

külön erre a célra beépített utóhűtővel a folyadékállapotú közeg a felhűtési hőmérséklet alá hűtjük. Ezáltal a fojtás 4" végállapota az előző körfolyamatéhoz képest balra kerül, s így gőztartalma kisebb lévén a hűtőtérben nagyobb hőt vehet fel. A kompresszor munka csökkentése többfokozatu kompresszió segítségével lehetséges.

### Hőszivattyu

A hűtőgépek körfolyamata a hőerőgépek körfolyamatának megfordításaként adódik. A hűtőkörfolyamat segítségével munkabefektetés árán a hő alacsonyabb hőmérsékletre magasabb szintre emelhető. Aszerint, hogy a körfolyamatban az alsó és a felső hőmérsékletszint a környezet-hez képest hol helyezkedik el, változik a körfolyamat célja.

Hűtőgépeknél a cél az, hogy a környezeténél alacsonyabb hőmérsékleten hőt vonjunk el a hűtendő térből. Ezzel szemben célul tűzhető ki, hogy a környezetnél magasabb hőmérsékleten értékesítjük a körfolyamatból elvont hőt. Ilyen esetben szokás hőszivattyuról beszélni. A hőszivattyu körfolyamata lényegében azonos a hűtőkörfolyamattal, csak a hőmérsékletkorlátok tolnak el a magasabb szintek felé és a cél a leadott hő értékesítése. A körfolyamat teljesítménytényezője itt is annál nagyobb, minél közelebb esnek a hőmérsékletkorlátok egymáshoz.

A teljesítménytényező úgy értékelendő, hogy a befektetett munka többszörösének megfelelő hőt (energiát) lehet a hőszivattyu segítségével magasabb hőmérsékletszintre emelni, és ez bizonyos esetekben gazdaságos lehet. Így pl. a hőszivattyu fűtési célokra abban az esetben gazdaságos, ha annak révén olcsóbb hőt nyerünk, mint amennyibe a hőszivattyu hajtására felhasznált elektromos energia előállításába kerül.

Ipari célokra mindenképpen gazdaságos a hőszivattyu, mert itt rendszerint a közel eső hőmérsékletkorlátok következtében a teljesítménytényező nagyra adódik.

## 5.5. Keverékek termodinamikája

### 5.5.1. Általános összefüggések

A műszaki gyakorlatban gyakran több különböző anyag keverékével kell számolnunk. A következőkben olyan alkotókból álló keverékekről lesz szó, amelyeknél kémiai reakció nem játszódik le. Az ilyen keverékekre általánosságban a következők érvényesek.

### Tömeg szerinti összetétel

Ha egy keverék alkotóinak tömege sorra  $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n$  és a keverék tömege

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_n,$$

akkor az egyes alkotók tömegaránya:

$$\xi_1 = \frac{m_1}{m}; \xi_2 = \frac{m_2}{m}; \dots \xi_i = \frac{m_i}{m}; \dots \xi_n = \frac{m_n}{m}$$

és

$$\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_i + \dots + \xi_n = 1.$$

### Molmenyiségek szerinti összetétel

A keverék alkotóinak molokban kifejezett mennyiségeire felírható, hogy

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_n,$$

s ezzel a molarány:

$$\psi_1 = \frac{n_1}{n}; \psi_2 = \frac{n_2}{n}; \dots \psi_i = \frac{n_i}{n}; \dots \psi_n = \frac{n_n}{n}.$$

amelyekre ismét felírható a

$$\psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_i + \dots + \psi_n = 1.$$

kapcsolat.

Jelöljük az egyes alkotók moltömegét  $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$ -nel, a keverékét pedig  $M$ -mel. Irható, hogy

$$m_1 = n_1 M_1; m_2 = n_2 M_2; \dots m_i = n_i M_i; \dots m_n = n_n M_n,$$

és

$$m = nM.$$

Ezekkel azután a tömeg- és molarányok közötti kapcsolat:

$$\xi_1 = \frac{M_1}{M} \psi_1; \xi_2 = \frac{M_2}{M} \psi_2; \dots \xi_i = \frac{M_i}{M} \psi_i; \dots \xi_n = \frac{M_n}{M} \psi_n, \quad 5.18$$

Rendezés és összegezés után a keverék moltömege a tömegarányok ismeretében az

$$\frac{1}{M} = \frac{\xi_1}{M_1} + \frac{\xi_2}{M_2} + \dots + \frac{\xi_i}{M_i} + \dots + \frac{\xi_n}{M_n} \quad 5.19a$$

kifejezésből számítható.

Ha viszont a molarányok ismertek, akkor a keverék moltömege

$$M = M_1 \psi_1 + M_2 \psi_2 + \dots + M_i \psi_i + \dots + M_n \psi_n. \quad 5.19b$$

Különböző keverékek esetében az egyes alkotók parciális (v. rész-) nyomását is szokás megadni. Az egyes alkotók parciális nyomása a molszázalékkal arányos:

$$p_1 = \psi_1 p; p_2 = \psi_2 p; \dots p_i = \psi_i p; \dots p_n = \psi_n p. \quad 5.20$$

Természetesen a keverék  $p$  össznyomása a résznyomások összegével egyenlő:

$$p_1 + p_2 + \dots + p_i + \dots + p_n = (\psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_i + \dots + \psi_n) p = p.$$

A parciális nyomásokra vonatkozó 5.20 összefüggés ideális és reális gázok, sőt folyadékok keverékére egyaránt érvényes.

### 5.5.2. Ideális gázok keveréke

A műszaki gyakorlatban sok esetben olyan feladatok adódnak, amelyekben különféle gázokból álló keverékek viselkedése jó közelítéssel azonosnak vehető az ideális gázéval. Ez alacsony nyomások esetén tekinthető érvényesnek.

Az ilyen keverék tehát különböző ideális gázból áll. A keverék kialakulását a következő modell szerint képzelhetjük el. Egy adiabatikus keverőtérben helyezük el úgy a gázkomponenseket, hogy azok egymástól diatermikus fallal elválasztva azonos nyomásuak és hő-

mérsékletük legyenek. Az egyes gázalkotók által ilyen állapotban elfoglalt térfogatok sorra:

$$V_1 = m_1 R_1 \frac{T}{p}; V_2 = m_2 R_2 \frac{T}{p}; \dots V_i = m_i R_i \frac{T}{p} \dots V_n = m_n R_n \frac{T}{p}.$$

Ezután a diatermikus falakat eltávolítva végbemegy az egyes alkotók összekeveredése. Ennek végén a megfigyelés szerint a keverék nyomása és hőmérséklete változatlan marad. A keverék térfogata az egyes alkotók által elfoglalt térfogatok összege:

$$V = V_1 + V_2 + \dots V_i + \dots V_n = (m_1 R_1 + m_2 R_2 + \dots m_i R_i + \dots + m_n R_n) \frac{T}{p}.$$

Másrészt a keverékre, mint ideális gázra írható

$$V = mR \frac{T}{p}.$$

Az előbbivel való összevetés alapján a keverék gázállandójára az

$$R = \xi_1 R_1 + \xi_2 R_2 + \dots + \xi_i R_i + \dots + \xi_n R_n \quad 5.21$$

összefüggést kapjuk. Ez akkor használható, ha a keverék összetétele tömegarányok szerint ismert. Ha viszont a molarányok ismertek, akkor az 5.19b összefüggés alapján a keverék mólómege, majd az

$$R = \frac{R^*}{M}$$

kapcsolatból a gázállandó is meghatározható.

Az ideális gázalkotókból álló keverékre érvényes a Dalton-f. törvény, amely szerint minden gázalkotó saját résznyomásán kitölti a rendelkezésre álló térfogatot. Ezek szerint az egyes alkotókra a gáz törvény a következőképpen írható fel:

$$p_1 V = n_1 M_1 R_1 T$$

$$p_2 V = n_2 M_2 R_2 T .$$

·  
·  
·

Az egész keverékre tehát

$$(p_1 + p_2 + \dots) V = (n_1 + n_2 + \dots) R^* T$$

$$pV = n R^* T$$

Sok esetben a gázkeverékből adódóan a gázkeverék térfogat szerinti összetétele ismert. Az i-edik alkotó térfogataránya

$$r_i = \frac{V_i}{V} .$$

amelyben a V keverék térfogata, V<sub>i</sub> pedig a kérdéses alkotó térfogata, amelyet a keverék hőmérsékletén és nyomásán venne fel. Eszerint tehát

$$V_i = m_i \frac{R_i T}{p} .$$

A térfogatarányra ezzel az

$$r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{m_i R_i T}{pV} = \frac{p_i}{p} = \psi_i \quad 5.22$$

összefüggés adódik, amely szerint ideális gázok keverékében a térfogatarányok megegyeznek a molarányokkal. A keverék mólómege tehát az

$$M = M_1 r_1 + M_2 r_2 + \dots + M_i r_i + \dots + M_n r_n$$

összefüggésből meghatározható.

A térfogatarányok és a keverék mólómege ismeretében a tömegarányok (és viszont) is számíthatók:

$$r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{R_i m_i}{R m} = \frac{M}{M_i} \xi_i \quad 5.23$$

A keverék kalorikus állapotjelzői ideális gázra a következő módon számíthatók. A belső energiára az

$$U = mu = m_1 u_1 + m_2 u_2 + \dots$$

és a fajlagos belső energiára az

$$u = \xi_1 u_1 + \xi_2 u_2 + \dots$$

adódik. Hasonlóképpen kapjuk az entalpiára a

$$H = mh = m_1 h_1 + m_2 h_2 + \dots,$$

ill. a

$$h = \xi_1 h_1 + \xi_2 h_2 + \dots$$

összefüggéseket. A keverék belső energiájának változására az

$$m c_v \Delta T = (m_1 c_{v1} + m_2 c_{v2} + \dots) \Delta T,$$

ill. entalpiaváltozására az

$$m c_p \Delta T = (m_1 c_{p1} + m_2 c_{p2} + \dots) \Delta T$$

kifejezéseket felírva a keverék fajhőjére a

$$c_v = \xi_1 c_{v1} + \xi_2 c_{v2} + \dots,$$

ill. a

$$c_p = \xi_1 c_{p1} + \xi_2 c_{p2} + \dots$$

kapcsolatok adódnak. Most is érvényes a fajhők különbségére a

$$c_p - c_v = R$$

összefüggés. A fentiekhez hasonlóak írhatók fel a közepes fajhőkkel kapcsolatban is.

A gázkeverék entrópiájára az ideális gázra érvényesek alapján kapunk összefüggést. A  $p$  nyomású és  $T$  hőmérsékletű  $i$ -edik gázalkotóra felírható:

$$s_i(p, T) = \int_{T_0}^T c_{pi}(T) \frac{dT}{T} - R_i \ln \frac{p}{p_0} + s_{oi}(p_0, T_0);$$

ahol  $p_0, T_0, s_{oi}$  a kezdeti állapotjelzők.

Az  $n$  gázalkotóból álló  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  összetételű,  $T$  hőmérsékletű keverék  $s_k$  entrópiája az egyes alkotók entrópiájának összegezésével adódik, ahol figyelembe kell venni, hogy a gázalkotók parciális nyomása  $p_1, p_2, \dots, p_n$ .

$$s_{kev} = \sum_1^n s_i(p, T) = \int_{T_0}^T (\xi_1 c_{p1} + \xi_2 c_{p2} + \dots) \frac{dT}{T} - (\xi_1 R_1 \ln \frac{p_1}{p_0} + \xi_2 R_2 \ln \frac{p_2}{p_0} + \dots) + s_{okev}$$

összefüggésből számítható, amelyben  $s_{okev}$  a keverék entrópiája  $p_0$  és  $T_0$  állapotban. Ezt a keverék  $c_{pkev}$  fajhőjére és  $R_{kev}$  gázállandójára már korábban kapott összefüggések felhasználásával kissé átalakítva a keverék entrópiájára írható:

$$s_{kev} = \int_{T_0}^T c_{pkev} \frac{dT}{T} - R_{kev} \ln \frac{p}{p_0} - [\xi_1 R_1 \ln \frac{p_1}{p} + \xi_2 R_2 \ln \frac{p_2}{p} + \dots] + s_{okev}$$

Az összefüggésben a

$$\Delta s_{kev} = [\xi_1 R_1 \ln \frac{p_1}{p} + \xi_2 R_2 \ln \frac{p_2}{p} + \dots] = -R_{kev} [\gamma_1 \ln \gamma_1 + \gamma_2 \ln \gamma_2 + \dots]$$

az ún. keveredési entrópia, amely mindig pozitív, mivel  $\gamma_i = \frac{p_i}{p} < 1$ . A kifejezésekből láthatóan a keveredési entrópia kizárólag csak a keverék összetételétől függ. A keverék entrópiájára végül is az

$$s_{kev} = s_{okev} + \int_{T_0}^T c_{pkev} \frac{dT}{T} - R_{kev} \ln \frac{p}{p_0} + \Delta s_{kev}$$

kifejezést kapjuk.

Amint ebből a kifejezésből látható, a  $s_{kev}$  keveredési entrópia azt az entrópiánövekedést jelenti, amely az alkotó gázok összekeveredése során a keveredési folyamat (fojtás) irreverzibilitása miatt létrejön.

Ha a gázkeverék változatlan összetétel mellett állapotváltozáson megy keresztül, akkor az eközben kialakuló entrópiaváltozást az

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

összefüggésből számíthatjuk, mivel a keveredési entrópia a különbségképzésnél elmarad. Ennek folytán pl. a több gázból álló levegő is egységes ideális gázként kezelhető.

## 5.6. A nedves levegő

A szárítástechnikában és a klimatechnikában nagy szerepe van az olyan keverékeknek, amelyek két alkotóelemből állnak. Ezek közül az egyik gázként kezelhető, mivel állapota az alkalmazás során igen messze esik a kritikus állapottól. A másik alkotóelem ezzel szemben az állapotváltozások során halmazállapotváltozást is szenvedhet, így állapota közel esik a kétfázisú mezőhöz, ezért gőzként fogható fel.

Ilyen kétalkotós keverék a nedves levegő, amely az atmoszférában is megtalálható. Ebben a gáz a levegő, amely maga is több komponens keveréke, de amely a gyakorlatban használatos hőmérséklet- és nyomásviszonyok mellett ideális gázként kezelhető. A másik alkotórész a víz, ill. a vízgőz ( $H_2O$ ), amely az alacsony parciális nyomás következtében ugyancsak ideális gázként fogható fel; ez a gyakorlat igényeit kielégítő pontosságot jelent.

A hőmérséklettől függően többféle állapota nedves levegő keverékről beszélhetünk. Ezek a következők:

Telítetlen levegő, amely csak tulhevített vízgőzt tartalmaz. Ebben az esetben a levegőben levő vízgőz  $p_g$  parciális nyomása kisebb, mint a keverék hőmérsékletéhez tartozó  $p_{tel}$  telítési gőznyomás:  $p_g < p_{tel}$ . Másként is fogalmazhatunk. A vízgőz tulhevített, mert hőmérséklete nagyobb, mint a  $p_g$  parciális nyomáshoz tartozó telítési hőmérséklet.

Telített levegő folyékony csapadékkal, amelyben a vízgőz parciális nyomása megegyezik a telítési gőznyomással és folyékony víz is jelen van. Ebben az esetben a levegő hőmérséklete a hármaspont hőmérsékleténél nagyobb:  $t > 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$  és  $p_g = p_{tel}$ .

Telített levegő szilárd kondenzátummal, amikor  $p_g = p_{tel}$ , de  $t < 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ , s így a nedves levegő telített vízgőzön kívül még szilárd halmazállapotú (jég, dér stb.) kondenzátumot is tartalmaz.

Meg kell jegyezni, hogy a keverékben levő vízgőzre a jelenlevő gáz miatt a hőmérsékletéhez tartozó telítési nyomásérték eltér attól a telítési nyomástól, ami tiszta víz felett saját folyadékával érintkező gőzben uralkodna. Az eltérés azonban kb.  $p \approx 10$  bar nyomás esetén olyan kicsi, hogy a gyakorlatban elhanyagolható. Ezért általában a nedves levegő technikában a vízgőz-táblázatokban található telítési nyomásértékeket szokták figyelembe venni.

A nedves levegő állandó össznyomás mellett lehülése következtében a vízgőz állapota egyre közelebb kerül a telítési gőzállapothoz. Amint a hőmérséklet a parciális gőznyomáshoz tartozó telítési hőmérsékletet eléri (a vízgőz felső határgörbéjéhez tartozó állapot), a gőz kezd kondenzálódni. Ezt az állapotot harmatpontnak szokás nevezni, adott keverékösszetétel esetén az ehhez tartozó hőmérséklet a harmatpont hőmérséklete.

### 5.6.1. A nedves levegő jellemzői

A két komponensű nedves levegő tömege

$$m = m_l + m_g$$

és tömegarányai

$$\xi_1 = \xi_l = \frac{m_l}{m}$$

$$\xi_2 = \xi_g = \frac{m_g}{m}$$

A gyakorlatban ezek helyett a nedves levegőben levő  $H_2O$  részarányát a száraz levegő mennyiségére szokás vonatkoztatni. Így a nedvességtartalom

$$x = \frac{m_g}{m_l}$$

5.24

A kétféle jelölés közötti kapcsolatot a

$$\xi_g = \frac{x}{x+1} \quad \text{és} \quad x = \frac{\xi_g}{1-\xi_g}$$

kifejezések szolgáltatják.

Mivel a keverék alkotói ideális gázként kezelhetők, telítetlen nedves levegőre írható:

$$p_g = m_g R_g \frac{T}{V}$$

és

$$p_l = m_l R_l \frac{T}{V}$$

A két összefüggésből a száraz levegőre vonatkozó nedvességtartalom:

$$x = \frac{m_g}{m_l} = \frac{p_g R_l}{p_l R_g}$$

A levegő gázállandója  $R_l \cong 287 \text{ J/kgK}$  és a vízgőzé  $R_g \cong 461 \text{ J/kgK}$ .

Ezekkel, valamint figyelembe véve, hogy a keverék össznyomása  $p = p_l + p_g$ , az  $x$  nedvességtartalomra az

$$x \cong 0,622 \frac{p_g}{p_l} = 0,622 \frac{p_g}{p - p_g}$$

eredményt kapjuk.

A nedves levegő sűrűsége a gáztörvény felhasználásával

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_l + m_g}{V} = \frac{p_l}{R_l T} + \frac{p_g}{R_g T} = \frac{p}{R_l T} - \left( \frac{1}{R_l} - \frac{1}{R_g} \right) \frac{p_g}{T}$$

Miután az első tag a  $p$  össznyomású száraz levegő sűrűsége, látható, hogy a nedves levegő sűrűsége mindig kisebb a száraz levegő sűrűségénél.

Ha a levegőben levő nedvesség résznyomása a telítési nyomást eléri, akkor a nedves levegő telítetté válik. Ebben az esetben a nedvességtartalom

$$x_{tel} = 0,622 \frac{p_{tel}}{p - p_{tel}}$$

és a sűrűség:

$$\rho_{tel} = \frac{p}{R_l T} - \left( \frac{1}{R_l} - \frac{1}{R_g} \right) \frac{p_{tel}}{T}$$

A nedves levegő abszolút nedvessége alatt a vízgőz sűrűségét értjük:

$$\rho_g = \frac{p_g}{R_g T}$$

5.25

Az abszolút nedvesség a telítési állapotban a legnagyobb; ez az érték:

$$\rho_{tel} = \frac{p_{tel}}{R_g T}$$

A gyakorlatban a relatív nedvességet szokás használni. Relatív nedvesség alatt a

$$\varphi = \frac{\rho_g}{\rho_{tel}} = \frac{p_g}{p_{tel}}$$

5.26

hányadost értjük. Az  $x$  nedvességtartalom a  $\varphi$  relatív nedvességgel is kifejezhető:

$$x = 0,622 \frac{p_{tel}}{\frac{p}{\varphi} - p_{tel}}$$

5.27a

és a relatív nedvesség:

$$\varphi = \frac{x}{0,622 + x} \frac{p}{p_{tel}}$$

5.27b

## Állapotjelzők

A nedves levegő állapotjelzőit 1 kg száraz levegőre is szokás vonatkoztatni. Ez  $1+x$  kg keveréknek felel meg.

A nedves levegő fajtérfogata tehát

$$v_{1+x} = \frac{V}{m_\ell},$$

a szokásos definíció szerint

$$v = \frac{V}{m_\ell + m_g}.$$

Ezek szerint tehát a két mennyiség között a

$$v_{1+x} = v(1+x)$$

kapcsolat áll fenn. Telítetlen nedves levegő esetében

$$v_{1+x} = \frac{R_g T}{p} \left( \frac{R_\ell}{R_g} + x \right) = \frac{R_g T}{p} (0,622+x),$$

telített levegő esetén (elhanyagolva a csapadék fajtérfogatát)

$$v_{1+x, \text{tel}} = \frac{R_g T}{p_{\text{tel}}} (0,622+x_{\text{tel}}).$$

A nedves levegő entalpiája a két alkotó entalpiájának összege:

$$H = m_\ell h_\ell + m_g h_g.$$

Az entalpiát  $m_\ell$  tömegű száraz levegőre vonatkoztatva az a

$$h_{1+x} = \frac{H}{m_\ell} = h_\ell + x h_g$$

alakban írható. A levegő és a vizgőz entalpiáját egyaránt  $t=0$  °C-tól szokás számítani.

A levegő entalpiája a fajhővel arányos

$$h_\ell = c_{p\ell} t,$$

ahol  $c_{p\ell} \cong 1,006$  kJ/kg fok a szokásos hőmérséklet tartományban állandónak tekintett fajhő.  
Az ideális gáznak tekinthető túlhevített vizgőz entalpiája

$$h_g = r_o + c_{pg} t,$$

ahol  $r_o \cong 2500$  kJ/kg a víz párolgáshője 0 °C-on és  $c_{pg} \cong 1,86$  kJ/kg fok a vizgőz állandónak vett fajhője.

Ezzel azután felírható a nedves levegő entalpiája. Telítetlen levegő esetében

$$h_{1+x} = c_{p\ell} t + x(r_o + c_{pg} t).$$

Telített levegő esetében a csapadék entalpiáját is figyelembe kell venni. Így

$$h_{1+x} = c_{p\ell} t + x_{\text{tel}}(r_o + c_{pg} t) + (x - x_{\text{tel}}) c_f t,$$

ahol  $x - x_{\text{tel}}$  a folyékony csapadék mennyisége 1 kg száraz levegőre vonatkoztatva és  $c_f \cong 4,19$  kJ/kg fok a folyékony víz fajhője.

Szilárd csapadék jelenlétében az entalpiára a

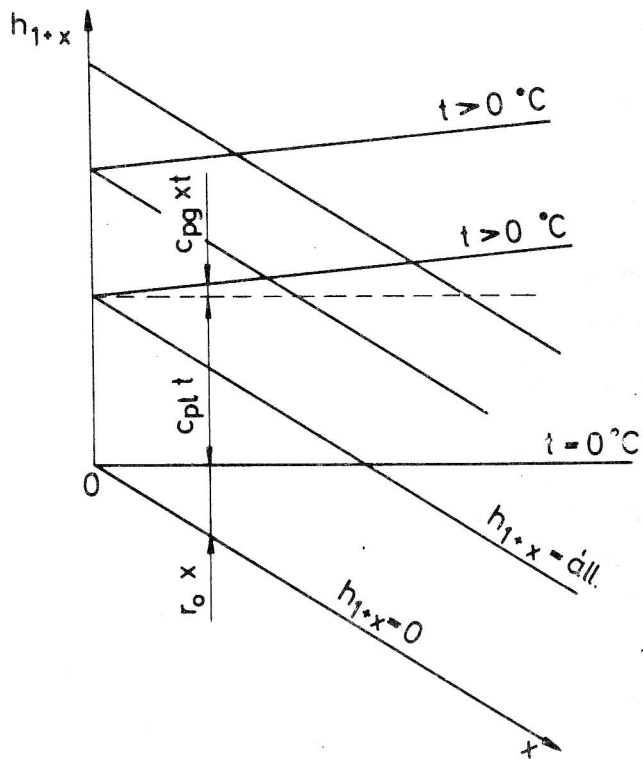
$$h_{1+x} = c_{p\ell} t + x_{\text{tel}}(r_o + c_{pg} t) - (x - x_{\text{tel}})(r_j - c_j t)$$

összefüggés érvényes, amelyben  $r_j \cong 333,4$  kJ/kg a jég dermedési hője és  $c_j$  a jég fajhője. Ez utóbbi a hőmérséklettől függ, átlagosan azonban  $c_j \cong 2,05$  kJ/kg fok értékkel szokás figyelembe venni.

## 5.6.2. A nedves levegő h,x diagramja

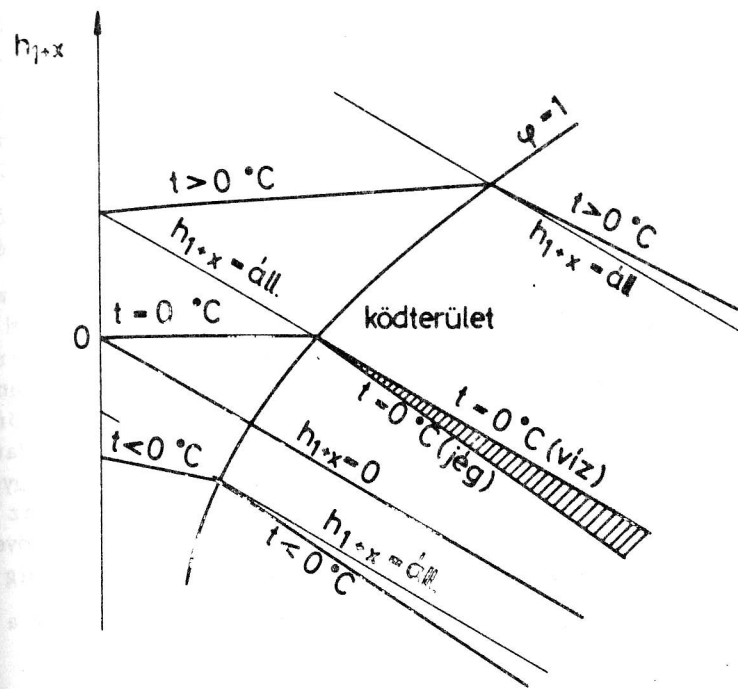
A nedves levegő állapotváltozásainak ábrázolására célszerűen használható a h,x diagram, amelyet a 96. ábrán láthatunk. A diagram felépítése az ábra kapcsán a következő. A diagram vízszintes tengelye a  $t=0$  °C-nak felel meg. Az ettől lefelé az origóból huzott ferde egyenes metszései a keverék nedvességtartalmának x-szel arányos párolgási hőjét ábrázolják. Ez a ferde egyenes a nedvességtartalom (x) tengely, amelynek pontjai a  $h_{1+x} = 0$  entalpiának felelnek meg. A h=áll.

vonalak tehát ezzel a ferde tengellyel párhuzamos egyenesek. Az origóból huzott vízszintes egyenestől felfelé mértetől fel, a  $c_{pl} t$  tag, amely minden egyes  $t$  hőmérsékletre meghatározott érték. Az  $x=0$  esetben (száraz levegő) - a függőleges tengelyen - a keverék entalpiája éppen  $c_{pl} t$  érték. A  $c_{pl} t = \text{áll.}$  vízszintestől mérhető fel az entalpia kifejezésének harmadik tagja, a  $c_{pg} x t$  érték. Ezzel az  $x$ -szel növekvő ferde egyenest kapunk, amelyetől a diagram ferde tengelyéig mért metszék az entalpiával arányos. Különböző hőmérsékleteknél a ferde egyenes hajlásszöge változik, mivel a  $c_{pg} t$  iránytangens is változik.

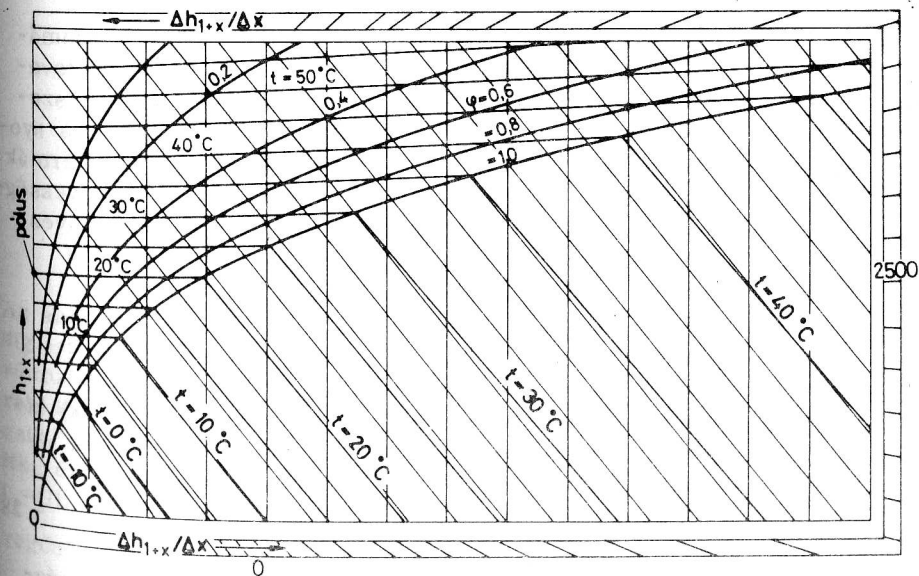


96. ábra

A  $h, x$  diagramba berajzolható a  $\varphi=1$  relatív nedvességtartalom görbéje (telítési görbe). Ez alatt a görbe alatt helyezkedik el az ún. ködterület (97. ábra) amelyben az izotermák már más irányban haladnak. A telített nedves levegőre érvényes



97. ábra



98. ábra

$$h_{1+x} = h_{1+x, \text{tel}} + (x-x_{\text{tel}}) c_f t$$

entalpia kifejezés szerint  $t = \text{áll.}$  esetben az entalpia az  $x$ -szel lineárisan nő. A ködterületen tehát az izotermák egyenesek, amelyek a  $h_{1+x, \text{tel}} = \text{áll.}$  ferde egyenestől  $t > 0^\circ\text{C}$  esetén felfelé,  $t < 0^\circ\text{C}$  esetén lefelé térnek el. Ha  $t = 0^\circ\text{C}$ , akkor a ködterületen a folyadék-izoterma egybeesik a  $h_{1+x, \text{tel}} = \text{áll.}$  egyenessel. A  $t = 0^\circ\text{C}$  hőmérsékletű szilárd csapadéokra ennél jobban lefelé hajó egyenes rajzolható meg.

A  $h, x$  diagram egy adott  $p$  össznyomásra érvényes, mivel adtai (elsősorban a relatív nedvességtartalom) erre a  $p$  nyomásra érvényesek. Egy teljes  $h, x$  diagramot tüntet fel a 98. ábra. A diagramba be vannak rajzolva a  $\varphi = \text{áll.}$  ( $\varphi < 1$ ) relatív nedvességtartalom görbék. Ezen kívül a diagram kerületén elhelyezett léptékcikokban egyenes darabok vannak berajzolva, amelyek a diagram kezdőpontjából húzott egyenestől nemesreg részei. Valemennyi egyenessugár irányában az entalpia az  $x$  nedvességtartalom függvényében meghatározott konstans értékkel növekszik. Így pl. a lefelé haladó  $x$  tengelyre a  $\Delta h_{1+x} / \Delta x = 0$ , míg a pólusból húzott vízszintes egyenes ( $t = 20^\circ\text{C}$ ) az előzőek alapján a  $\Delta h_{1+x} / \Delta x = 2500 \text{ kJ/kg}$  értéknek felel meg.

### 5.6.3. A $h, x$ diagram különböző nyomásokra

Adott  $p$  össznyomásra szerkesztett  $h, x$  diagram más nyomásokra is használható, ha ezek nem tulságosan eltérők. A nedves levegő esetében mindig ez a helyzet. Ekkor az entalpia kifejezésében szereplő fajhők jó közelítéssel állandónak vehetők, s így az entalpia a nyomástól függetlennek tekinthető. Ezért a telítetlen mezőben az izotermák más nyomások esetében is változatlanok maradnak. A relatív nedvességtartalom görbéi is maradnak, de skálázásuk eltolódik. Az  $x$  nedvességtartalomra felírt kifejezést ui. átalakítva a

$$\frac{p}{\varphi} = \frac{0,622 + x}{x} p_{\text{tel}}$$

alakhoz jutunk, ami szerint adott izotermán ( $p_{\text{tel}}$  rögzített érték) kijelölt  $x$  nedvességtartalomhoz

$$\frac{p}{\varphi} = \text{áll.}$$

tartozik. Eszerint a  $p$  össznyomás növelése a  $\varphi$  relatív nedvességtartalom növekedését jelenti ugyanabban a  $h, x$  diagramban. Ennek