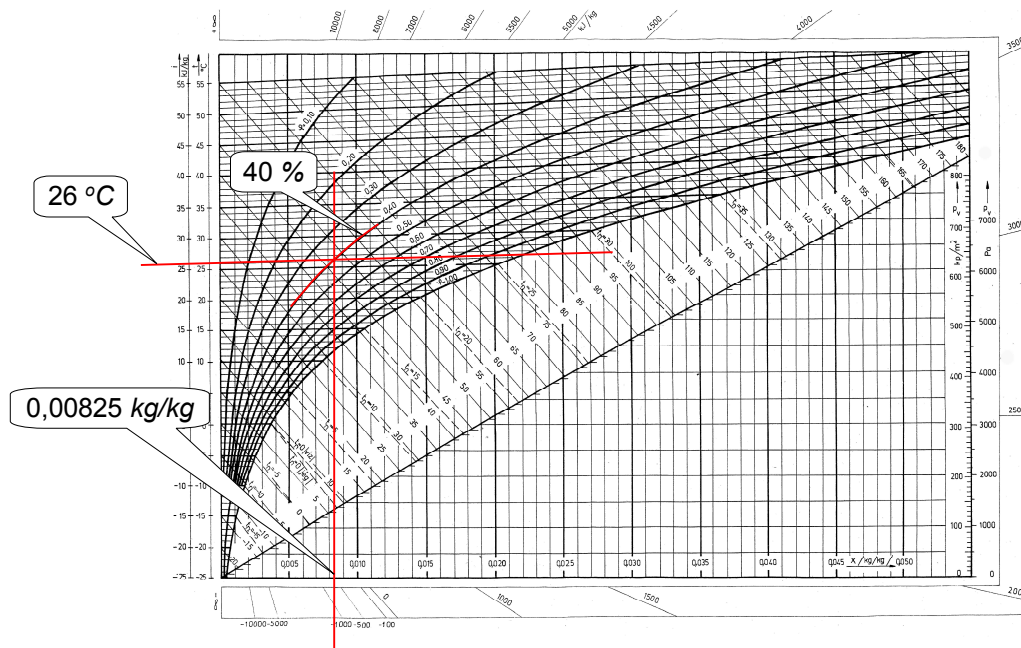


A feladatok megoldásának szemléltetése érdekében a nyomtatott diagramokat használtam. Több esetben utalok arra, hogy a digitális diagram segítségével történő megoldás milyen eltéréseket adhat. A digitális  $h-x$  diagram használatához mindenképpen gondosan át kell tanulmányozni az e tárgyban írt segédletet! Különösen igaz ez, a keretléptéket igénylő feladatokra, ugyanis a digitális diagramon nincs keretlépték!

1. Hány gramm vízgőzt tartalmaz 22 kg, 40 % relatív nedvességtartalmú 26 °C hőmérsékletű nedves levegő?

## Megoldás



A nedves levegő  $h-x$  diagramja szerint a megadott hőmérséklethez és relatív nedvességtartalomhoz kb. 0,00825 kg nedvesség tartozik minden kg száraz levegőhöz. A 22 kg nedves levegőben  $m$  kg száraz levegő és minden kg száraz levegőhöz 0,00825 kg vízgőz található:  $m_{nl} = m_{szl} + m_{szl} \cdot x$ , ahonnan  $m_{szl} = \frac{m_{nl}}{1+x} = \frac{22}{1+0,00825} = 21,82 \text{ kg}$ .

Tehát a 22 kg nedves levegőben lévő vízgőz mennyisége  $22-21,82=0,18 \text{ kg} = 180 \text{ g}$

Megjegyzés: a digitális diagramról történő leolvasás szerint ugyan  $x=0,00837 \text{ kg/kg}$ , de az ebből számított eredmények két tizedes jegy pontossággal azonosak a fentivel!

2. 25 °C hőmérsékletű 65 % relatív nedvességtartalmú, atmoszférikus nyomású levegőt felületi hőcserélőben hűtünk 5 °C-ig, majd a felületi hőcserélőből elvezett hideg levegőt ismét 25 °C-ra melegítjük.

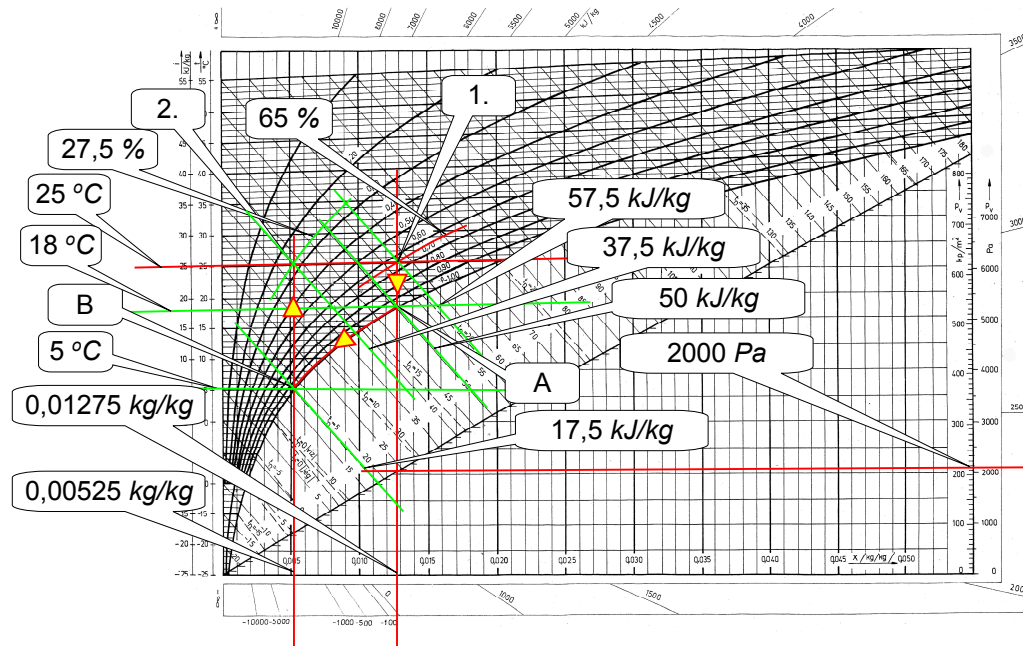
Határozza meg a visszamelegítés után a levegő relatív nedvességtartalmát, a hűtő és a fűtő hőcserélőben szükséges hőmennyiséget valamint a hűtőből elvezetendő kondenzvíz mennyiségét, ha tudja, hogy óránként  $1600 \text{ m}^3$  levegő lép be a folyamatot végrehajtó készülékbe!

## Megoldás

A nedves levegő  $h-x$  diagramja szerint a megadott hőmérsékletű és relatív nedvességtartalmú levegő entalpiája  $h_1 = 57,5 \text{ kJ/kg}$ , abszolút nedvességtartalma  $x_1 = 0,01275 \text{ kg/kg}$ .

A felületi hőcserélőben történő **hűtés** során az abszolút nedvességtartalom nem változik, amíg a levegő el nem éri az adott abszolút nedvességtartalomhoz tartozó

hűtési határhőmérsékletet (harmatponti hőmérséklet), ami  $t_A=18\text{ °C}$ . Ekkor a levegő telített állapotú lesz, relatív nedvességtartalma 100%. Entalpiája ekkor  $h_A=50\text{ kJ/kg}$ . Tovább hűtve a levegőt, levegőben lévő nedvesség **kondenzálódni** kezd. Amikor elérjük a megjelölt  $t_B=5\text{ °C}$  hőmérsékletet a még mindig telített levegő entalpiája  $h_B=17,5\text{ kJ/kg}$  lesz, abszolút nedvességtartalma  $x_B=x_2=0,00525\text{ kg/kg}$ .



A felületi hőcserélőből elvezett hideg levegőt egy másik felületi hőcserélőben  $t_2=25\text{ °C}$ -ra **melegítjük**, miközben abszolút nedvességtartalma változatlan marad. Amikor eléri ismét a  $25\text{ °C}$  hőmérsékletet, entalpiája  $h_2=37,5\text{ kJ/kg}$  lesz, relatív nedvességtartalma pedig kb. **27,5 %**.

Mivel  $p_l + p_g = p_o$  és  $\frac{p_l}{p_g} = \frac{0,622}{x}$ ,  $p_l = \frac{0,622 \cdot p_o}{x + 0,622} = \frac{0,622 \cdot 10^5}{0,01275 + 0,622} = 97991\text{ Pa}$ .

Megközelítőleg ugyanezt az értéket kapjuk, ha a  $h-x$  diagram segédskáláján leolvassuk a levegőben lévő vízgőz parciális gőznyomását (kb.  $2000\text{ Pa}$ ) a megadott abszolút nedvességtartalomhoz és a leolvasott értéket kivonjuk a légköri nyomás névleges értékéből.

A nedves levegőből gondolatban kivonva a nedvességet csak a száraz alkotó részek maradnak, melyek parciális nyomásuk összegének megfelelő nyomáson töltik ki a rendelkezésre álló teret, azaz

$$\dot{m}_{szl} = \frac{p_{szl} \cdot \dot{V}_{nl}}{R_{szl} \cdot T} = \frac{98000 \cdot 1600}{3600 \cdot 287 \cdot (25 + 273)} = 0,509 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

A száraz levegő tömegárama pedig

$$\dot{m}_{nl} = \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_1) = 0,509 \cdot 1,01275 = 0,5155 \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \text{ a kiváló nedvesség pedig}$$

$$\Delta \dot{X} = \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x = 0,509 \cdot (0,01275 - 0,00525) = 0,003867 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right), \text{ ami óránként kb. } 13,9 \text{ liter}$$

vizet jelent, amit a hűtő hőcserélőből el kell vezetni.

A hűtés hő szükséglete három részből áll:

- a nedves levegő hűtése
- a kondenzációs hő
- a kondenzátum hűtése (ha feltételezzük, hogy a kondenzátum is lehűl  $5\text{ °C}$ -ra)

$$\dot{Q}_h = (h_1 - h_A) \cdot \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_1) + [h_A \cdot \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_1) - h_B \cdot \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_2)] +$$

$$[\dot{m}_{szl} \cdot x_1 \cdot (l_{ko} + c_{p,vg} \cdot t_A) - \dot{m}_{szl} \cdot x_2 \cdot (l_{ko} + c_{p,vg} \cdot t_B)] + \Delta x \cdot \dot{m}_{szl} \cdot c_{v\acute{e}z} \cdot \Delta t \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

Az összefüggésben  $l_{ko}$  a kondenzátum 0 °C-on érvényes rejtett hője, amit gőztáblázatból lehet meghatározni, értéke 2500 kJ/kg,  $c_{p,vg}$  a vízgőz átlagos fajhője a klímatechnikában érdekes tartományban, értéke 1,86 kJ/kg.K.

Felhasználva, hogy  $x_2 = x_1 - \Delta x$  az egyenlet átrendezhető a következő alakra

$$\dot{Q}_h = (h_1 - h_B) \cdot \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_1) + h_B \cdot \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x +$$

$$+ \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x \cdot l_{ko} + \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x \cdot c_{p,vg} \cdot (t_A + t_B) + \Delta x \cdot \dot{m}_{szl} \cdot c_{v\acute{e}z} \cdot \Delta t \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

Bizonyítható, hogy az egyenlet második, negyedik és ötödik tagja minden esetben nagyságrendekkel kisebb, mint az első és a harmadik, közelítőleg tehát az alábbi egyenlet alkalmazható a hűtési hő szükséglet kiszámítására, ha a nedves levegő egy része kondenzálódik a hűtés során, azaz a harmatponti hőmérséklet alá hűl a levegő

$$\dot{Q}_h \approx (h_1 - h_B) \cdot \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_1) + \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x \cdot l_{ko} \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

$$\dot{Q}_h \approx (57,5 - 17,5) \cdot 0,509 \cdot (1 + 0,01275) + 0,0075 \cdot 0,509 \cdot 2500 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

$$\dot{Q}_h = 20,62 + 9,544 = 30,164 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

A fűtés hő szükséglete:

$$\dot{Q}_h = (h_2 - h_B) \cdot \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_2) = (37,5 - 17,5) \cdot 0,509 \cdot (1 + 0,00525) = 10,233 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

**Megjegyzés:**

A digitális diagramról leolvasott értékek a következők

x	0,0131	h	58,53	T	25,02	φ	64,98
x	0,0131	h	51,29	T	17,99	φ	99,94
x	0,00547	h	18,78	T	5,02	φ	99,82
x	0,00547	h	39,07	T	24,98	φ	27,55

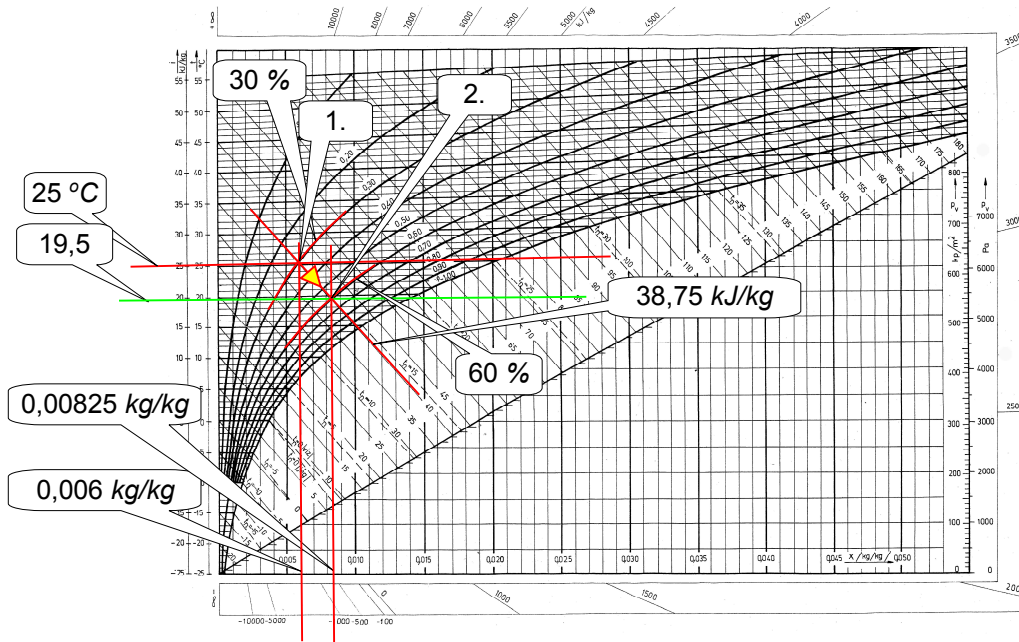
Ezekből kiindulva a száraz levegő parciális gőznyomása a digitális diagram alapján 97937 Pa, a száraz levegő tömegárama 0,5089 kg/s, a keletkező kondenzátum mennyisége 0,003883 kg/s, ami 13,98 liter/h (az eltérés óránként 0,06 liter, ami bízvást elhanyagolható!). A hűtés hőszükséglete 30,2 kJ/s, a fűtésé pedig 10,38 kJ/s. Az utóbbinál a legnagyobb az eltérés, ami azonban a digitális diagramból történt leolvasásra vetítve 1,42 %, joggal elhanyagolható.

3. 25 °C hőmérsékletű 30 % relatív nedvességtartalmú, atmoszférikus nyomású levegőt 13 °C hőmérsékletű víz beporkasztásával kívánunk 60 %-os relatív páratartalomra nedvesíteni. Hány liter víz beporkasztása szükséges óránként, elméletileg, ha a levegő térfogatárama 32 m<sup>3</sup>/min? Mekkora lesz a levegő hőmérséklete a beporkasztás után?

**Megoldás**

$$\text{A beporkasztásra kerülő víz entalpiája: } h_{v\acute{e}z} = c_{v\acute{e}z} \cdot t_{v\acute{e}z} = 4,189 \cdot 13 = 54,5 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

A befecskendezésre kerülő víz entalpiája a keretlépték szerint annyira kicsi, hogy gyakorlatilag a 0 °C-hoz tartozó iránnyal lehet párhuzamost húzni a kezdeti légállapotot jelölő ponton át egészen a kítűzött 60 %-os relatív nedvességtartalomig. Ez azt jelenti, hogy az  $h$ =áll. vonalat kell követni. Minden olyan esetben ez a helyzet, amikor hasonlóan alacsony hőmérsékletű víz beporkasztása történik!



A kezdeti 0,006 kg/kg abszolút nedvességtartalom kb. 0,00825 kg/kg értékre nő.

Mivel  $p_l + p_g = p_o$  és  $\frac{p_l}{p_g} = \frac{0,622}{x}$ ,  $p_l = \frac{0,622 \cdot p_o}{x + 0,622} = \frac{0,622 \cdot 10^5}{0,006 + 0,622} = 99045 \text{ Pa}$ , amivel

a száraz levegő tömegárama az általános gáztörvényből

$$\dot{m}_{szl} = \frac{p_l \cdot \dot{V}}{R_l \cdot T} = \frac{99045 \cdot 32}{60 \cdot 287 \cdot (25 + 273)} = 0,6176 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

Ezzel a beporlasztandó víz tömegárama:

$$\dot{m}_{v\acute{z}} = \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x = 0,6176 \cdot (0,00825 - 0,006) = 0,0013896 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right), \text{ ami kb. } 5 \text{ liter } \acute{\text{o}}\text{ránként.}$$

Megjegyzés:

A digitális diagram segítségével megrajzolt vonal kezdő és végpontjának koordinátái:

x	0,00597	h	40,37	T	25,01	$\varphi$	30,00
x	0,00852	h	40,35	T	18,63	$\varphi$	62,93

A vonal megrajzolásához  $\Delta x = 0,00852 - 0,00597 = 0,00255 \text{ kg/kg}$ ; az iránytangens  $2500 - h_{v\acute{z}} = 2500 - 54,5 = 2445,5 \text{ kJ/kg}$  amihez  $\Delta h = 2445,5 \cdot 0,00255 = 6,236 \text{ kJ/kg}$ . Ez utóbbit kell levonni a kiinduló pontból „húzott” vízszintes végpontjánál leolvasott 46,586 kJ/kg entalpia értékéből. Mint látható a végpont gyakorlatilag rajta van az entalpia állandó vonalon! A kívánt végállapothoz tartozó abszolút nedvességtartalom 0,00835 kg/kg. Ezekkel az értékkel végül kb. 5,3 liter/h az elméletileg beporlasztandó víz mennyisége. Itt jelentős az eltérés, de ennek oka nem az, hogy a feladat megoldásában a folyamatot állandó entalpia mellett lezajlónak vettük, hanem sokkal inkább a végállapot abszolút nedvességtartalom pontatlan leolvasásának számlájára írható.

Megjegyzés:

A valóságban a kiszámított mennyiségnél 4-5-ször többet kell beporlasztani, mert a beporlasztott víz nem tud 100 %-os mértékben bepárologni a levegőbe.

4. A 14 °C hőmérsékletű 40 % relatív nedvességtartalmú levegőt gőz befúvatásával kívánjuk melegíteni és egyúttal nedvesíteni is. Milyen hőmérsékletű legyen a 20 bar nyomású befúvandó gőz, ha az elérni kívánt légállapot 20 °C és 70 % relatív nedvességtartalom? Hány kg gőz befúvása szükséges óránként, ha a levegő térfogatárama 5200 m<sup>3</sup>/h.

### Megoldás

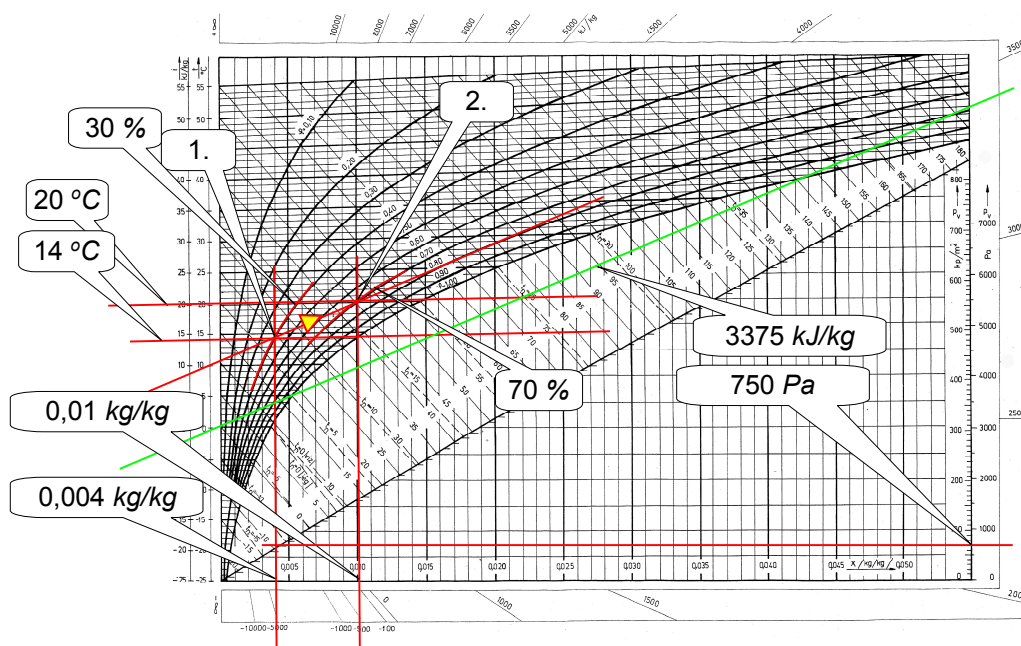
Megkeresve a két légállapotot és azokat összekötve, majd ezzel a 0 °C hőmérséklettől párhuzamost húzva a keretléptéken kb. 3375 kJ/kg olvasható le, azaz ilyen entalpiájú kell legyen a befúvásra kerülő gőz.

Figyelemmel a megadott 20 bar nyomásra az *h-s* diagramból ehhez 460 °C túlhevítési hőmérséklet tartozik.

A nedves levegő abszolút nedvességtartalma a kezdeti 0,00355 kg/kg értékről 0,010 kg/kg értékre nő.

A már ismert módon meghatározva a száraz levegő tömegáramát:  $\dot{m}_{szl} = 1,74 \left( \frac{kg}{s} \right)$ .

Ezzel a gőz tömegárama:  $\dot{m}_{vz} = \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x = 1,74 \cdot (0,01 - 0,004) = 0,01044 \left( \frac{kg}{s} \right)$ , azaz óránként kb. 37,6 kg.

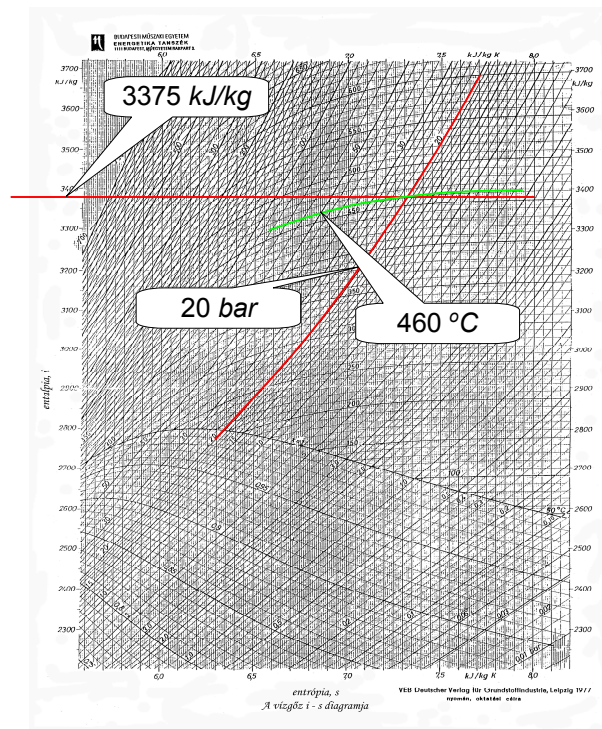


A digitális diagram felhasználásával a fenti értékek pontosabban meghatározhatók:

x	0,00401	h	24,22	T	14,00	φ	40,07
x	0,01036	h	46,42	T	20,01	φ	69,99

A kezdőpontból kiindított vízszintes végpontjánál, ahol a táblázatban szereplő 0,01026 kg/kg abszolút nedvességtartalom olvasható le, az entalpia 40,11 kJ/kg. Ezekkel  $\Delta x = 0,00635$  kg/kg;  $\Delta h = 46,42 - 40,11 = 6,31$  kJ/kg, a kettő hányadosa 993,7 kJ/kg, amit hozzá kell adni ezúttal a víz nulla fokon számított párolgáshőjéhez, azaz 2500 kJ/kg-hoz. Így végül a gőz entalpiája 3493,7 kJ/kg lesz, szemben a csak nagyon pontatlanul megállapított előző 3375 kJ/kg-mal, bár a hiba így is csak 3,4 %.

A vízgőz T-s diagramjából ehhez a kiszámított 3493,7 kJ/kg entalpiához és a 20 bar nyomáshoz a túlhevítési hőmérséklet kb. 511,8 °C. Ez már nagyon jelentős eltérés. Az ilyen jellegű feladatok esetében a digitális diagram használata feltétlenül indokolt!



5. Egy légkondicionáló berendezés keverő terébe kétféle levegő lép be:
- az egyik 25 °C hőmérsékletű 70 % relatív nedvességtartalmú, térfogatárama 135 m<sup>3</sup>/h,
  - a másik 20 °C hőmérsékletű 20 % relatív nedvességtartalmú, térfogatárama 65 m<sup>3</sup>/h.
- Határozzuk meg a keverőtérből kilépő levegő jellemzőit?

**Megoldás**

Az elsőként leírt levegő entalpiája  $i_1=60$  kJ/kg, nedvességtartalma  $x_1=0,014$  kg/kg. A másodikként leírt levegő entalpiája  $i_2=27$  kJ/kg, nedvességtartalma  $x_2=0,00255$  kg/kg.

Az '1' jelű levegő (száraz) tömegárama  $\dot{m}_{sz1} = 0,04288 \left( \frac{kg}{s} \right)$ , a '2' jelűé

$$\dot{m}_{sz2} = 0,02138 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

Ezzel a nedves levegő tömegáramok

$$\dot{m}_{n1} = \dot{m}_{sz1} \cdot (1 + x_1) = 0,04288 \cdot (1 + 0,014) = 0,04348 \left( \frac{kg}{s} \right) \text{ ill. } \dot{m}_{n2} = 0,02143 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

Végezetül a keverék entalpiája és nedvességtartalma:

$$h_{keverék} = \frac{\dot{m}_{n1} \cdot h_1 + \dot{m}_{n2} \cdot h_2}{\dot{m}_{n1} + \dot{m}_{n2}} = \frac{0,04348 \cdot 60 + 0,02143 \cdot 27}{0,04348 + 0,02143} = 49,11 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$x_{keverék} = \frac{\dot{m}_{sz1} \cdot x_1 + \dot{m}_{sz2} \cdot x_2}{\dot{m}_{sz1} + \dot{m}_{sz2}} = \frac{0,04288 \cdot 0,014 + 0,02138 \cdot 0,00255}{0,04288 + 0,02138} = 0,0102 \left( \frac{kg}{kg} \right)$$

Természetesen lett volna lehetőség arra is, hogy az entalpia, ill. a nedvességtartalom ismeretében a másik értéket az h-x diagramból határozzuk meg. A keverék relatív nedvességtartalma kb. 60 %-os lesz, hőmérséklete pedig 23 °C.

**Megjegyzés:**

A digitális diagram felhasználásával a fenti értékek pontosabban meghatározhatók:

x	0,01412	h	61,11	T	25,00	φ	70,03
x	0,00294	h	27,58	T	20,01	φ	20,06

A digitális diagramból leolvasott értékekkel:

a száraz levegő tömegáramok  $\dot{m}_{sz1} = 0,04287 \left(\frac{kg}{s}\right)$ ,  $\dot{m}_{sz2} = 0,02137 \left(\frac{kg}{s}\right)$

a nedves levegő tömegáramok  $\dot{m}_{n1} = 0,04348 \left(\frac{kg}{s}\right)$ ,  $\dot{m}_{n2} = 0,02143 \left(\frac{kg}{s}\right)$

a keverék entalpiája 50,04 kJ/kg, abszolút nedvességtartalma pedig 0,0104 kg/kg. a keverék 57,33 % relatív nedvességtartalmú és 23,34 °C hőmérsékletű lesz a digitális diagram szerint.

Mindössze a relatív nedvességtartalom az, ami nagyon eltér, de ez nem is csoda mert ennek meghatározás a nyomtatott diagramról sokszor csak nagyon nagy pontatlansággal lehetséges.

6. Egy 1200 m<sup>2</sup> alapterületű és 3 m átlagos belmagasságú helyiségre vonatkozóan a légcseré tényező értéke 5. A helyiség előírt légállapota ilyen légcseré tényező mellett a 22 °C ± 2 °C, ill. 50% relatív nedvességtartalom. Határozza meg a klímaberendezés Üzemeltetéséhez szükséges hőtéljesítmény nagyságát, az óránként szükséges pótvíz és/vagy elvezetendő csapadék mennyiségét!

A megoldás során a környezeti levegő állapotát 35 °C-os hőmérséklettel és 60 %-os relatív nedvességtartalommal veheti figyelembe és a helyiségben a szellőző levegő állapotváltozásának iránya 4500 kJ/kg irányjelzővel határozható meg.

**Megoldás**

Megkeresve a h-x diagramon a névleges légállapotot, azon keresztül párhuzamos egyenest kell húzni a 4500 kJ/kg irányjelző egyenesével. Ez az egyenes már kimetszi a szellőző levegő belépő és kilépő hőmérsékletének egyenesén a be- és kilépő légállapotot. Az alábbi táblázat tartalmazza a későbbi számításokhoz szükséges összes paramétert, melyek közül az eredetileg nem ismertek mindegyike a h-x diagramból olvasható le, ill. a leolvasott értékekből számítható ki.

környezeti állapot	szellőző levegő belépés	szellőző levegő névleges	szellőző levegő kilépés
t <sub>k</sub> = 35 °C	t <sub>be</sub> = 20 °C	t <sub>n</sub> = 22 °C	t <sub>ki</sub> = 24 °C
φ <sub>k</sub> = 60 %	φ <sub>be</sub> = 50 %	φ <sub>n</sub> = 50 %	φ <sub>ki</sub> = 50 %
h <sub>k</sub> = 90 kJ/kg	h <sub>be</sub> = 37,5 kJ/kg	h <sub>n</sub> = 42,5 kJ/kg	h <sub>ki</sub> = 47,5 kJ/kg
x <sub>k</sub> = 0,0215 kg/kg	x <sub>be</sub> = 0,00725 kg/kg	x <sub>n</sub> = 0,00825 kg/kg	x <sub>ki</sub> = 0,00925 kg/kg

A klímaberendezés a környezeti állapot és a helyiségbe történő belépés között a következő „műveleteket” hajtja végre a szellőző levegőn:

- hűtés a telítési állapotig (A pont),
- hűtés egészen addig, amíg a levegő abszolút nedvességtartalma el nem éri a belépő állapothoz tartozó értéket (B pont, ez a h-x diagram alapján kb. 9,5 °C-t jelent), egyébként ez a belépő állapothoz tartozó harmatponti hőmérséklet,
- melegítés amíg a hőmérséklet a belépő állapot szerinti értéket el nem éri.

Látható, hogy nedvesítésre nincs szükség, ellenben csapadékképződésre kell számítani.

A hűtési hő szükséglethez a 'B' segédponthoz tartozó entalpia értékére szükségünk van, ami a h-x diagramból kb. 27,5 kJ/kg. A fajlagos hűtési hő szükséglet egyik része tehát:

$$q_h = h_k - h_B = 90 - 27,5 = 62,5 \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

Az abszolút értékek kiszámításához előbb a térfogatáram, majd pedig a nedves és a száraz levegő tömegárama szükséges.

$$\dot{V}_{szel} = V_{helyiség} \cdot n = 1200 \cdot 3 \cdot 5 = 18000 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

A  $h$ - $x$  diagram segítségével meghatározható a nedves levegőben lévő pára parciális nyomása. Az egyszerűség kedvéért a névleges állapot paramétereit használhatjuk a belépő levegő paramétereinek helyett, mivel a be- és a kilépő légállapotok egyaránt nagyon közel vannak a névleges értékhez. Így a parciális gőznyomás kb. 1200 Pa.

$$\dot{m}_{szel} = \frac{(10^5 - 1200) \cdot 18000}{287 \cdot (22 + 273)} = 21005 \left( \frac{kg}{h} \right) = 5,835 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

a nedves levegő tömegáram pedig a névleges légállapot szerint:

$$\dot{m}_{nl} = \dot{m}_{szel} \cdot (1 + x_n) = 5,835 \cdot (1 + 0,00822) = 5,883 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

A hűtés hő szükséglete:

$$Q_h = \dot{m}_{szel} \cdot (1 + x_k) \cdot (h_k - h_B) + \dot{m}_{szel} \cdot (x_k - x_B) \cdot l_{ko}$$

$$= 5,96 \cdot (90 - 27,5) + 5,835 \cdot (0,0215 - 0,00725) \cdot 2500 = 372,5 + 76,58 = 449,1 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

A fűtés hő szükséglete

$$Q_f = \dot{m}_{nl} \cdot (h_{be} - h_B) = 5,883 \cdot (37,5 - 27,5) = 58,83 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

Az elvezetendő csapadék mennyisége

$$\dot{m}_{viz} = \dot{m}_{szel} \cdot (x_k - x_{be}) = 5,835 \cdot (0,0215 - 0,00725) = 5,835 \cdot 0,01425 = 0,0831 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

azaz óránként kb. 300 liter víz elvezetése szükséges.

7. Végezzen számítást az előző feladatban leírt helyiség klímaberendezésére annak feltételezésével, hogy a távozó levegő 1/3-át a beszívott friss levegőhöz keverve hogyan alakul a fűtési és a villamos energia felhasználás és a keletkező csapadék mennyisége! Ellenőrizze le, hogy a visszakeverés során milyen széndioxid dúsulás lép fel, ha eredetileg 0,02 tf% volt a koncentrációnövekedés a szellőző levegőben.

### Megoldás

A keverés folyamatát a  $h$ - $x$  diagramban a környezeti állapotot meghatározó pont és a helyiségből kilépő levegő állapotát mutató pont összekötésével kapható ún. keverő-egyenes mutatja. Ezt a keverő-egyenes három egyenlő részre kell felosztani. A keverés utáni állapotot a környezeti állapothoz közelebb eső osztópont fogja mutatni, hiszen a friss levegő mennyisége kétszer annyi, mint a visszakevert levegőé. Ennek a pontnak a jellemző paramétereit együtt a változatlan egyéb lényeges paraméterekkel:

keverés utáni állapot	szellőző levegő belépés	szellőző levegő névleges	szellőző levegő kilépés
$t_k = 31,5 \text{ °C}$	$t_{be} = 20 \text{ °C}$	$t_n = 22 \text{ °C}$	$t_{ki} = 24 \text{ °C}$
$\phi_{kev} = 60 \%$	$\phi_{be} = 50 \%$	$\phi_n = 50 \%$	$\phi_{ki} = 50 \%$
$h_{kev} = 76 \text{ kJ/kg}$	$h_{be} = 37,5 \text{ kJ/kg}$	$h_n = 42,5 \text{ kJ/kg}$	$h_{ki} = 47,5 \text{ kJ/kg}$
$x_k = 0,0175 \text{ kg/kg}$	$x_{be} = 0,00725 \text{ kg/kg}$	$x_n = 0,00825 \text{ kg/kg}$	$x_{ki} = 0,00925 \text{ kg/kg}$

A táblázatra pillantva látható, hogy módosul a hűtési hő szükséglet, ebből következően a kompresszor teljesítménye, ugyancsak módosul az elvezetendő csapadék mennyisége, de nem változik az utófűtőben felhasználásra kerülő hőmennyiség. Ezek a mennyiségek rendre a következők:



$$Q_h = \dot{m}_{szl} \cdot (1 + x_{kev}) \cdot (h_{kev} - h_B) + \dot{m}_{szl} \cdot (x_{kev} - x_B) \cdot I_{ko}$$

$$= 5,835 \cdot (76 - 27,5) \cdot (1 + 0,0175) + 5,835 \cdot (0,0175 - 0,00725) \cdot 2500 = 287,9 + 149,5 = 437,4 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

azaz 75 %-ára csökken.

Az elvezetendő csapadék mennyisége pedig:

$$\dot{m}'_{v\acute{z}} = \dot{m}_{szl} \cdot (x_{kev} - x_{be}) = 5,835 \cdot (0,0175 - 0,00725) = 0,0598 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

azaz óránként kb. 215 liter víz elvezetése szükséges, ami a korábbi mennyiség kb. 72 %-a.

Az eredeti állapotra megadott koncentráció-változás lehetővé teszi, hogy meghatározzuk a széndioxid terhelést a helyiségben

$$\dot{V}_{CO_2} = \Delta k_{CO_2} \cdot \dot{V}_{szel} = 0,02 \cdot 18000 = 360 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

A visszakeverés következtében a belépő levegő széndioxid koncentrációja a normális 0,04 tf% helyett a következő egyenletrendszerből kifejezhető kilépő értékre változik

$$\dot{V}_{kev} \cdot k'_{CO_2,ki} + \dot{V}_{friss} \cdot k_{CO_2,n} = \dot{V}_{szel} \cdot k'_{CO_2,be}$$

$$\dot{V}_{szel} \cdot k'_{CO_2,be} + \dot{V}_{CO_2} = \dot{V}_{szel} \cdot k'_{CO_2,ki}$$

Ezekből az egyenletekből a helyiségből távozó levegő széndioxid tartalma

$$\Delta k'_{CO_2} = k_{CO_2,n} + \frac{\Delta k_{CO_2}}{1 - \beta_{kev}} = 0,04 + \frac{0,02}{1 - \frac{1}{3}} = 0,07 \text{ (tf\%)}$$

ami jelentéktelen mértékű dúsulás, hiszen a megengedhető koncentráció kb. 0,15 tf%.

8. Egy fonodában a levegő hőmérséklete 22 °C, relatív nedvességtartalma 80% kell legyen. A friss levegő hőmérséklete 18 °C, relatív nedvességtartalma 30%. Mennyi nedvességet kell a friss levegőbe bevinni a kívánt állapot eléréséhez? Milyen hőmérsékletre kell melegíteni a friss levegőt, ha a nedvességet 12 °C hőmérsékletű víz beporsztásával kívánjuk bevinni? Ha a hiányzó nedvességet a friss levegő előmelegítése nélkül, gőz befúvatásával kívánjuk bevinni, akkor milyen állapotú legyen a gőz?

### **Megoldás**

A  $h$ - $x$  diagramból megállapítható, hogy a friss levegő abszolút nedvességtartalma kb. 0,0038 kg/kg, a kívánt állapotú levegőé pedig kb. 0,0132 kg/kg. Tehát 1kg száraz levegőre vonatkoztatva 0,0094 kg nedvesség bevitele szükséges légnemű halmazállapotban.

A 12 °C hőmérsékletű víz entalpiája

$$h_{v\acute{z}} = c_{v\acute{z}} \cdot t_{v\acute{z}} = 4,189 \cdot 12 = 50,2 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

amit megkeresve a keretléptéken láthatjuk, hogy az állapotváltozás gyakorlatilag állandó entalpia mellett fog lezajlani. Ábrázolva a friss levegő állapotát és a kívánt légállapotot, látható, hogy a kérdéses hőmérséklet az utóbbin átmenő entalpia állandó vonal (nedvesítés) és a friss levegő állapotán átmenő függőleges vonal (melegítés felületi hőcserélőben) metszi ki. Ez közelítőleg 45,5 °C.

Ha a friss levegő felmelegítése nélkül, gőz befúvatásával akarjuk eljuttatni a friss levegőt a kívánt állapotba, akkor ennek az állapotváltozásnak az irányjelzője, ami a száraz telített gőz entalpiájával egyezik meg

$$i_g = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_k - h_f}{x_k - x_f} = \frac{55 - 27,5}{0,0132 - 0,0038} = 2926 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

A gőzdiagramból látható, hogy csak túlhevített gőz jöhet szóba. Attól függően, hogy milyen nyomást választunk, más és más hőmérsékletű kell legyen a gőz. Például 20 bar nyomás esetén a hőmérséklet kb. 255 °C. 50 bar esetén azonban kb. 295 °C legyen.

9. Egy 4500 léghőméteres szellőztetett zárt tér nedvességterhelése 167 kg/h. A helyiség levegőjének névleges állapota 20 °C és 60 % relatív nedvességtartalom. Mekkora legyen a légcseretényező, ha azt akarjuk, hogy a helyiségben mindenütt közel állandó legyen a relatív nedvességtartalom és a névleges hőmérséklettől az eltérés ne legyen sehol sem nagyobb, mint 5 °C! Határozza meg, hogy milyen hőterhelésnek kell lennie a helyiségben a kívánt állapotváltozáshoz! A környezeti állapotú levegő jellemző paraméterei: 10 °C, 80 % relatív nedvességtartalom.

### **Megoldás**

A közel állandó relatív nedvességtartalom úgy biztosítható, ha a szellőző levegő állapotváltozása a névleges állandó relatív nedvességtartalmat jelölő görbe érintője, azaz ez lesz az állapotváltozás irányjelzője.

Az érintőt megrajzolva látható, hogy az irányjelző kb. 4300 kJ/kg, 15 °C-nál az abszolút nedvességtartalom 0,006 kg/kg, 25 °C-nál pedig 0,0115 kg/kg. Mivel szükséges, hogy a névleges állapot a be- és a kilépő állapot között „félúton” legyen és egyidejűleg a névleges hőmérsékletre számított hőmérsékletkülönbség se legyen nagyobb, mint 5 °C, a belépő légállapotot már ismerjük: 15 °C, 60% relatív nedvességtartalom, 0,006 kg/kg abszolút nedvességtartalom.

A szellőző levegő abszolút nedvességtartalmának változása tehát figyelemmel arra, hogy a névleges állapotban az abszolút nedvességtartalom kb. 0,0088 kg/kg, a kettő különbségének a kétszerese, tehát 0,0056 kg/kg.

Ennek ismeretében a szellőző száraz levegő tömegárama

$$\dot{m}_{szl} = \frac{\dot{m}_{pára}}{\Delta x} = \frac{167}{3600 \cdot 0,0056} = 8,284 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

Mivel a környezeti állapotban a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása kb. 1000 Pa, a nedves levegő (a környezetből belépő levegő) térfogatárama

$$\dot{V}_{nedvl} = \frac{\dot{m}_{szl} \cdot R \cdot T}{(p_o - p_s)} = \frac{8,284 \cdot 287 \cdot (10 + 273)}{(10^5 - 1000)} = 6,796 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

azaz kb. 24466 m<sup>3</sup>/h.

Ezzel a légcseretényező kb. 5,44.

A kérdéses hőterhelés a már ismert irányjelző felhasználásával:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{nl} \cdot \Delta h = (1 + x_n) \cdot \dot{m}_{szl} \cdot \Delta h = (1 + 0,0088) \cdot 8,284 \cdot 4300 \cdot 0,0056 = 201,2 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

10. Egy szellőztetett zárt térbe be- és kilépő szellőző levegő hőmérsékletét száraz/nedves hőmérővel mérve rendre a következő értékek adódtak: 33,5/24,8 °C ill. 24,5/20,5 °C. A szellőző levegő egy 650 mm x 1000 mm belső méretű légcsatormán távozik, ahol az átlagsebesség 14,5 m/s. Határozza meg, a helyiség hő- és nedvesség terhelését valamint a névleges légállapot jellemzőit!

**Megoldás**

A mért értékek alapján a szellőző levegő relatív nedvességtartalma 50% a kilépőé pedig 70%. Az adatokból légfűtésre lehet következtetni, melynek névleges állapotában az abszolút nedvesség tartalom

$$x_n = \frac{x_{be} + x_{ki}}{2} = \frac{0,0165 + 0,0135}{2} = 0,015 \left( \frac{kg}{kg} \right).$$

Ezzel a be- és a kilépő állapotot összekötő egyenesen 29,5 °C és 58 % relatív nedvességtartalom adódik névleges értéként.

A szellőző levegő entalpiaváltozása 57,5-75=-17,5 kJ/kg, azaz csökken az entalpia tehát  $\Delta h$  negatív.

Az abszolút nedvességtartalom változása 0,0135-0,0165=-0,003 kg/kg, azaz csökken az abszolút nedvességtartalom, tehát  $\Delta x$  negatív.

Mivel mindkettő negatív a helyiségben bekövetkező állapotváltozás irányjelzője pozitív lesz:

$$\Delta h / \Delta x = 5833 \text{ kJ/kg}.$$

Már csak a száraz és a nedves levegő tömegárama szükséges. Az adatokból a kilépő szellőző levegő (nedves levegő) térfogatárama

$$\dot{V}_{nlki} = c_{lev} \cdot A = 14,5 \cdot 0,65 \cdot 1 = 9,425 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

A kilépő szellőző levegőben a vízgőz parciális gőznyomása kb. 2200 Pa. Ezzel a száraz levegő tömegárama

$$\dot{m}_{szl} = \frac{\dot{V}_{nlki} \cdot (p_o - p_s)}{R \cdot T_{ki}} = \frac{9,425 \cdot (10^5 - 2200)}{287 \cdot (24,5 + 273)} = 10,796 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

A nedves levegő tömegárama pedig

$$\dot{m}_{nl} = \dot{m}_{nl} \cdot (1 + x_{ki}) = 10,796 \cdot (1 + 0,0135) = 10,942 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

A helyiség hőterhelése, pontosabban fűtési hő szükséglete

$$\dot{Q} = \dot{m}_{nl} \cdot \Delta h = 10,942 \cdot 17,5 = 191,485 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

A helyiség nedvesség terhelése, melyet a szellőző levegő elszállít

$$\dot{m}_{nedv} = \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x = 10,796 \cdot 0,003 = 0,0324 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

11. Mennyi hőteljesítmény szükséges a 10. feladatban leírt szellőztetés megoldásához, ill. mennyi pótvíz/csapadék hozzávezetése/elvezetése szükséges, ha a környezeti állapotú levegő 9 °C hőmérsékletű és relatív nedvességtartalma 90 %. Az esetleg szükséges porlasztás hatásfokát 40 %-nak veheti.

**Megoldás**

A környezeti állapotú levegő entalpiája kb. 25 kJ/kg. Figyelemmel a 10. feladat adataira és az ott meghatározott értékekre a teljes hő szükséglet

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_{nl} \cdot (h_{be} - h_{kő}) = 10,942 \cdot (75 - 25) = 547,1 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

Ezt azonban két részletben kell közölni a szellőző levegővel. Az előfűtés a környezeti hőmérsékletről 47 °C-ra (A pont) történik, majd a nedvesítés után, az utófűtéssel állítjuk be a 33,5 °C hőmérsékletet.

$$\dot{Q}_{ef} = \dot{m}_{nl} \cdot (h_A - h_{k\ddot{o}}) = 10,942 \cdot (63 - 25) = 415,8 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

$$\dot{Q}_{uf} = \dot{m}_{nl} \cdot (h_{be} - h_A) = 10,942 \cdot (75 - 63) = 131,3 \left( \frac{kJ}{s} \right)$$

A nedvesítés során az abszolút nedvességtartalom változása  $0,0165 - 0,0065 = 0,01 \text{ kg/kg}$ .  
A pótvíz mennyisége, figyelemmel a porlasztás hatásfokára:

$$\dot{m}_{pviz} = \dot{m}_{szl} \cdot \Delta x \cdot \frac{1}{\eta_p} = 10,796 \cdot 0,01 \cdot \frac{1}{0,4} = 0,27 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

azaz óránként kb. 972 liter pótvízre van szükség.