AX-Suunnittelu

Sasu Karkiainen

SSTY - KUVANTAMISLAITTEEN KÄYTTÖYMPÄRISTÖ 22.10.2019 Tampere

Ilman fysikaaliset ominaisuudet

Kuiva ja kostea ilma

Kuiva ilma on kaasujen seos

- Typpi 78 %
- Happi 21 %
- Argon ~1 %
- Hiilidioksidi ~0,04 % (400 ppm)

Kostea ilma on ilman ja vesihöyryn muodostama seos

Ilmastointiprosesseissa kiinnostavia ominaisuuksia ja suureita ovat

- Lämpötila
- Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus
- Kastepiste(lämpötila)
- Tiheys
- Ominaislämpökapasiteetti ja entalpia



Mollier-diagrammi

Kostean ilman ominaisuudet on kätevä esittää Mollier-diagrammilla

Mollier-diagrammin avulla voidaan helposti ja havainnollisesti tarkastella myös ilmastointiprosesseja

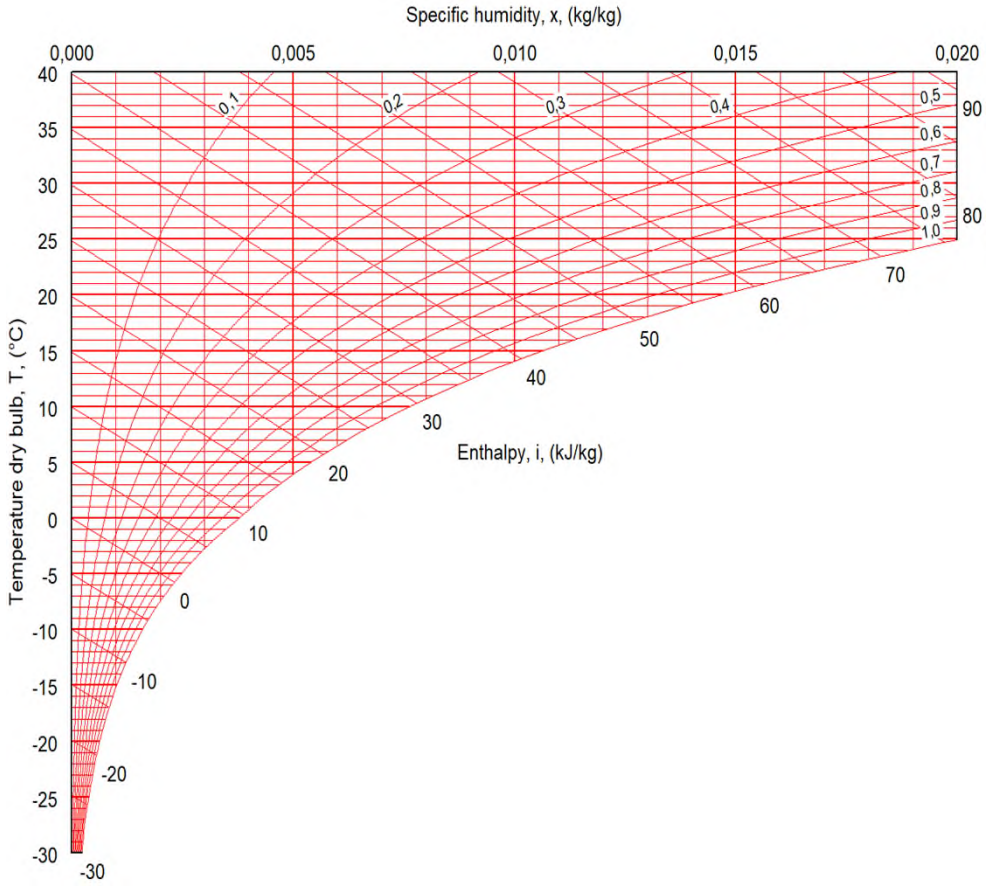
Ilmastointiprosesseissa käsitellään yleensä ilman tilavuusvirtoja

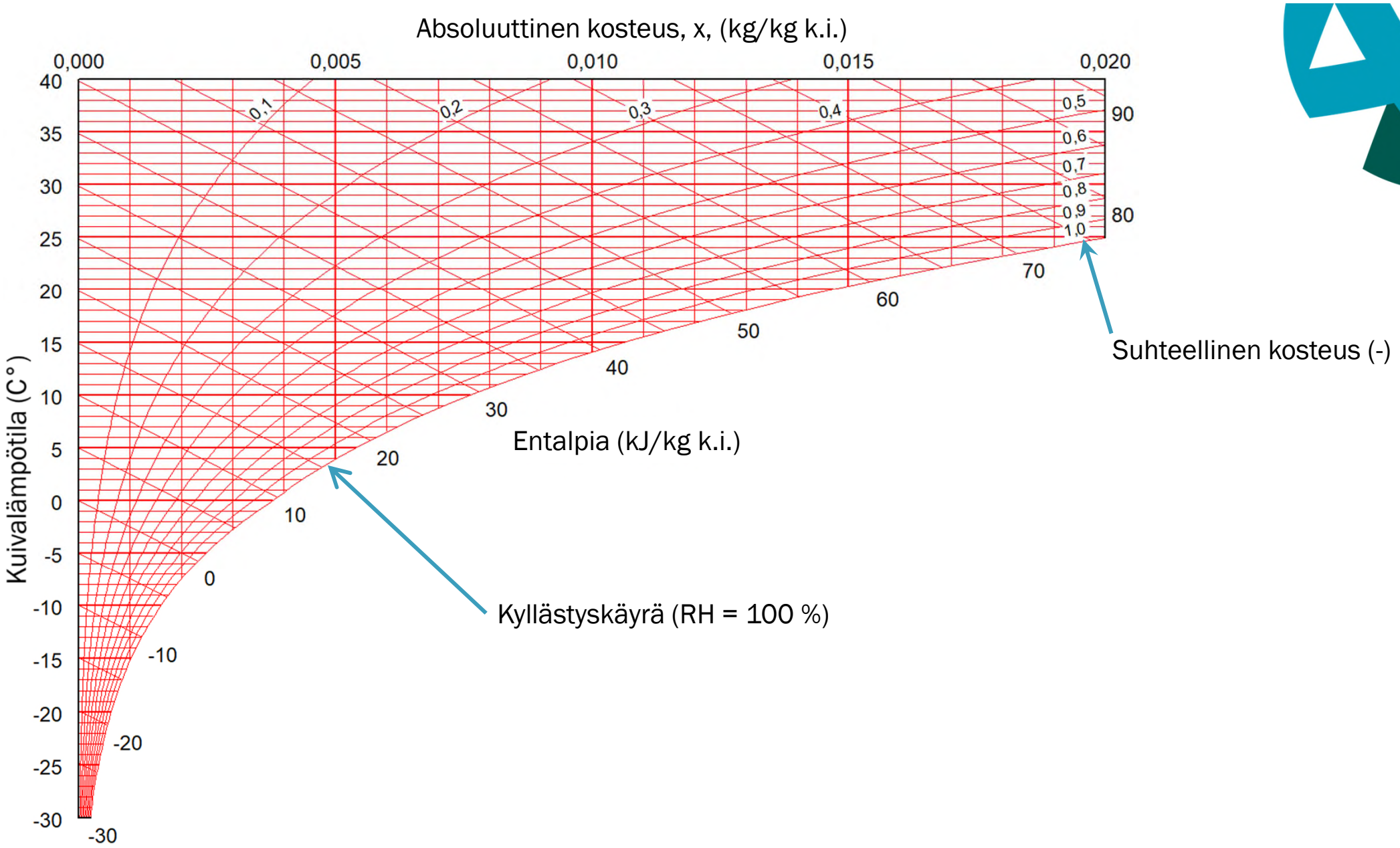
- Kertomalla tilavuusvirta ilman tiheydellä (1,2 kg/m^3) saadaan ilman massavirta (kg/s)

Ilmastointiprosesseissa kuivan ilman massavirta pysyy vakiona, mutta vesihöyryn määrä voi vaihdella

- Diagrammissa absoluuttisen kosteuden ja entalpian arvot on esitetty kuivaa ilmakiloa kohti

Tarjolla ilmaissovelluksia, esim. tässä esityksessä käytetyt kuvat on laadittu Mollier Sketcherillä
https://www.ivprodukt.com/software/mollier-sketcher




Absoluuttinen kosteus, x, (kg/kg k.i.)
0,000
0,005
0,010
0,015
0,020
Kuivalämpötila (C°)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
Entalpia (kJ/kg k.i.)
Suhteellinen kosteus (-)
Kyllästyskäyrä (RH = 100 %)

Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus

Absoluuttinen kosteus on ilman sisältämän veden massa kuivaa ilmakiloa kohti

$$x = \frac{m_h}{m_i} \quad \left(\frac{\text{g}}{\text{kg k.i.}} \text{ tai } \frac{\text{kg}}{\text{kg k.i.}}\right)$$

- Yksikkö g/kg k.i. tai kg/kg k.i.
- Muuttuu vain, jos ilmasta poistetaan tai siihen lisätään vettä

Suhteellinen kosteus kuvaa ilman vesisisältöä suhteessa ilman kykyyn sitoa kosteutta

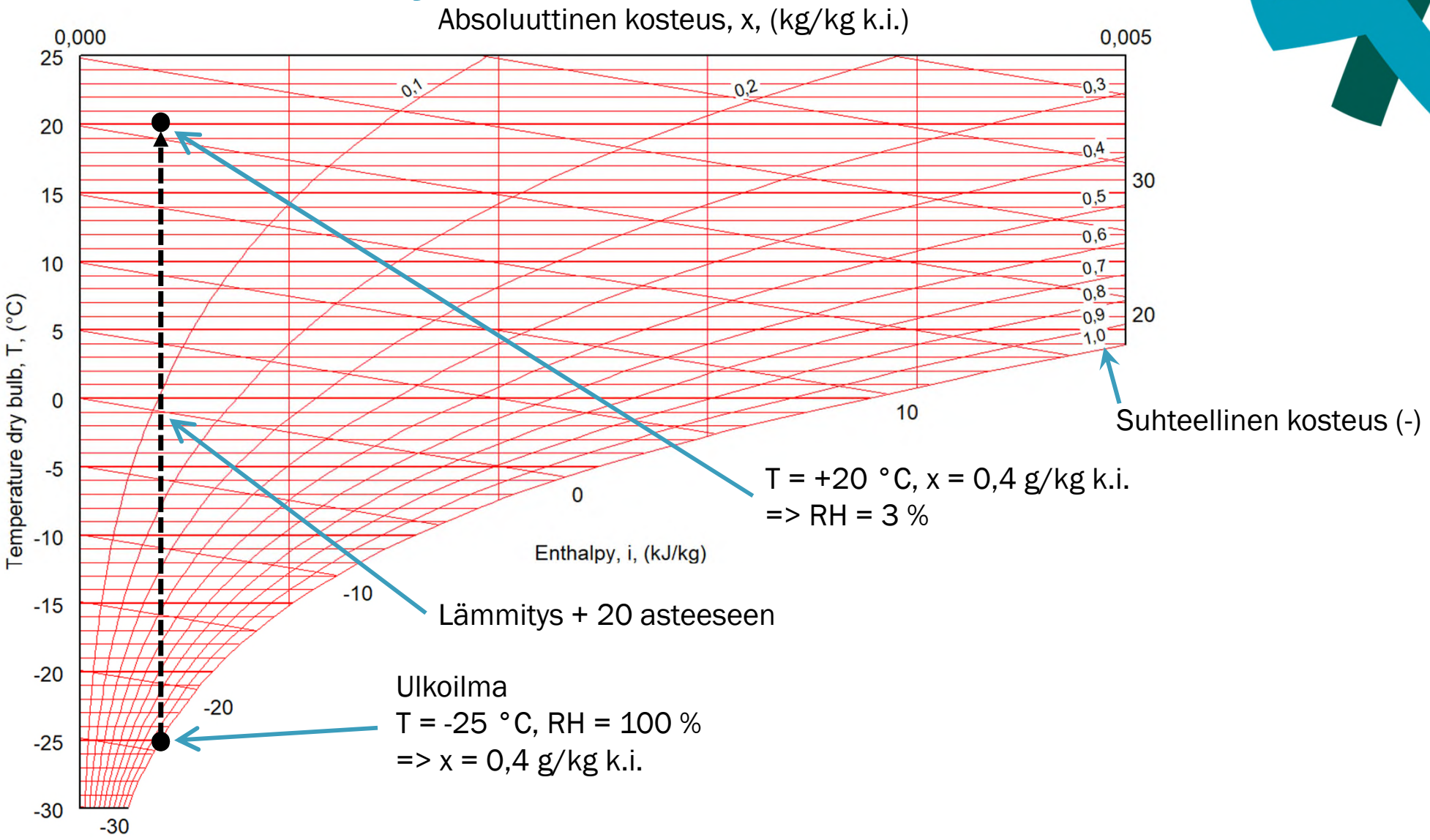
$$RH = 100 \times \frac{p_h}{p_{hs}}$$

missä p_{hs} kylläisen höyryn paine kyseisessä lämpötilassa ja p_h vesihöyryn osapaine kyseisessä olosuhteessa.

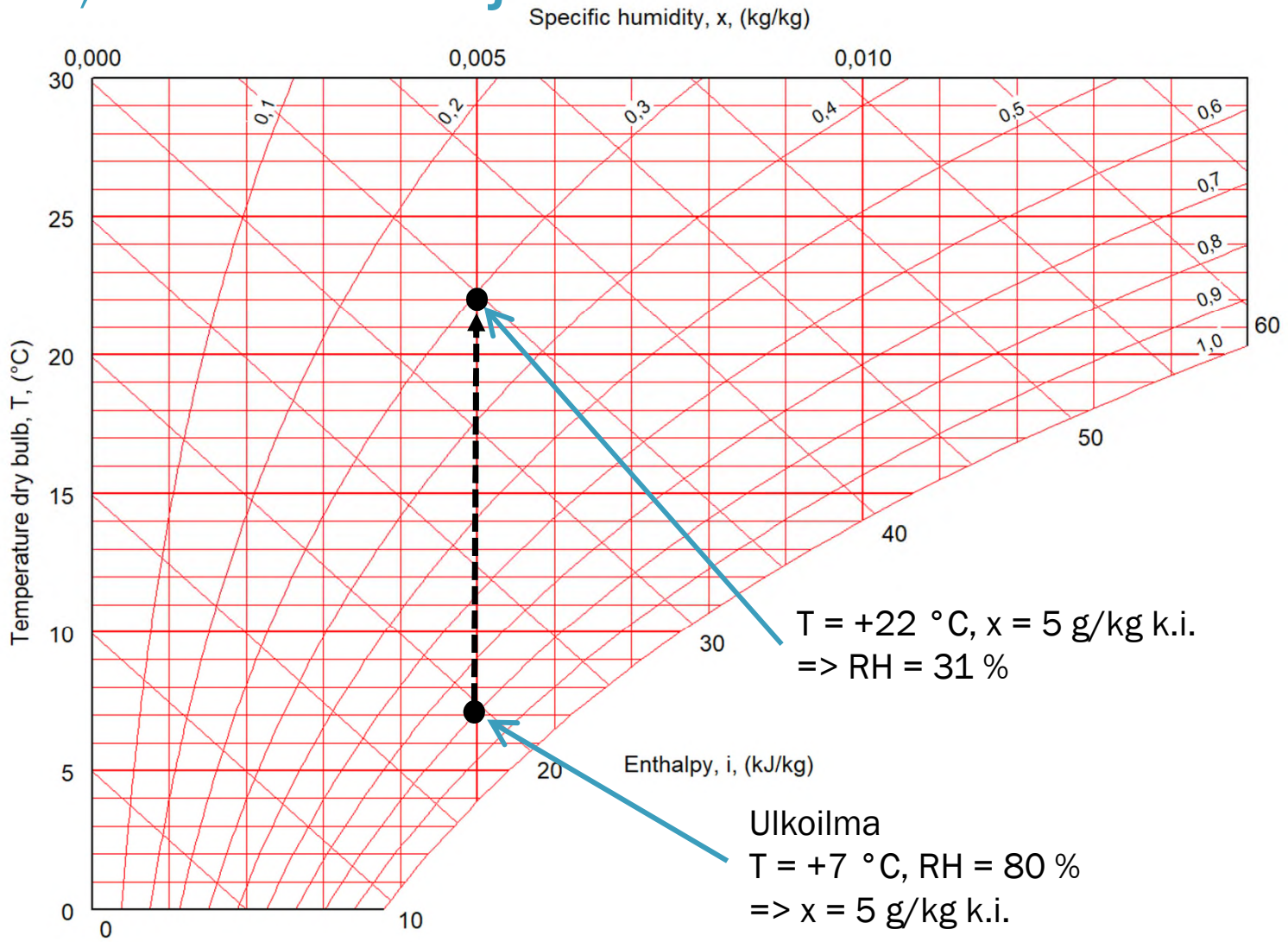
Ilman kyky sitoa vettä ja siten myös suhteellinen kosteus riippuu voimakkaasti lämpötilasta!

Kuiva ilma johtaa huonosti sähköä => ongelmia staattisen sähkön kanssa

Lämpötila, absoluuttinen ja suhteellinen kosteus



Lämpötila, absoluuttinen ja suhteellinen kosteus

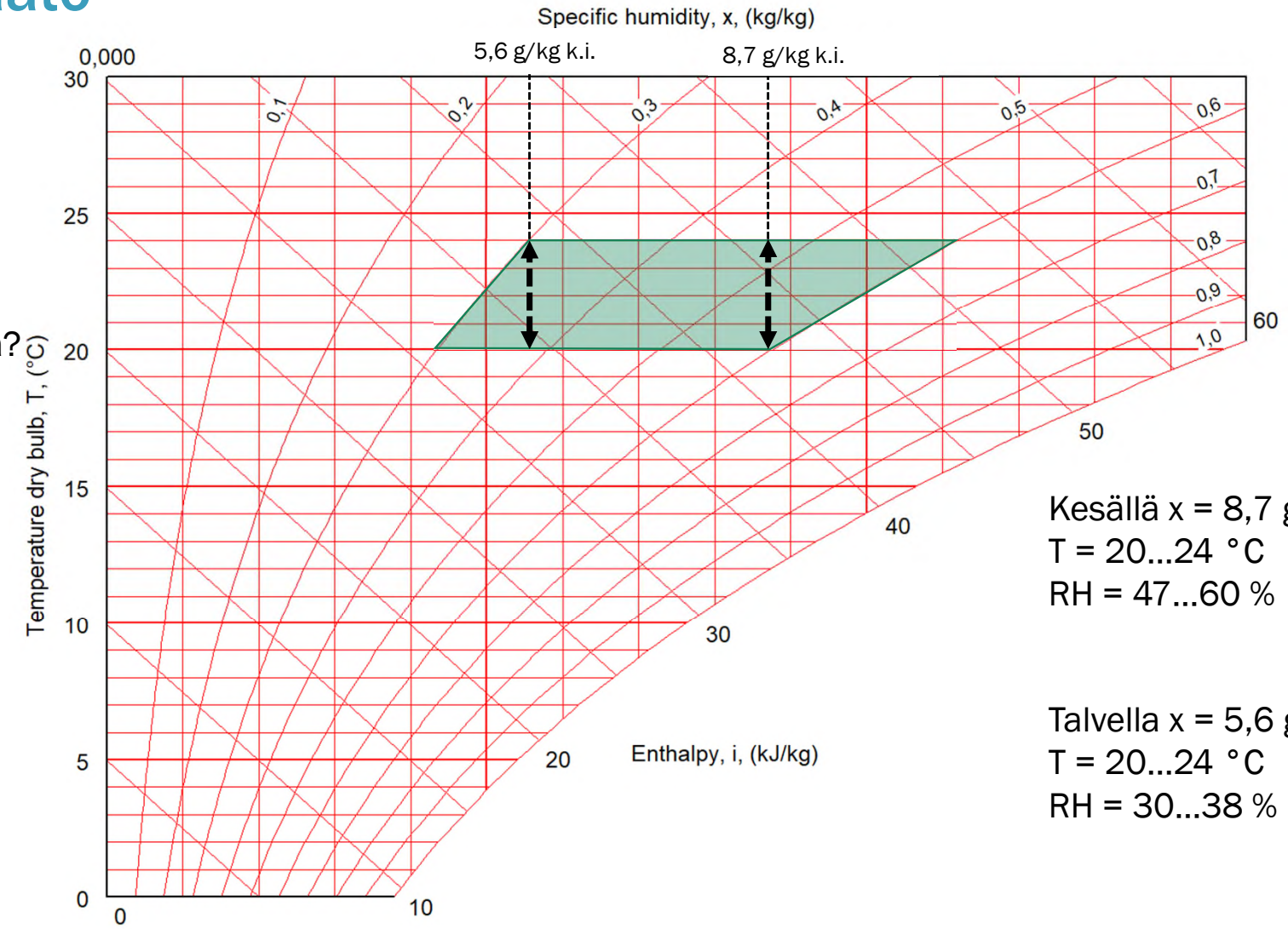


Kosteuden säätö

”Olosuhdeikkuna”
T = 20…24 °C
RH = 30…60%

Mitataan ja säädetään absoluuttista kosteutta?

Anturit kalliita!



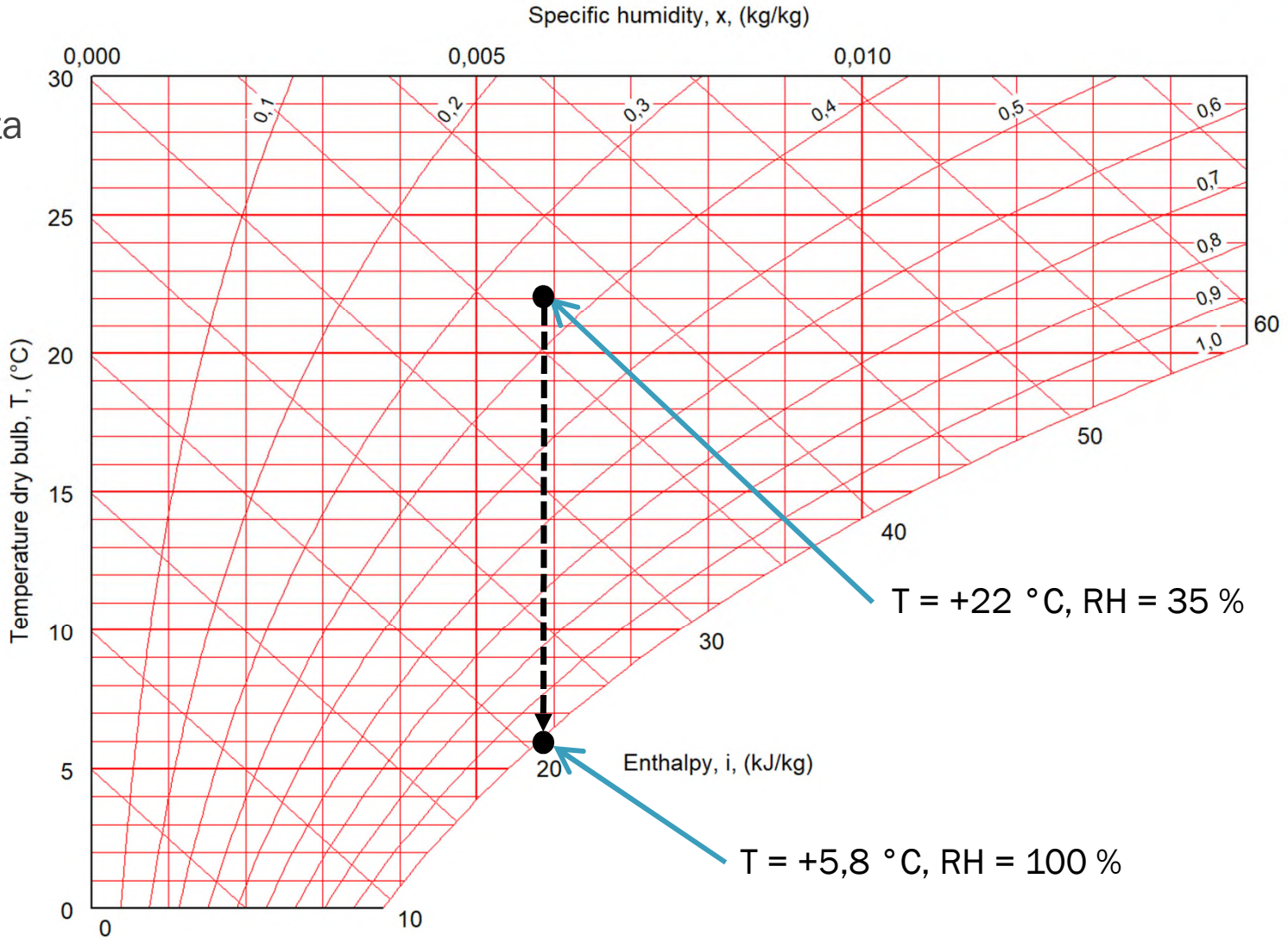
Kesällä x = 8,7 g/kg k.i.:
T = 20…24 °C
RH = 47…60 %

Talvella x = 5,6 g/kg k.i.
T = 20…24 °C
RH = 30…38 %

Kastepiste

Ilman kastepistelämpötila on lämpötila, jossa ilmasta alkaa tiivistyä kosteutta.

Riippuu vain absoluuttisesta kosteudesta

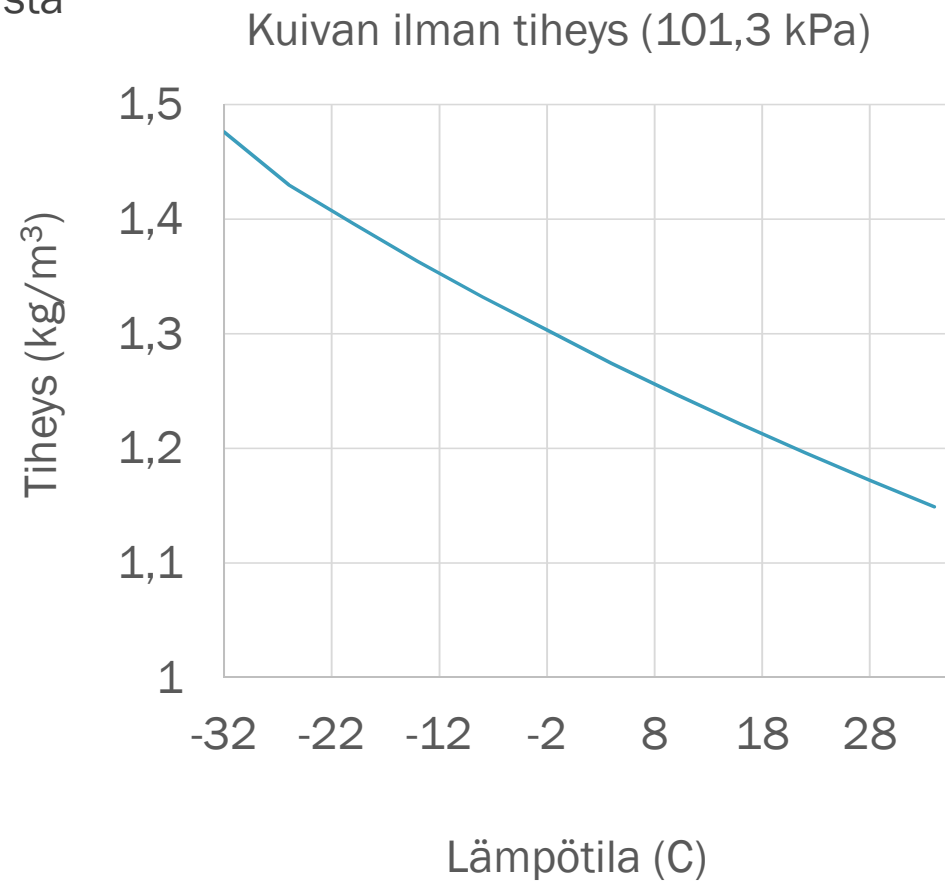


Tiheys – Kuiva ilma

Ilman tiheys riippuu voimakkaasti paineesta ja lämpötilasta

- Ilmastointiprosesseissa paineen vaihtelu on vähäistä
  - Normaali ilmanpaine 101 300 Pa
  - Kanavapaineet +/- 500 Pa
  - Vaihtelu +/- 0,5 %

- Rakennusten ilmastointiprosesseissa lämpötilat vaihtelevat tyypillisesti alueella -32...+35 °C
  - -32 °C => 1,49 kg/m³
  - 0 °C => 1,29 kg/m³
  - **+21 °C => 1,20 kg/m³**
  - +35 °C => 1,15 kg/m³

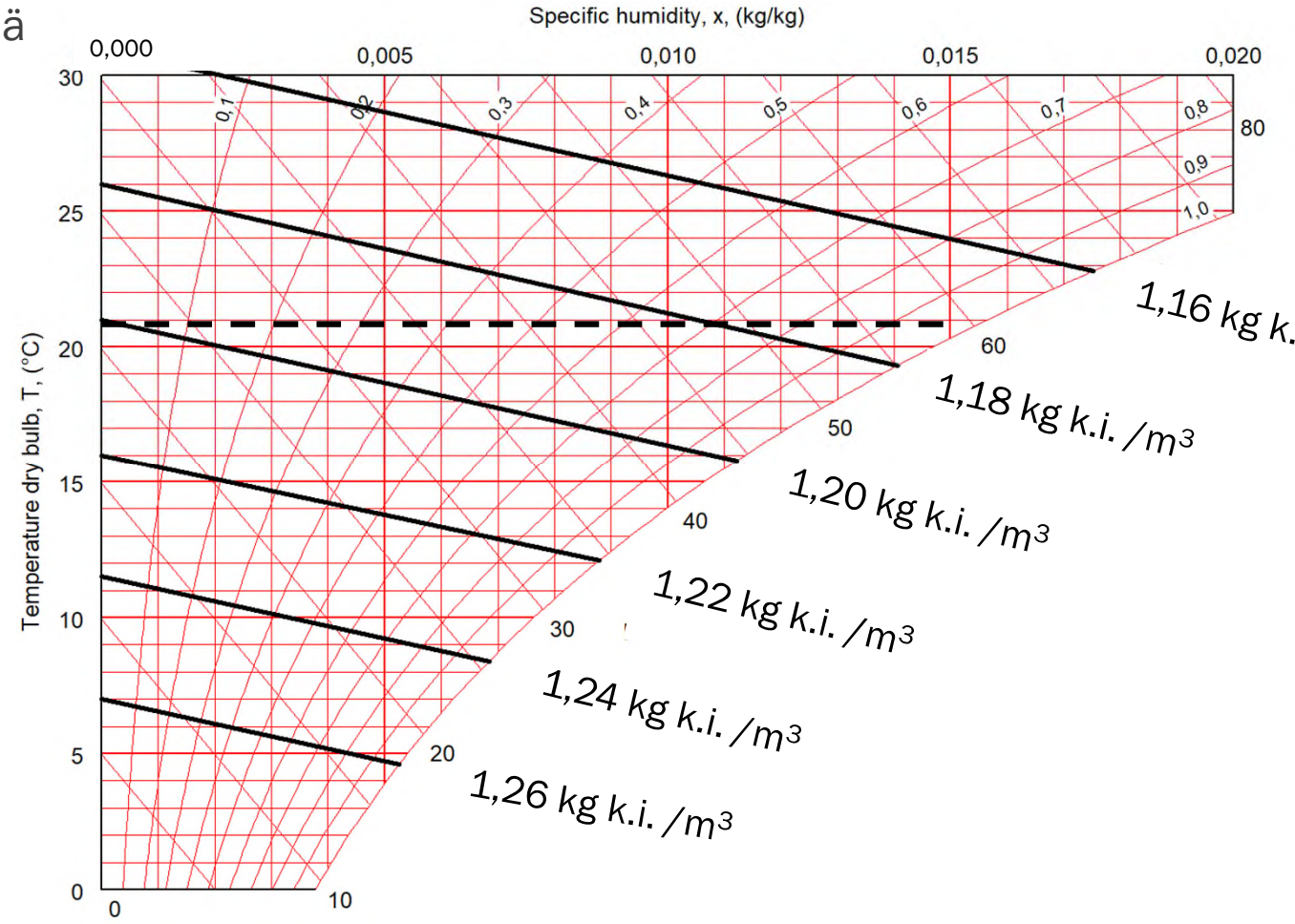


Tiheys – Kostea ilma

Vesihöyry on ilmaa kevyempää

- ➢ Kostea ilma on kuivaa ilmaa kevyempää
- Esimerkki: lämpötila 21 °C
  - 0 g/kg => 1,20 kg/m³
  - 5 g/kg => 1,198 kg/m³
  - 10 g/kg => 1,193 kg/m³
  - 15 g/kg => 1,188 kg/m³

Kuvantamistilojen ilmastointiprosesseissa ilman tiheytenä voi käyttää arvoa 1,2 kg/m³



Entalpia eli lämpösisältö

Entalpian muutoksen avulla voidaan laskea prosesseissa sitoutuvia ja vapautuvia lämpömääriä

Kuivan ilman entalpia $h_i = c_{pi}\,T$ (kJ/kg), [T=°C]

Vesihöyryn entalpia $h_h = l_{ho} + c_{ph}\,T$ (kJ/kg) , [T=°C]

Kostean ilman entalpia kuivaa ilmakiloa kohti

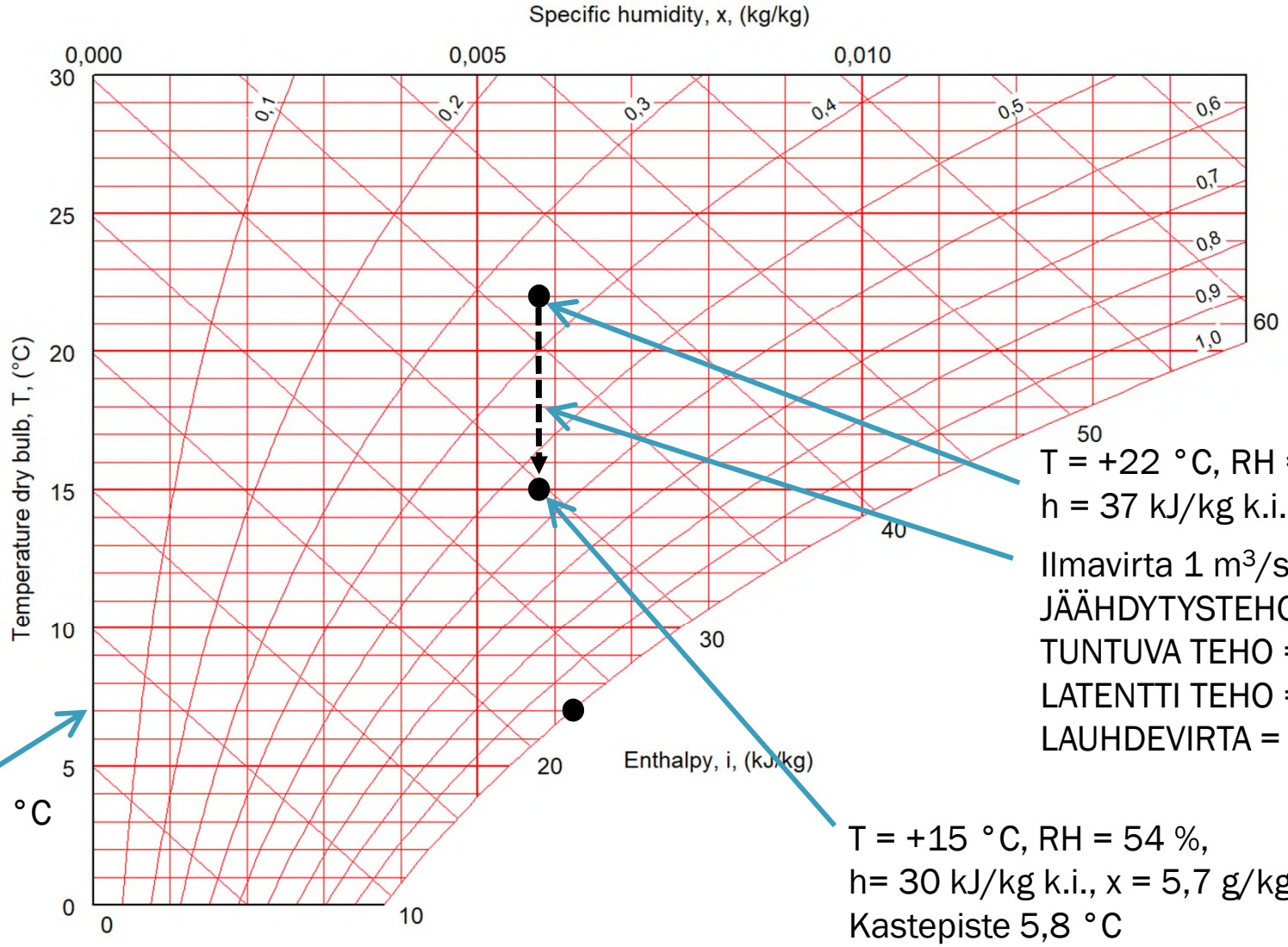
$$h = h_i + x h_h = \underbrace{(c_{pi} + x\ c_{ph})\,T}_{\text{Tuntuva}} + \underbrace{\text{x}\ l_{ho}}_{\text{Latentti}} \quad \text{(kJ/kg k.i.)}$$

Käytännössä arvot saadaan Mollier-diagrammista tai ohjelmistoista

Entalpia

Esimerkki:

Kuiva jäähdytys (ei kondenssia)



T = +22 °C, RH = 35 %
h = 37 kJ/kg k.i., x = 5,7 g/kg k.i.

Ilmavirta 1 m^3/s = 1,2 kg/s
JÄÄHDYTYSTEHO = 8,4 kW
TUNTUVA TEHO = 8,4 kW
LATENTTI TEHO = 0 kW
LAUHDEVIRTA = 0 g/s = 0 kg/h

Jäähdyttävä pinta vakiolämpötilassa +7 °C

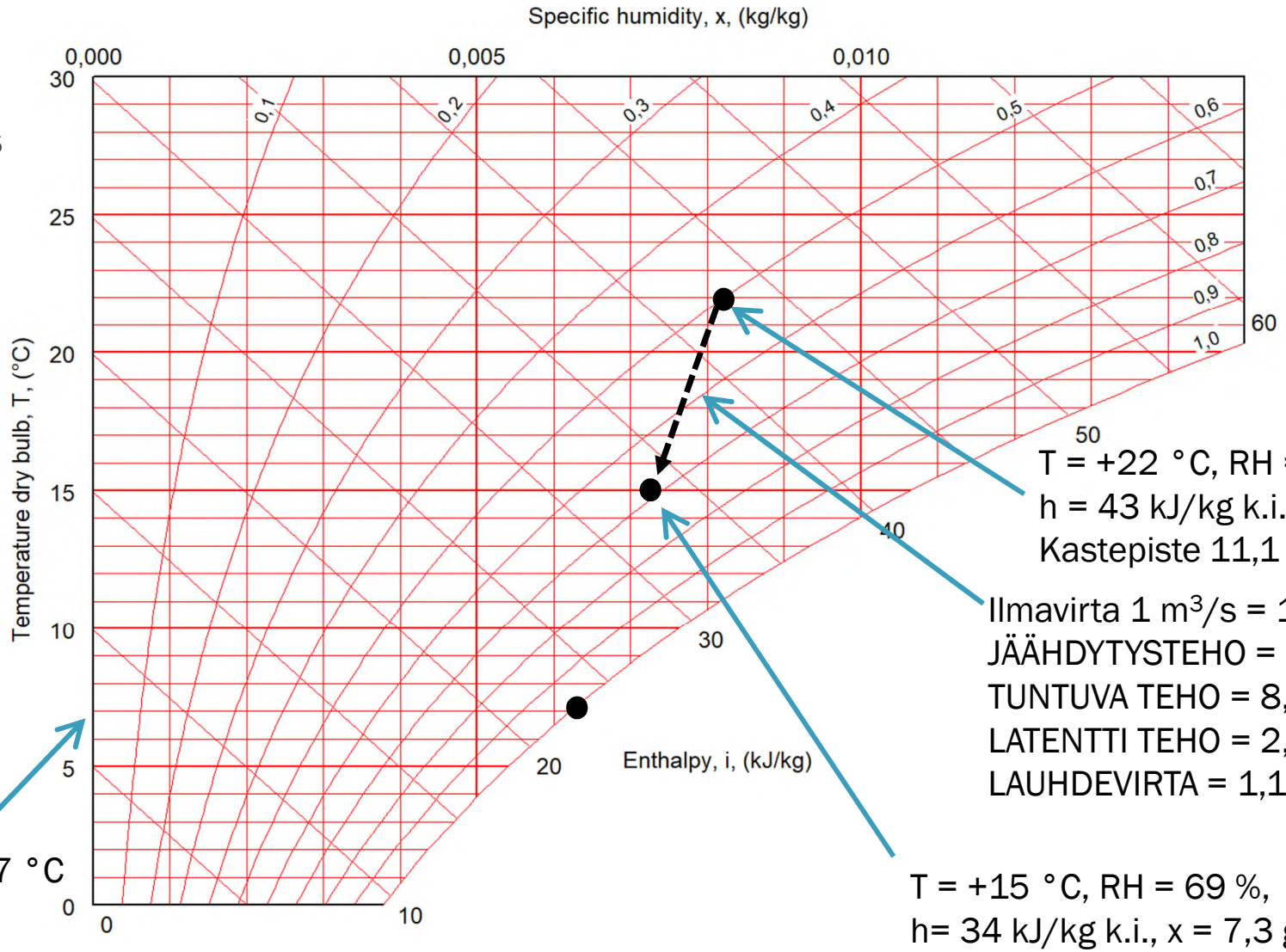
T = +15 °C, RH = 54 %,
h= 30 kJ/kg k.i., x = 5,7 g/kg k.i.
Kastepiste 5,8 °C

Entalpia

Esimerkki:

Kuivaava jäähdytys

höyrystimellä



T = +22 °C, RH = 50 %
h = 43 kJ/kg k.i., x = 8,2 g/kg k.i.
Kastepiste 11,1 °C

Ilmavirta 1 m³/s = 1,2 kg/s
JÄÄHDYTYSTEHO = 10,8 kW
TUNTUVA TEHO = 8,4 kW
LATENTTI TEHO = 2,4 kW
LAUHDEVIRTA = 1,1 g/s = 3,9 kg/h

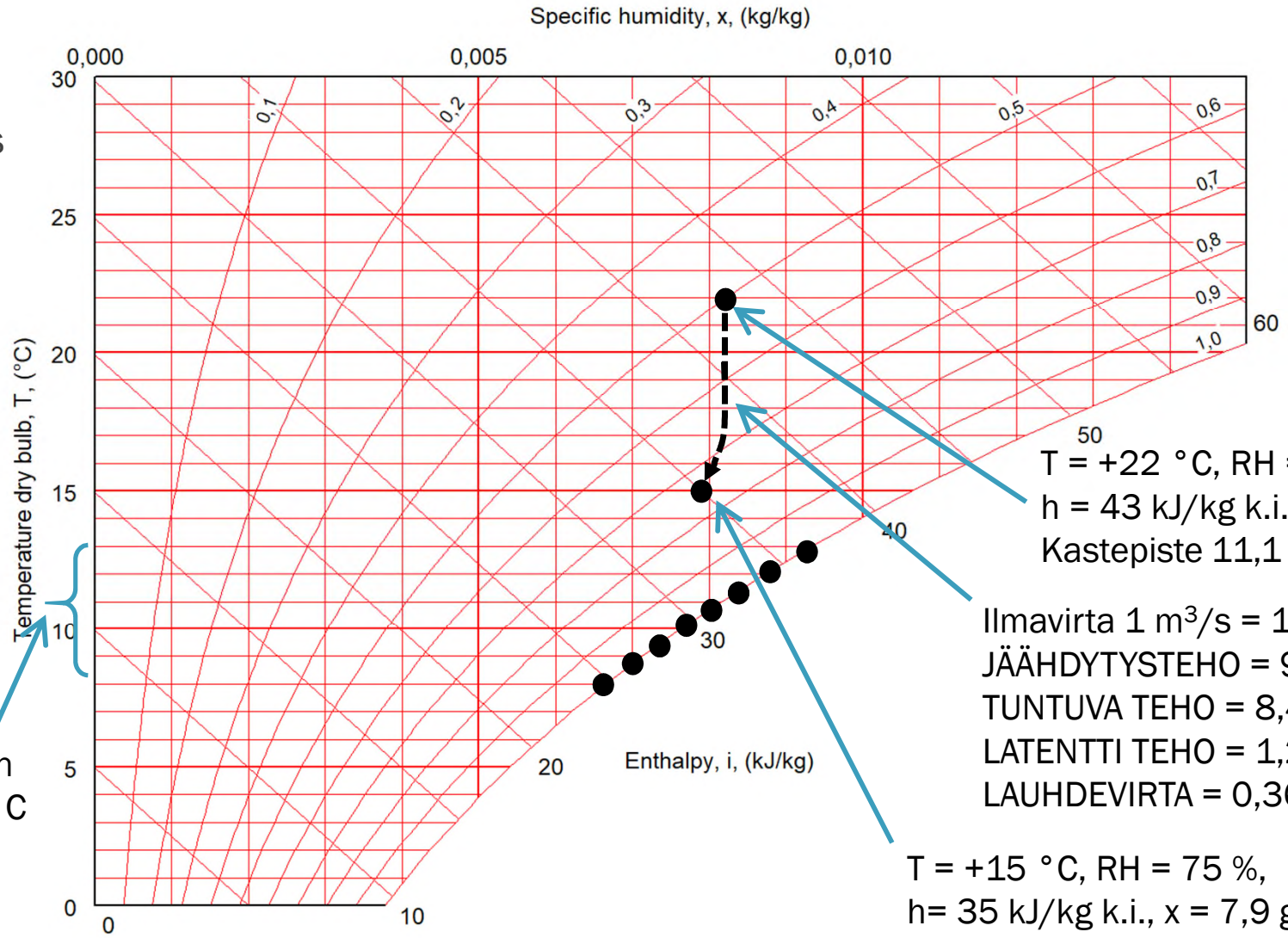
Jäähdyttävä pinta
vakiolämpötilassa +7 °C

T = +15 °C, RH = 69 %,
h= 34 kJ/kg k.i., x = 7,3 g/kg k.i.

Entalpia

Esimerkki:

Kuivaava jäähdytys vesipatterilla



T = +22 °C, RH = 50 %
h = 43 kJ/kg k.i., x = 8,2 g/kg k.i.
Kastepiste 11,1 °C

Ilmavirta 1 m^3/s = 1,2 kg/s
JÄÄHDYTYSTEHO = 9,6 kW
TUNTUVA TEHO = 8,4 kW
LATENTTI TEHO = 1,2 kW
LAUHDEVIRTA = 0,36 g/s = 1,3 kg/h

T = +15 °C, RH = 75 %,
h= 35 kJ/kg k.i., x = 7,9 g/kg k.i.

Jäähdyttävän pinnan lämpötila +8 ... 13 °C

Kostutus

Kostutus voidaan tehdä joko haihduttamalla ilmaan vettä tai lisäämällä ilmaan höyryä

Haihdutuskostutus (kenno tai sumutus) eivät ole hygieenisiä

Sairaalaympäristössä kostutus vain höyryllä

Kostuttimien kapasiteetti ilmoitetaan yleensä yksikössä kg/h

- Suunnitelmissa ilmavirrat tilavuusvirtoina (l/s)
- Ilmavirta muutettava massavirraksi, jotta höyryntarve voidaan laskea absoluuttisen kosteuden muutoksesta
    - Kuivan ilman massavirta m_i (kg k.i./h) = 1,2 * 3,6 * V_i (l/s)
    - Höyryvirta m_h (kg/h) = m_i (kg k.i./h) * Δx (kg/kg k.i.)

      missä $\Delta x = x_2 - x_1$



brautek.fi

Kostutus

Esimerkki

Ulkoilman tila

-25 °C / 100 %

Sisäilman olosuhdevaatimus

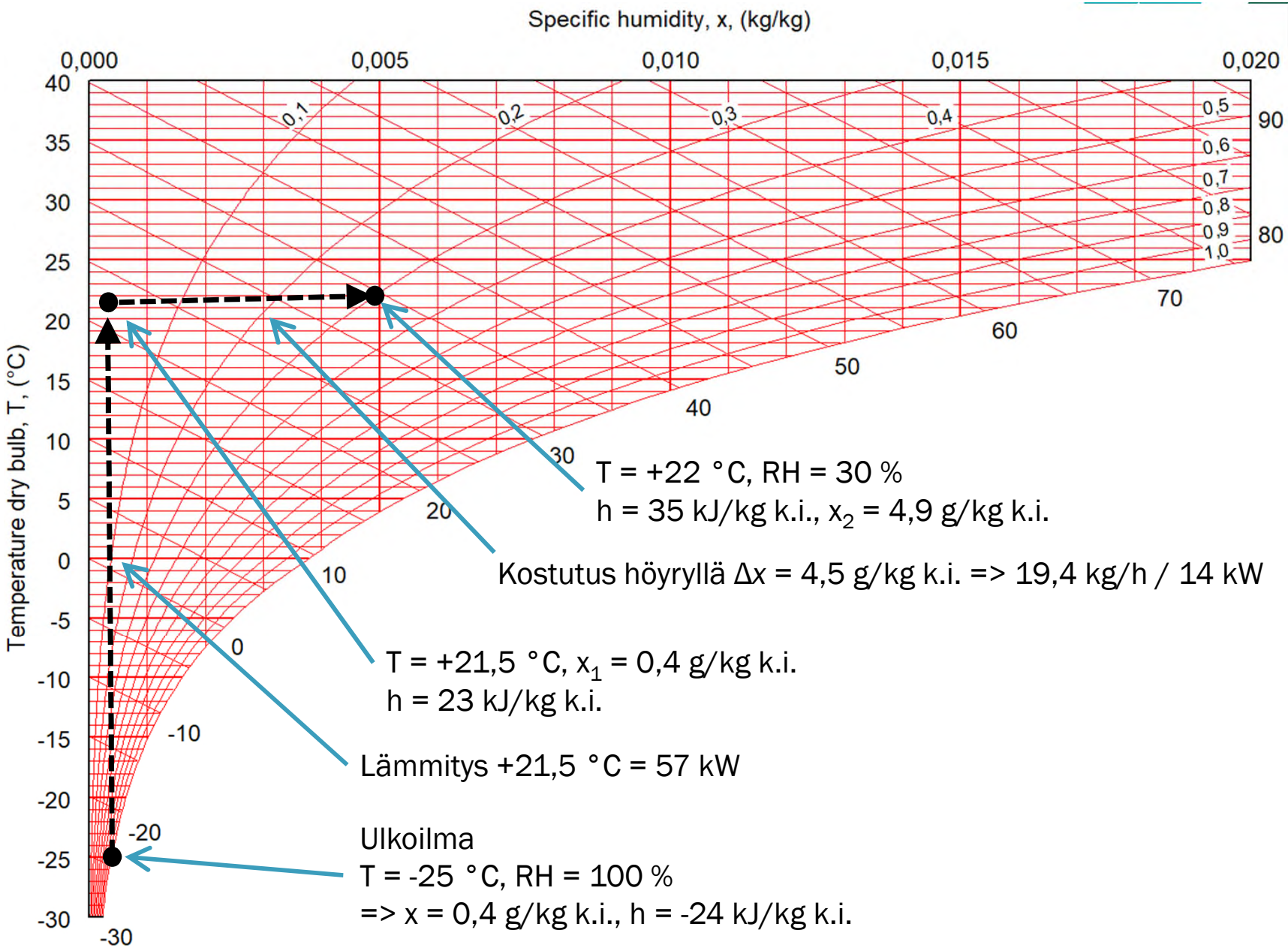
+22 °C / 30 %

Ilmavirta 1,0 m^3/s

= 3600 m^3/h

Massavirta 1,2 kg/s

= 4320 kg/h




AX-Suunnittelu
Kiitos!