Komplexní vzdělávací program pro podporu environmentálně šetrných technologií ve výstavbě a provozování budov

KLIMATIZACE A CHLAZENÍ

Ing. Miloš Lain, Ph.D.
ČVUT v Praze
Fakulta strojní
Ústav techniky prostředí

Co to je klimatizace

- Klimatizace je strojní úprava vzduchu zajišťující požadované parametry prostředí (**teplotu, vlhkost, čistotu vzduchu**).
- Úplná klimatizace - zajišťuje všechny parametry prostředí celoročně
- Dílčí klimatizace –zajišťuje jen některé funkce především **chlazení.**

Dle zákona 177/2006 Sb. - §2, h) Soubor všech zařízení a prvků na úpravu parametrů vnitřního prostředí spojené s ohřevem, chlazením, zvlhčováním a filtrací vzduchu, který je součástí stavby.

Dr. W. H. Carriera, 1911 klimatizace vlhký vzduch

Parametry prostředí

- teplota vzduchu *ta* [°C]
- relativní vlhkost vzduchu φ [%]
- střední radiační teplota *tr* [°C]
- rychlost proudění vzduchu *w* [m/s]
- intenzita turbulence *Tu* [-]

Výsledný účinek *ta, tr a w*

- operativní teplota *to* [°C]

Př.: zimní období: 7.00 až 21.00 hod.: *ta* = 22 ± 1 °C, φ = 40 ± 10 %

Funkce klimatizace

- Zajistit teplotu, vlhkost, čistotu vzduchu.
  - Ohřev / **Chlazení**
  - Vlhčení / Odvlhčování
- Přívod čerstvého vzduchu, Odstranění škodlivin - zápachů.
  - Vyhláška 20/2012 požadavky na stavby 25m^3/h
- **Zákon 361/2007** kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci

teploty, vlhkosti, rychlosti proudění, koncentrace, dávky čerstvého vzduchu

Nahradil 178-2001, 523-2002, 441-2004

Změna **nařízení vlády 37/2012**

Požadavky na prac. prostředí

Neklimatizované

Třída práce	M [W.m^{-2}] (brutto)	t_{omin} nebo $t_{g\ min}$	t_{omax} nebo $t_{g\ max}$	v_a [m.s^{-1}]
		[°C]	[°C]	
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2
IIa	81 až 105	18	26	
IIb[3)]	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3

Klimatizované

Třída práce	M [W.m-2]	Kategorie	Klimatizované pracoviště				v_a [m.s^{-1}]	Rh [%]
			nastavení vytápění		nastavení chlazení			
			tepelný odpor oděvu 1,0 clo		tepelný odpor oděvu 0,5 clo			
			t_{omin} (t_{gmin}) [°C]		t_{omin} (t_{gmin}) [°C]			
I	≤ 80	A	22	±1,0	24,5	±1,0	0,05 až 0,2	30 až 70
		B		±1,5		+1,5 -1,0		
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0		
IIa	81-105	A	20	±1,0	23	±1,0		
		B		±1,5		+1,5 1,0		

Členění klimatizace

- **Komfortní systémy** (pro pohodu osob v prostředí bez průmyslových škodlivin), kanceláře, shromažďovací prostory, obytné prostory, výrobní prostory.
- **Technologické systémy** (pro funkci mechanických, chemických i biologických technologií) převládá požadavek tehnologie nad požadavky osob.
- Stávající legislativa neobsahuje vymezení „Komfortní“ tj. týká se všech 3 skupin je-li klimatizační systém součástí stavby

Členění větrání a klimatizace

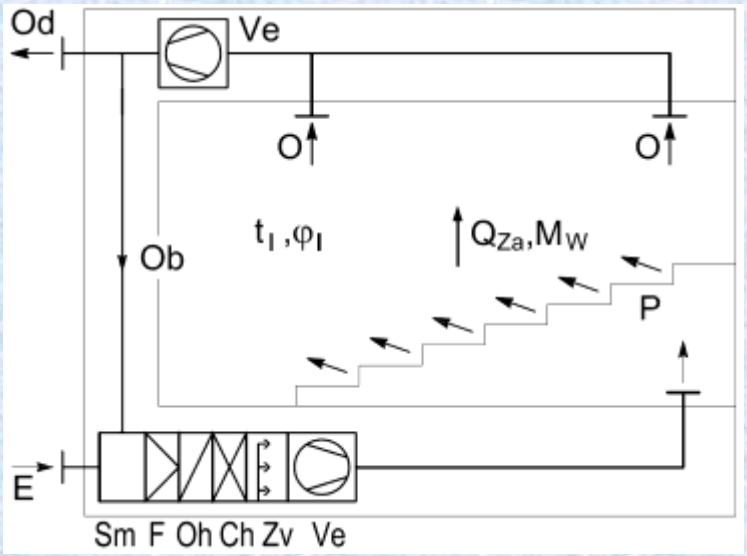
- **Přirozené větrání**
- **Nucené větrání, s dohřevem (kvalita vzduchu, teplota)**
- **Teplovzdušné vytápění, s větráním (teplota, kvalita vzduchu)**
- **Dílčí klimatizace (chlazení, ...)**
- **Klimatizace (teplota, vlhkost, kvalita vzduchu)**
- **Přesná klimatizace, čisté prostory, …**

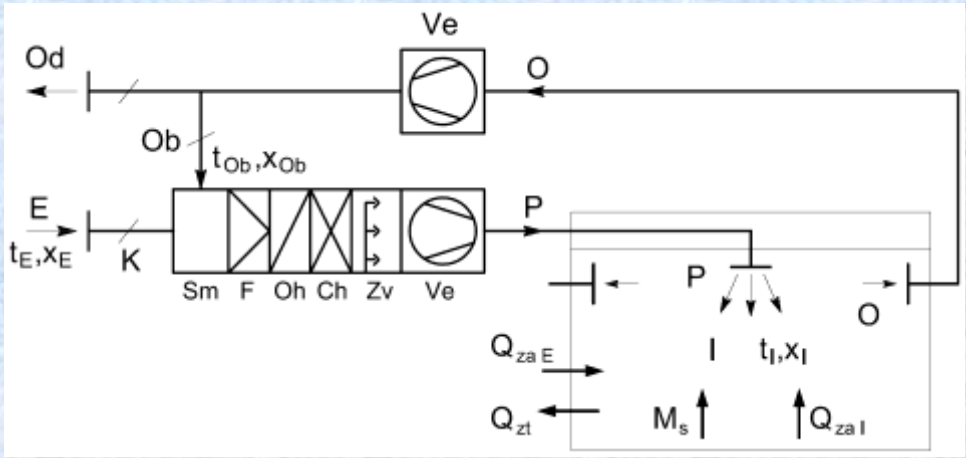
Členění klimatizace

- **Vzduchové systémy -** teplonosná látka je vzduch, vysoké prostorové nároky, možnost větrání a úpravy kvality vzduchu.
- **Vodní systémy -** teplonosná látka je voda, nižší rozměry, flexibilita.
- **Chladivové systémy** - teplonosná látka je chladivo, minimální rozměry rozvodů, vysoké chladicí faktory.
- **Kombinované systémy**, voda-vzduch, chladivo-vzduch

Vzduchový jednokanálový systém, jednozónový

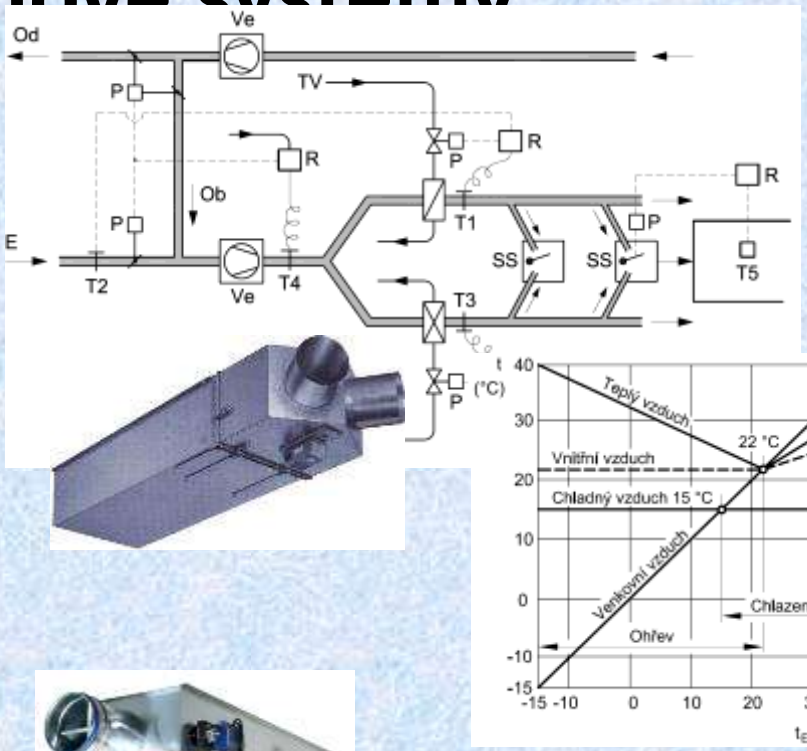
směšovací komora, filtr, ohřívač, chladič, zvlhčovač, ventilátor, ventilátor pro odvod vzduchu a vzduchovody s vyústkami pro přívod a odvod vzduchu



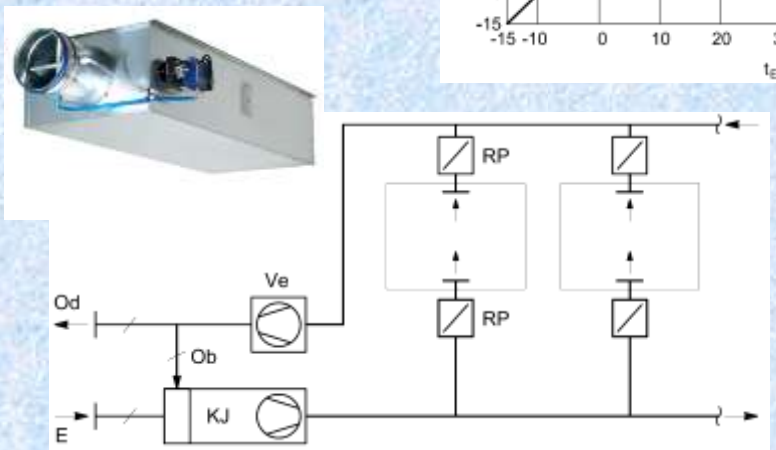


Vzduchové vícezónové systémy

- **Vzduchový dvoukanálový systém,,** vysokotlaký, vzduch se upravuje v klimatizační jednotce na dva rozdílné stavy – teplý a chladný vzduch, ty se míchají před vstupem do místnosti.

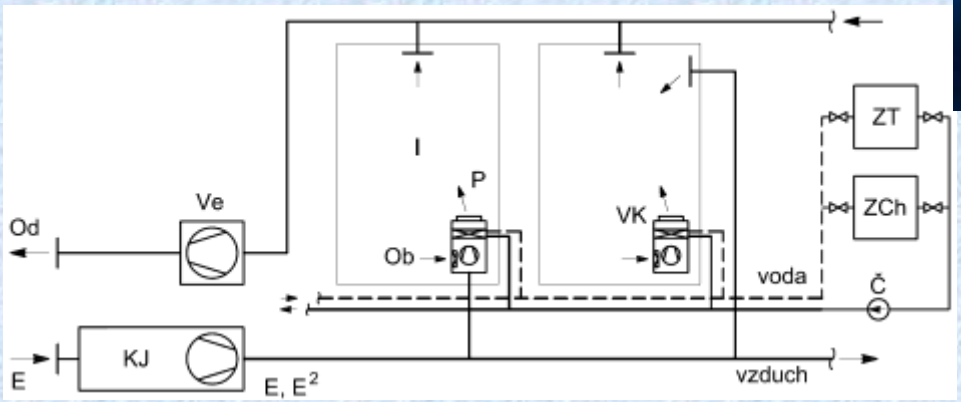


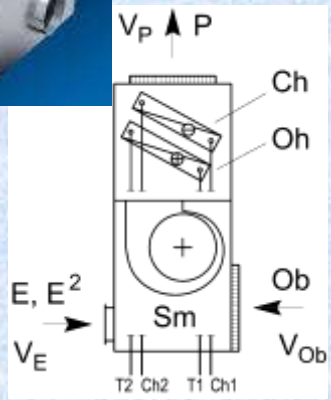
- **Vzduchový jednokanálový systém s proměnným průtokem vzduchu VAV,** zpravidla vysokotlaký. Vzduch je upravován v centrální klimatizační jednotce,před každou místností (zónou) je osazen regulátor průtoku řízený termostatem v místnosti.



Vodní systém s ventilátorovými konvektory (fan-coil)

- slouží k individuální tepelné úpravě (chlazní, ohřev) vnitřního vzduchu v místnostech. Základní prvky jednotky tvoří: filtr, ventilátor, výměník (výměníky) pro ohřev i chlazení vzduchu, přiváděcí vyústka, dvojtrubkové, čtyřtrubkové.
- doplněný o přívod čerstvého (tepelně upraveného) vzduchu.



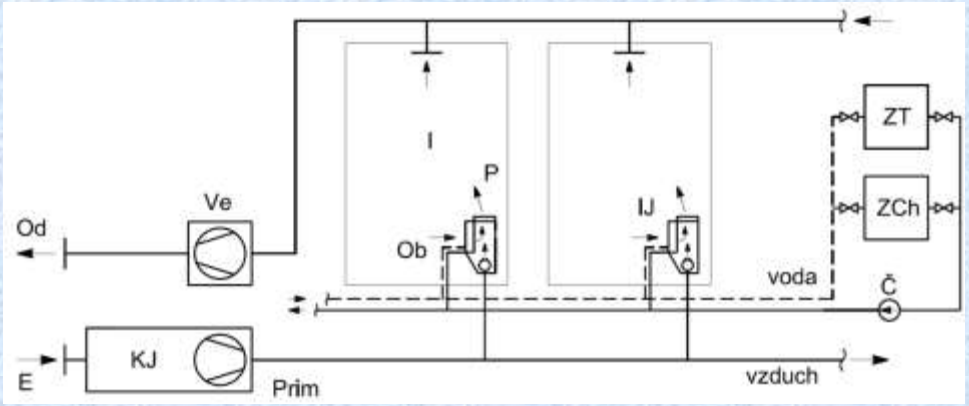


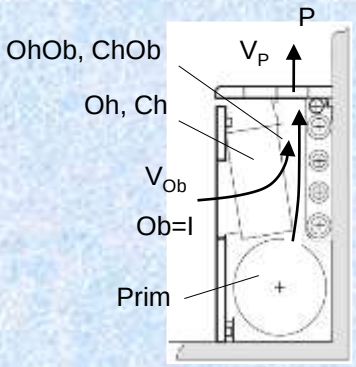
Systém s indukčními jednotkami,

V ústřední strojovně se upravuje venkovní (primární) vzduch, jehož průtok je dán hygienickými požadavky. V místnostech jsou připojeny vnitřní indukční jednotky.

Primární vzduch se vyfukuje dýzami, ejekčním účinkem se přisává z místnosti vzduch oběhový (sekundární),

který prochází výměníkem kde se ohřívá nebo chladí a vyfukuje do místnosti.

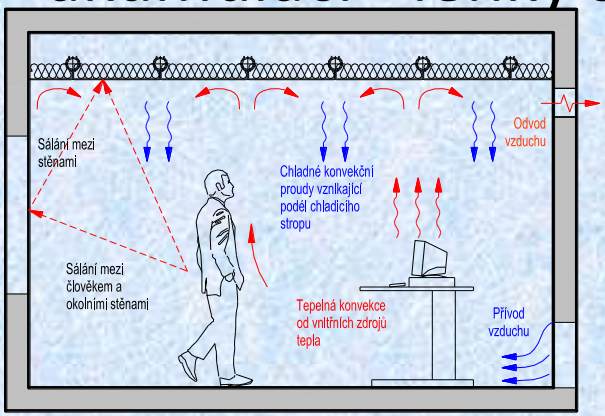


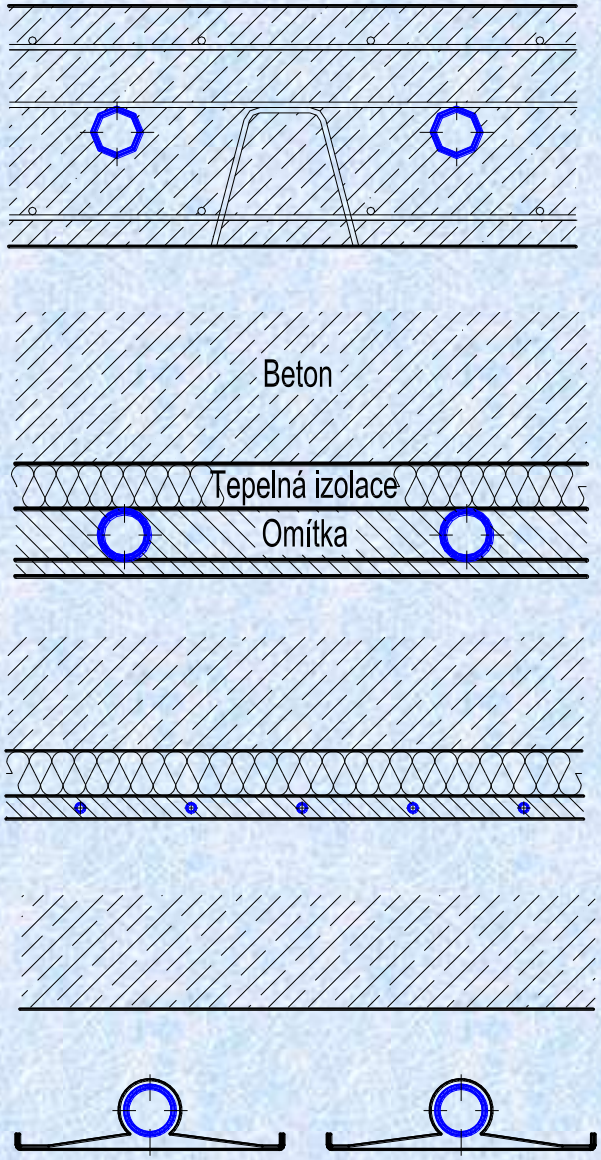


Chladicí stropy

Chladicí stropy kombinované s přívodem větracího vzduchu, vícezónový systém.

Základní součástí systému je samostatné zařízení pro chlazení místností (zón) sáláním *vodou chlazeného stropu*. Těžký strop s akumulací - lehký strop.

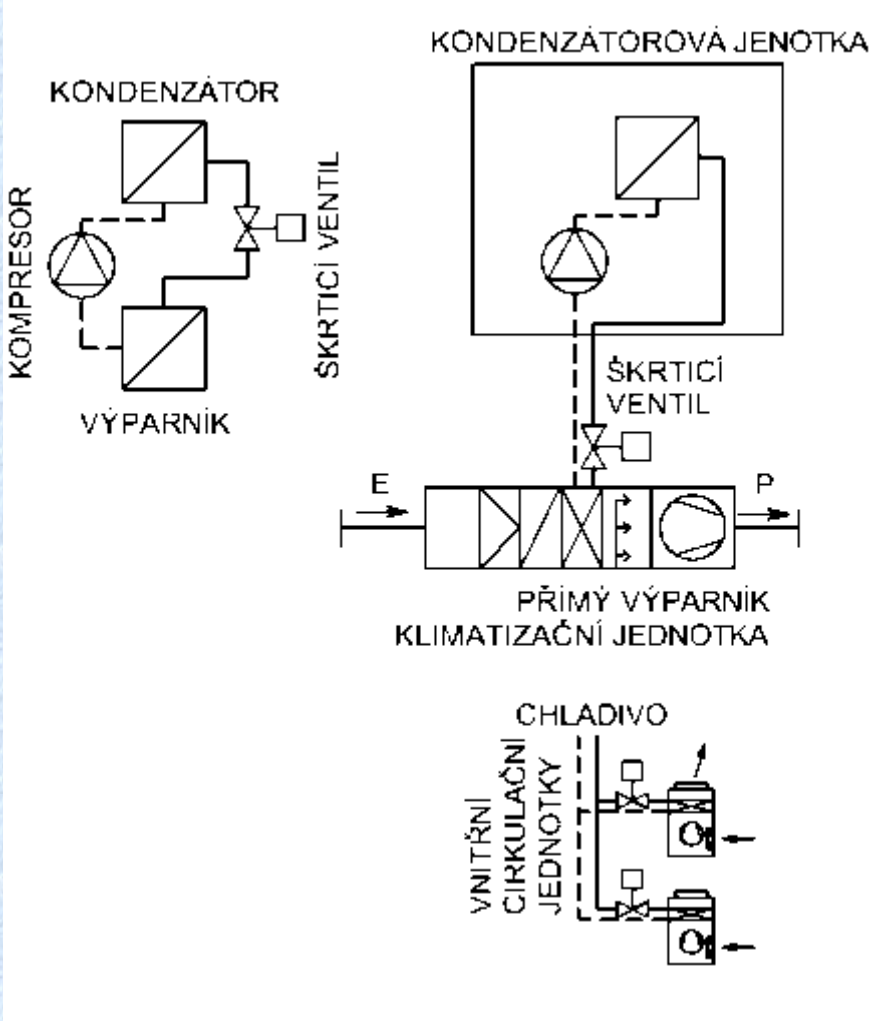




Chladivové klimatizační systémy

- **Oběh chladiva,**
- **kompresor,**
- **kondenzátor,**
- **škrticí ventil**
- **výparník.**

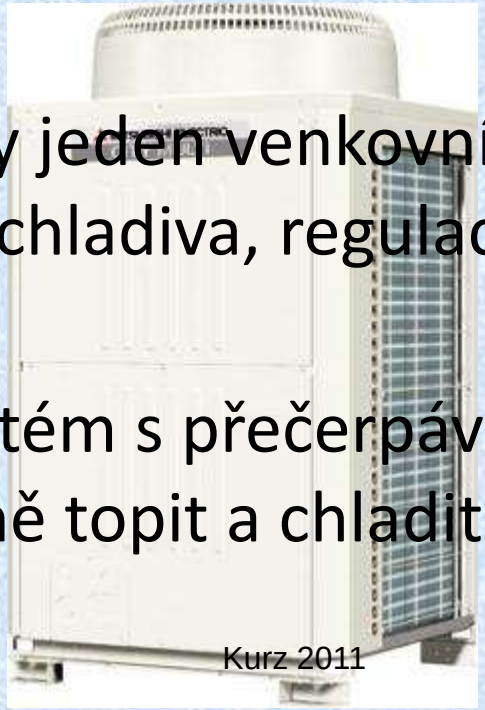
- **Venkovní díl - Vnitřní díl.**



Chladivové klimatizační systémy

- **Split systémy**, jeden vnitřní a jedn venkovní díl,

- **Multi-split systémy**, jeden venkovní , více vnitřních dílů, ON-OFF regulace.



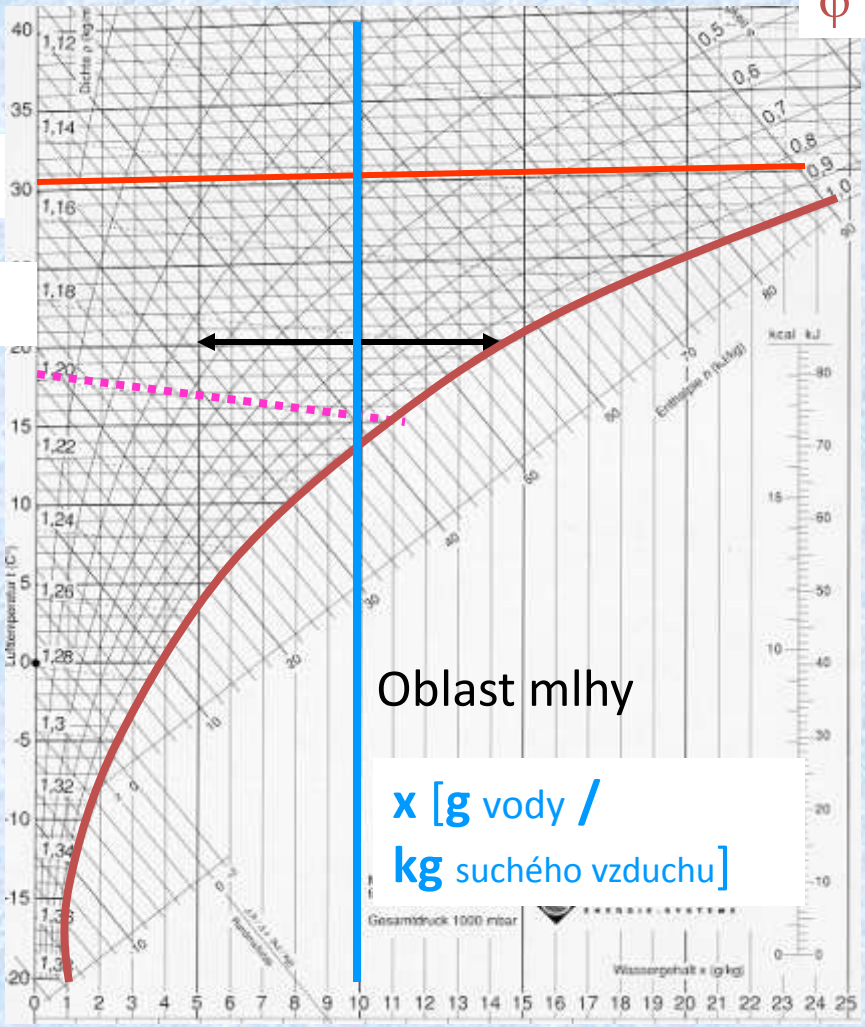
- **VRF (VRV)** systémy jeden venkovní více vnitřních dílů , proměnný průtok chladiva, regulace otáček kompresoru.
- **VRF-R (VRV-R)** systém s přečerpáváním tepla, umožňuje paralelně topit a chladit vnitřními jednotkami.

Vlhký vzduch

- Směs suchého vzduchu + vodní páry
  - Výparné teplo vody 2 500 kJ/kg
    - Tlak vzduchu - parciální tlak
      - Změny objemu (teplota, tlak)
        - Vyjádření vlhkosti
          - Parciální tlak par (Pa)
          - Měrná vlhkost (g/kgsv)
          - Relativní vlhkost (%)

Vlhký vzduch h-x diagram

h-x diagram 100 kPa



φ [%]

Relativní vlhkost

φ = x / x max

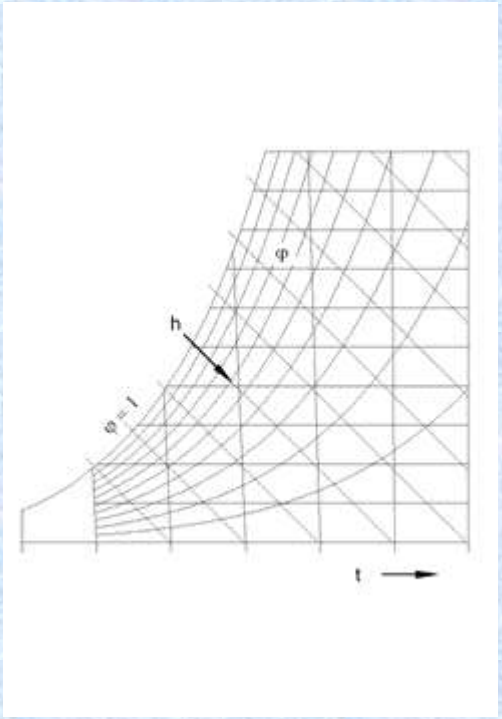
Stav nasycení

t [°C]

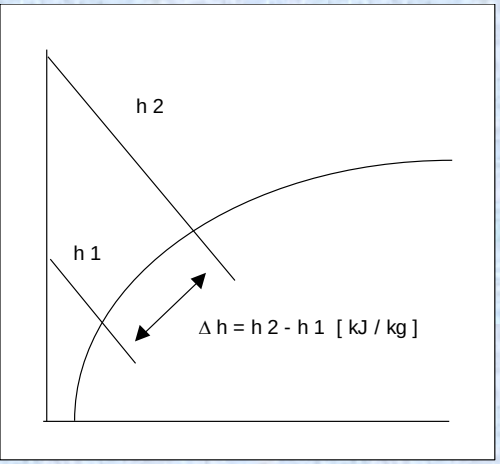
ρ [kg/m³]

hustota ρ
při 1,013mbar, 20°C
ρ = 1.2 kg / m³ Normální

Vlhký vzduch je lehčí než vzduch suchý !!!

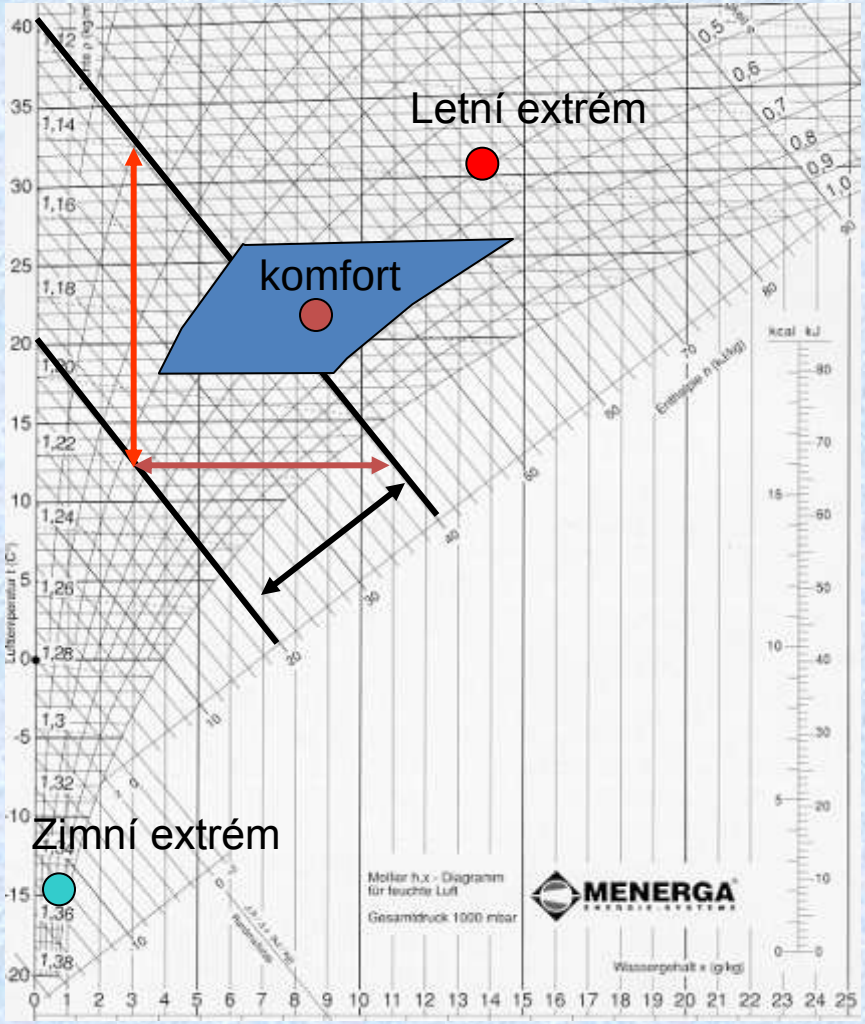


Vlhký vzduch – Změny stavu



Tepelná kapacita
Suchý vzduch
c Air = 1.01 kJ / kg K

Entalpie (výparné teplo)
h voda = 2.5 kJ / g



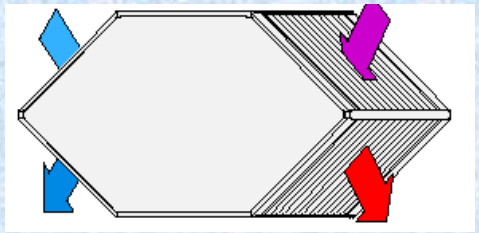
Změna teploty

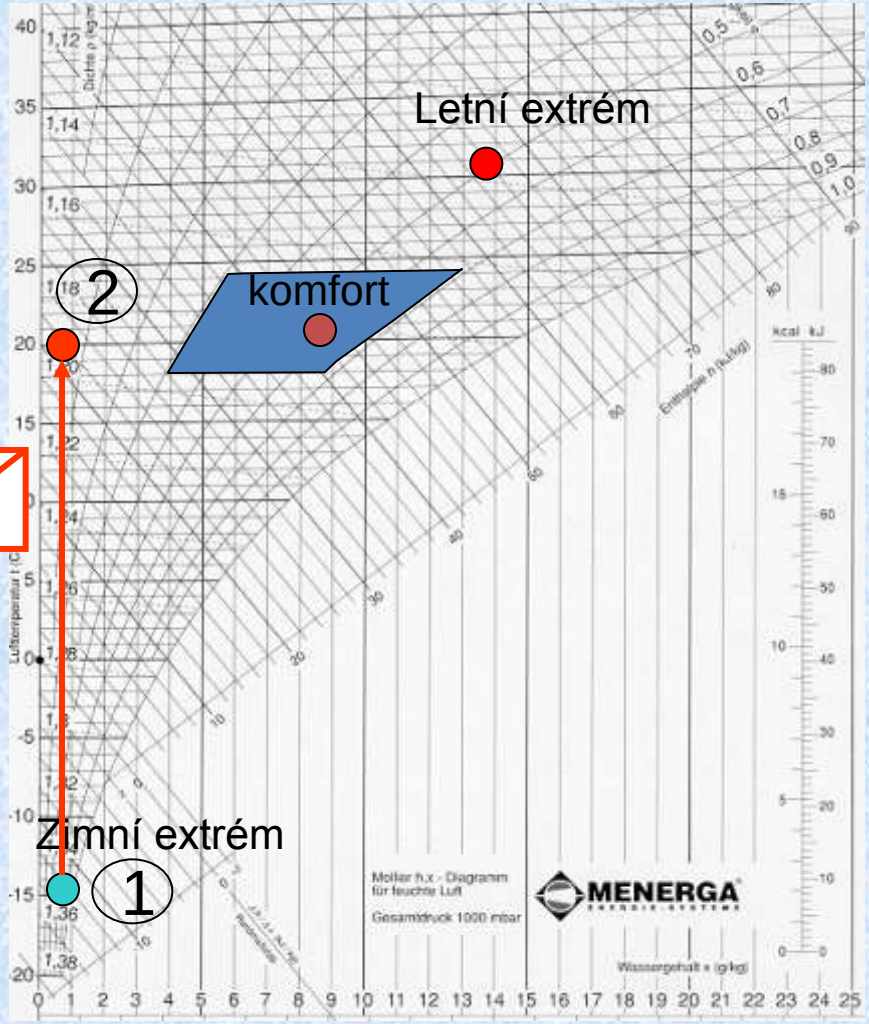
Δ T = 20 K

Zvlhčování
Δ x = 8 g / kg

Entalpie
Δ h = 20 kJ / kg

Vlhký vzduch – Ohřev - ZZT





Změna teploty

Q = V* ρ*c* Δ T

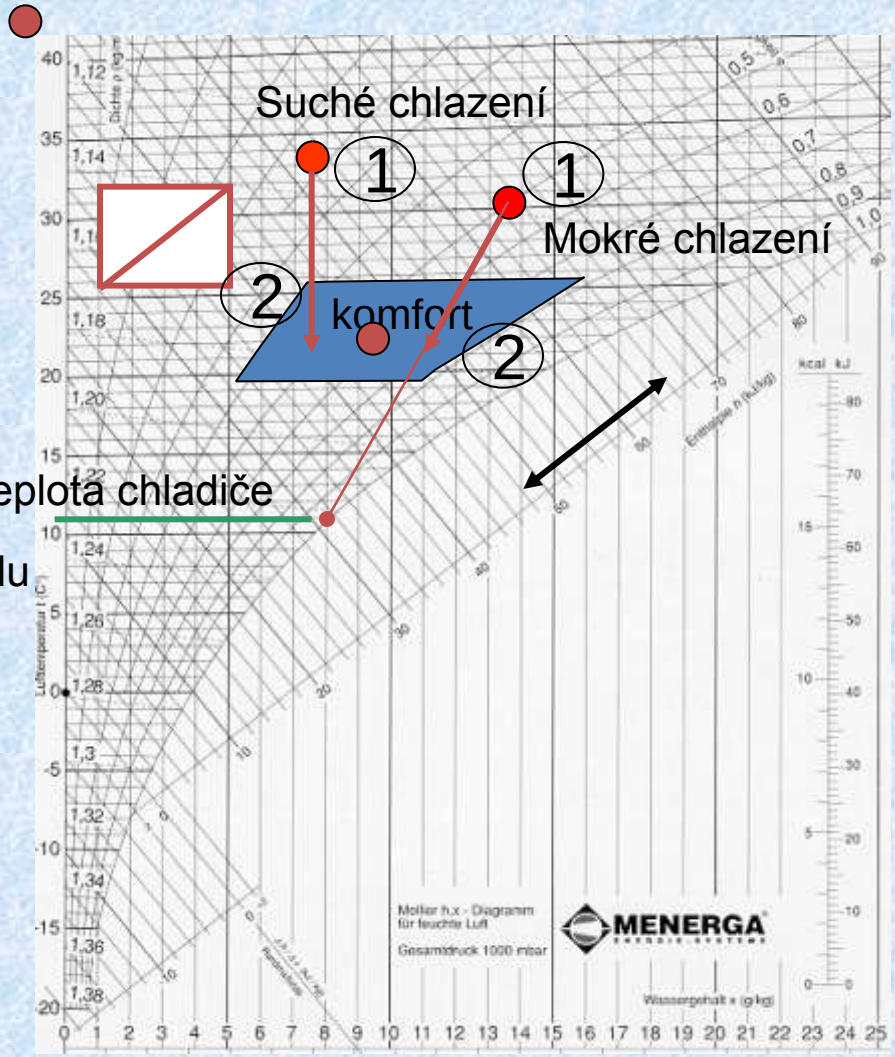
Zvlhčování

Δ x = 0 g / kg

Entalpie

Q = V* ρ *Δ h

Vlhký vzduch – chlazení



Citelný výkon
změna teploty

$Q_{cit} = V^* \rho * c * \Delta T$

Vázané teplo
odvlhčování
$Mw = V^* \rho \Delta x$

Celkový výkon
$Q = V^* \rho * \Delta h$

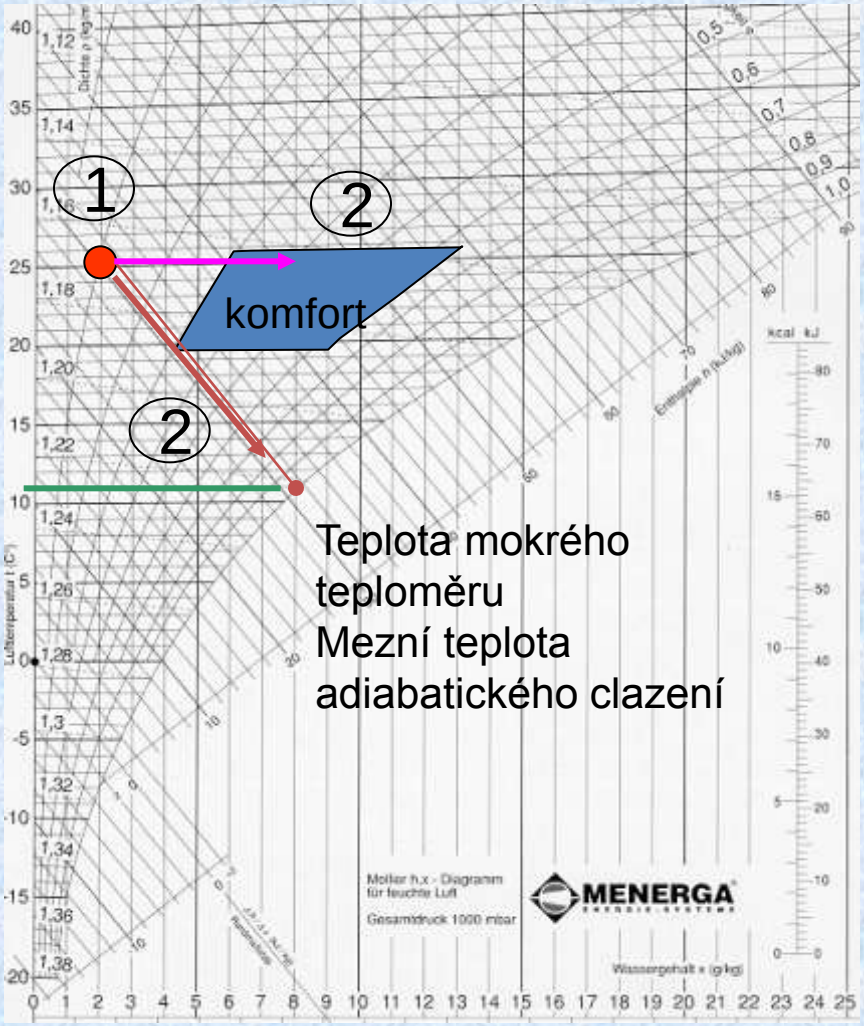
Vlhký vzduch – zvlhčování

Parní vlhčení

Vyvíječe páry
(varné, odporové)
Technologická pára

Adiabatické vlhčení vodou

Účinnost pračky
Pračky
sprchové,
blánové, hladinové
Rozprašovače
pneumatické
mechanické
ultrazvukové



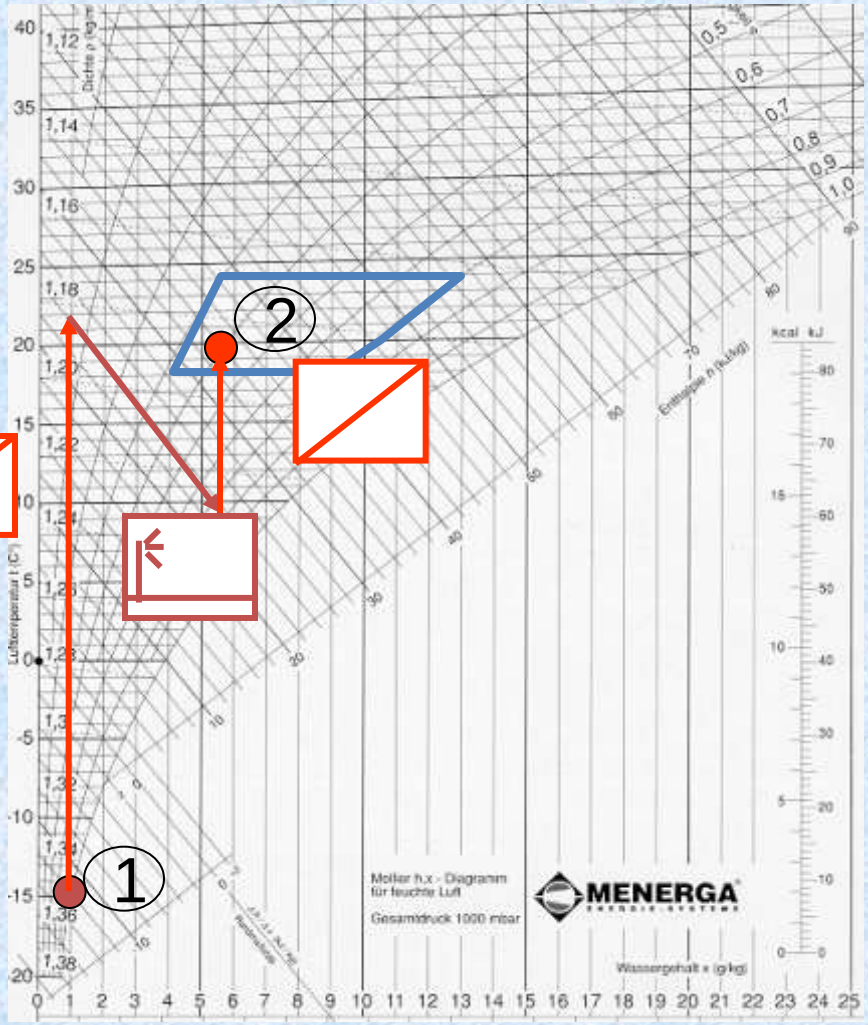
Změna teploty
Δ T

Zvlhčování
Mw= V* ρ Δ x

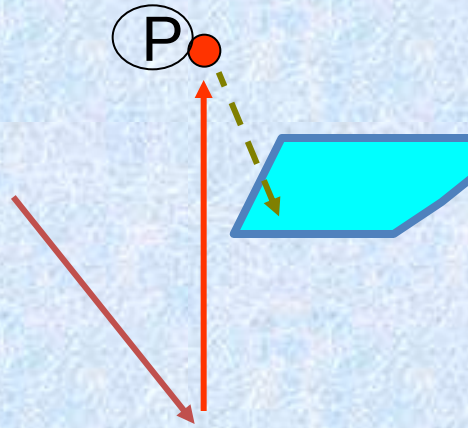
Vlhký vzduch – zima

② IA = 20°C, 40%
x = 5.8 g/kg
h = 35 kJ/kg

① EA = -15°C,
x = 1 g / kg
h = -13 kJ / kg



Zimní úprava,
Adiabatické vlhčení
Bez zahrnutí
zátěže prostoru

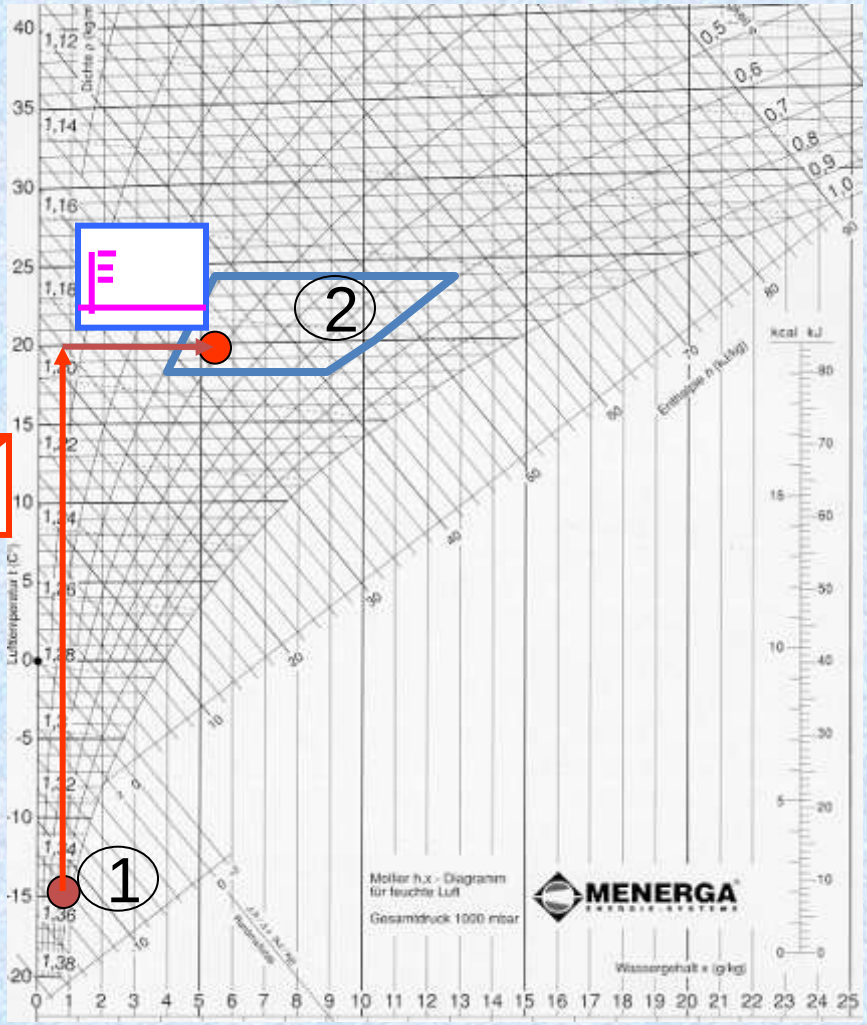


Při zahrnutí
tepelných ztrát (Δ t)
a zvlhčení (Δ x)
v prostoru

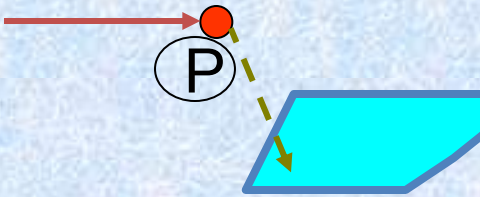
Vlhký vzduch – zima

② IA = 20°C, 40%
x = 5.8 g/kg
h = 35 kJ/kg

① EA = -15°C,
x = 1 g / kg
h = -13 kJ / kg



Zimní úprava,
parní vlhčení
Bez zahrnutí
zátěže prostoru



Při zahrnutí
tepelných ztrát (Δ t)
a zvlhčení (Δ x)
v prostoru

Určení množství vzduchu

Dle požadované intenzity větrání (AC/h)

$V' = V_{Místnosti} * AC/h$

Podle počtu osob

$V' = Osob * V'_{čerstvý\ vzduch} / Osobu$

Dle koncentrace škodlivin MAX [mg/h, cm³/h]

$V' = M_{Přívod} / (k_{MAX} - k_{přiváděný\ vzduch})$

Dle produkce vlhkosti G [g/h]

$V' = G_{Zdroj\ vlhkosti} / (x_{Odváděný} - x_{Přiváděný}) * \rho\Delta$

Dle teplené bilance Q´ [kW]

$V' = Q' * 3{,}600 / (\vartheta_{XA} - \vartheta_{IA}) * \rho * c_{Air}$

Kontroly klimatizací

» SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2002/91/ES ze dne 16. prosince 2002 o energetické náročnosti budov

» Zákon 406/2000 Sb. ze dne 25. října 2000 o hospodaření energií

» 177/2006 Sb. ze dne 29. března 2006, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů

» Vyhláška 277/2007 Sb. ze dne 19. října 2007 o kontrole klimatizačních systémů

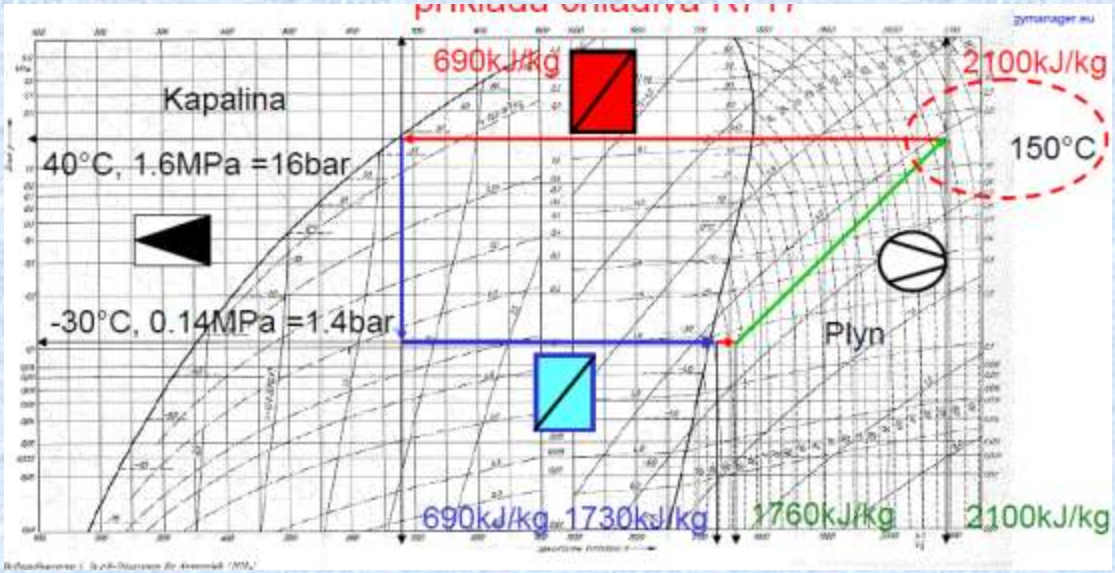
Snížení energetické náročnosti klimatizace

- Množství vzduchu (tlakové ztráty, příkon =f (V^3)
- Množství čerstvého vzduchu (ohřev, chlazení)
- Zpětné získávání tepla
- Ztráty rozvody (izolace, netěsnosti)
- Ztráty v klimatizační jednotce (w max. 2,5 m/s)
- Výměny filtrů (tlakové ztráty)
- Optimalizace provozu (paralelní topení chlazení)
- Vlhčení a odvlhčování
- Volné chlazení a tepelné zisky

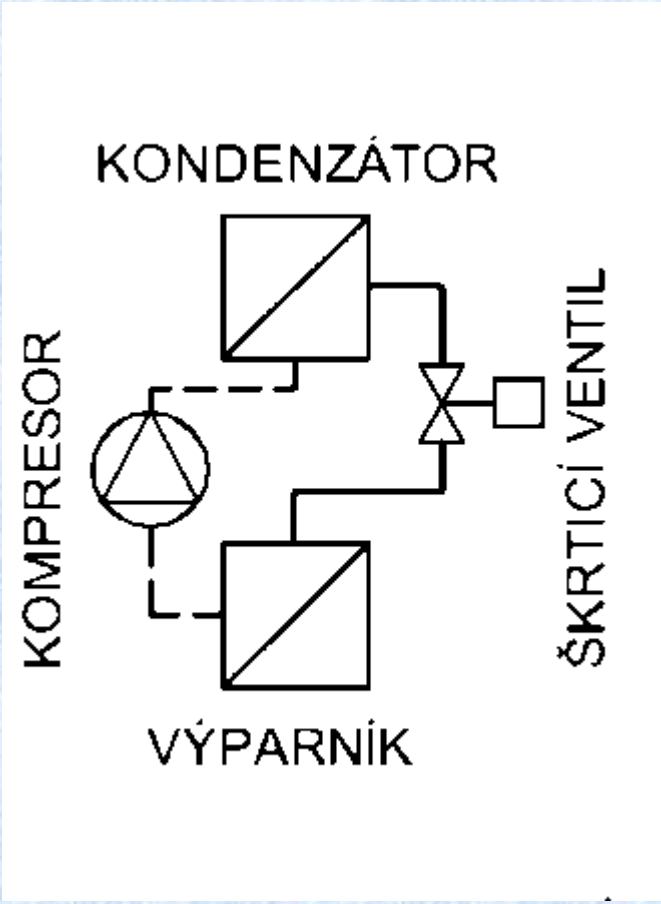
Zdroje chladu

- založená na oběhu chladiva (absorpční, kompresorová)
- termoelektrické chlazení (Peltiérův článek)
- alternativní způsoby chlazení využívající chlad z okolního prostředí, jako je noční chlazení, zemní chlazení, či chlazení adiabatické.

Kompresorový oběh



R717



Zdroje chladu

podle použitého kompresoru:

- **pístové** – především pro menší zařízení bez regulace průtoku chladiva,

spirálové (tzv. scroll) – pro menší zdroje s proměnným průtokem chladiva,

šroubové – pro zdroje větších výkonů,

- **turbokompresory, křídlové** a pod. – spíše výjimečně.

Kompresory je možno dělit podle spojení s pohonem na ucpávkové, polohermetické a hermetické.

Zdroje chladu

podle použitého chladiva.

- **R11, R12 a R22** se již v nových zařízeních nepoužívají.
  Postupný zákaz používání R22 pro údržbu plati od 1. 1. 2010 pro nové zboží, a od 1. 1. 2015 pro recyklované chladivo R22
- **R407C** (náhrada za R22), **R410A** (zdroje chladu, chladivové systémy),
- **R404A** (dopravní chlazení),
- **R134a** (zdroje větších výkonů);
- **R717** (čpavek) a **R744** oxid uhličitý.

Zdroje chladu

•kompaktní
(úplné chladicí zařízení),

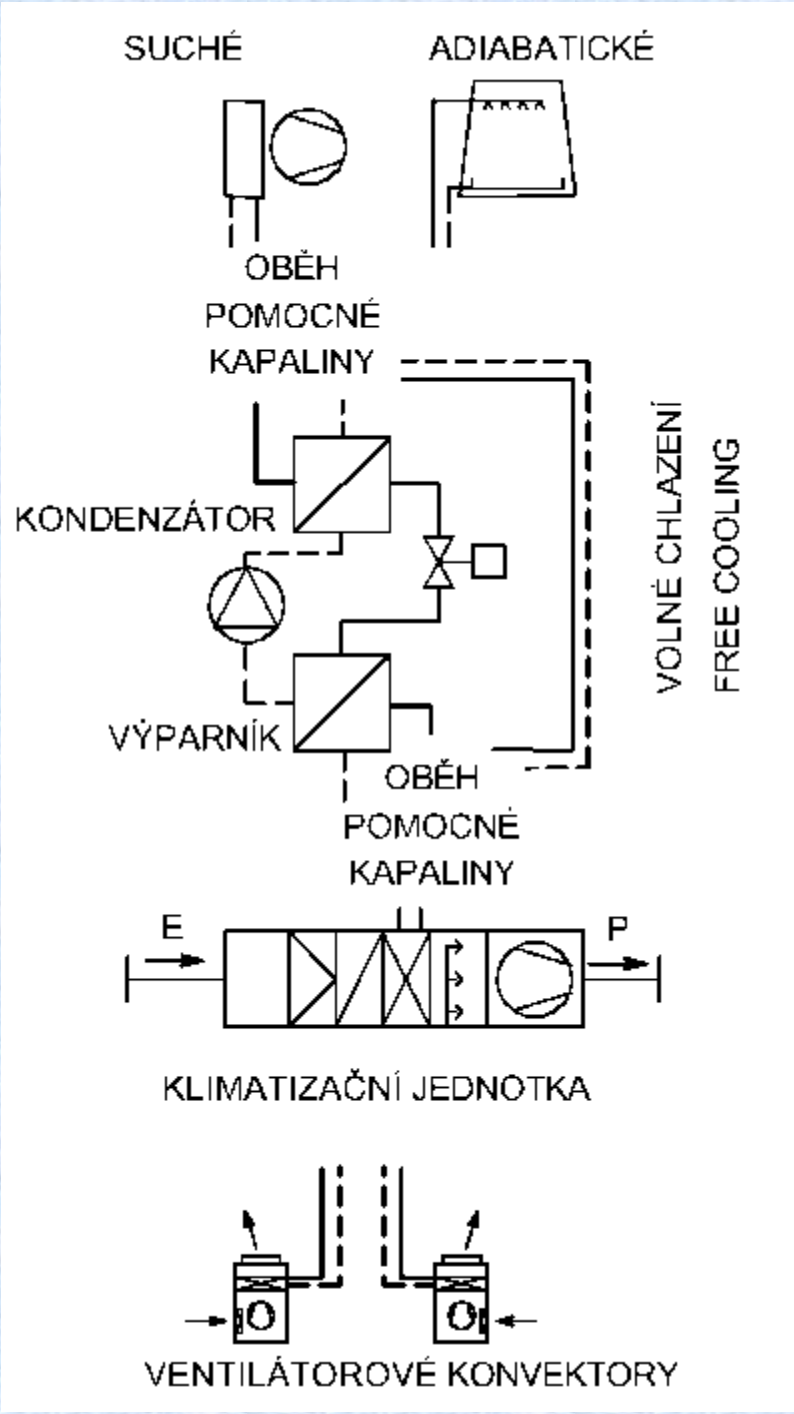
•kondenzátorové jednotky
(kondenzátor, kompresor)

•výparníkové jednotky
(kompresor, škrticí ventil,
výparník)

•sestavná zařízení,
dodáván každý díl samostatně.

Volné chlazení (free cooling)

přímé propojení vodních okruhů



Vzduchem chlazené kondenzátory

- Výměník Chladivo – Vzduch
- Externí, Interní, chlazené odváděným vzduchem
- Ploché (horizontální, vertikální), Věžové, V proved

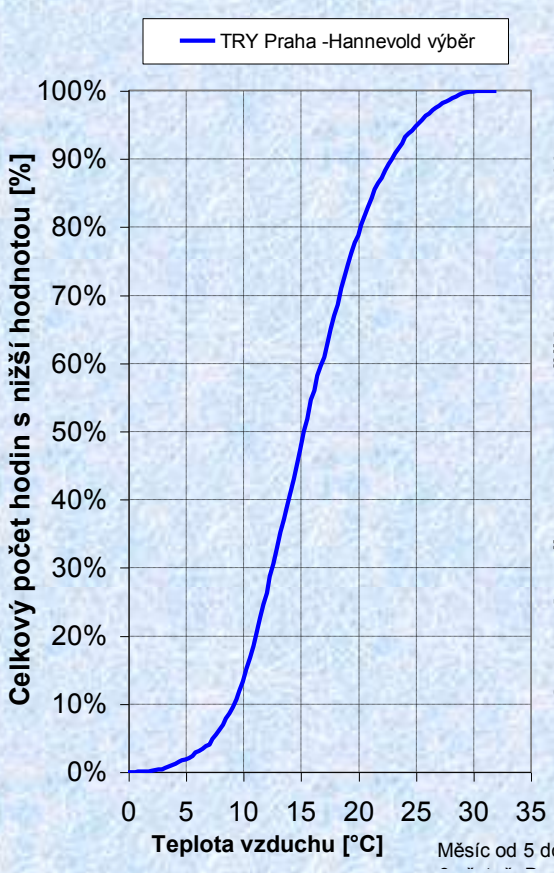
- Měděné s Al lamelami, Al výměníky s nekruhov průřezem (mikrokanály) kompaktnější

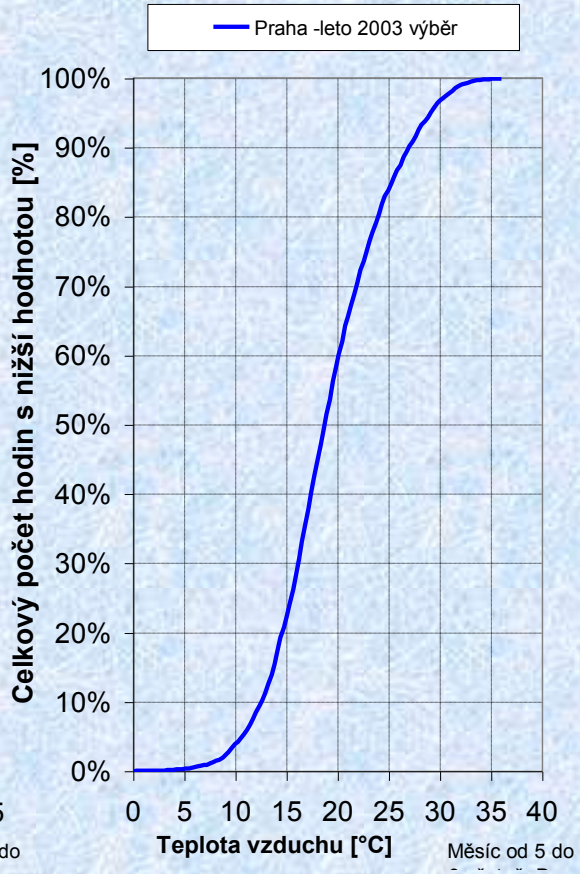
- Ventilátory ovlivňují chladicí faktor (hluk, regulace otáček)

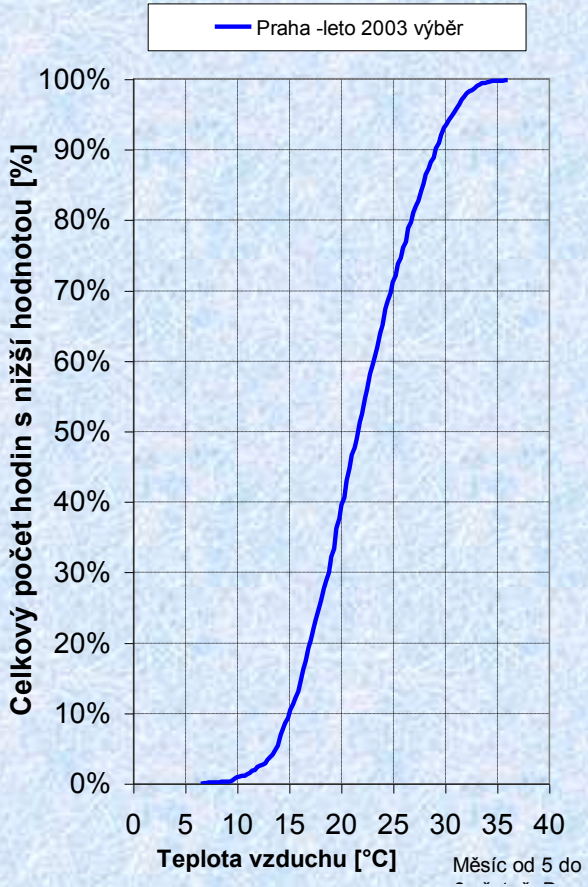
Vzduchem chlazené kondenzátory

- Teploty vzduchu

Den



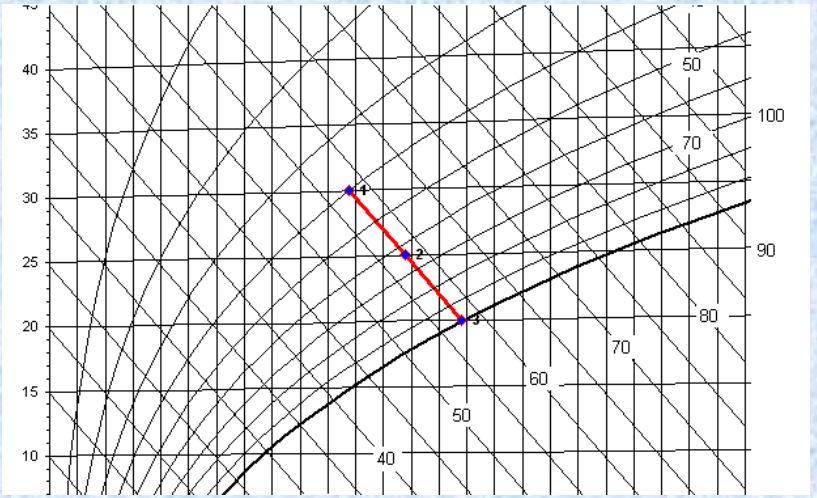




Adiabatické chlazení kondenzátorů

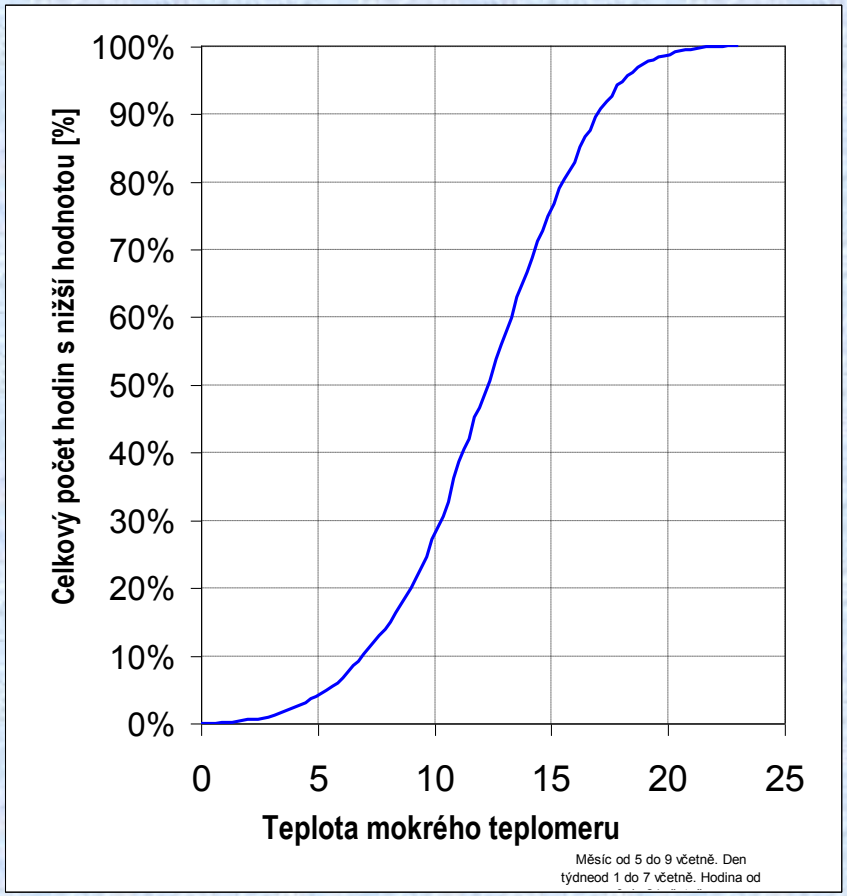
- Výměník Chladivo – Vzduch Voda

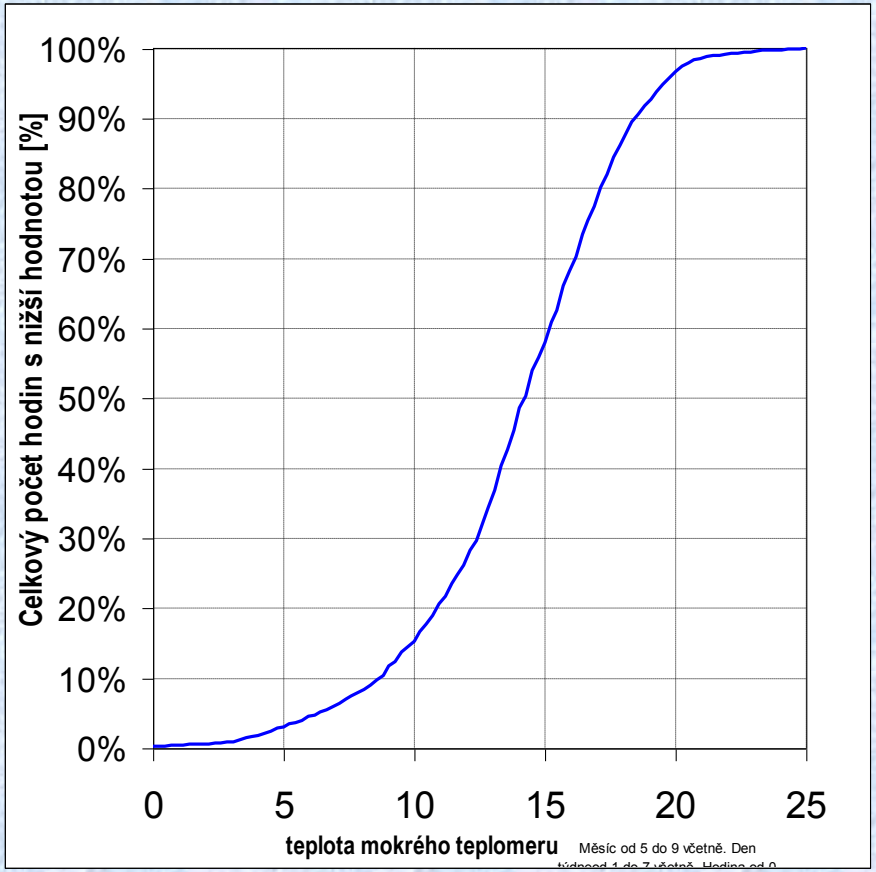
- Suché, Zkrápěné
- Teplota mokrého teploměru
- Vodní hospodářství, údržba, spotřeba vody
- Chladicí věže



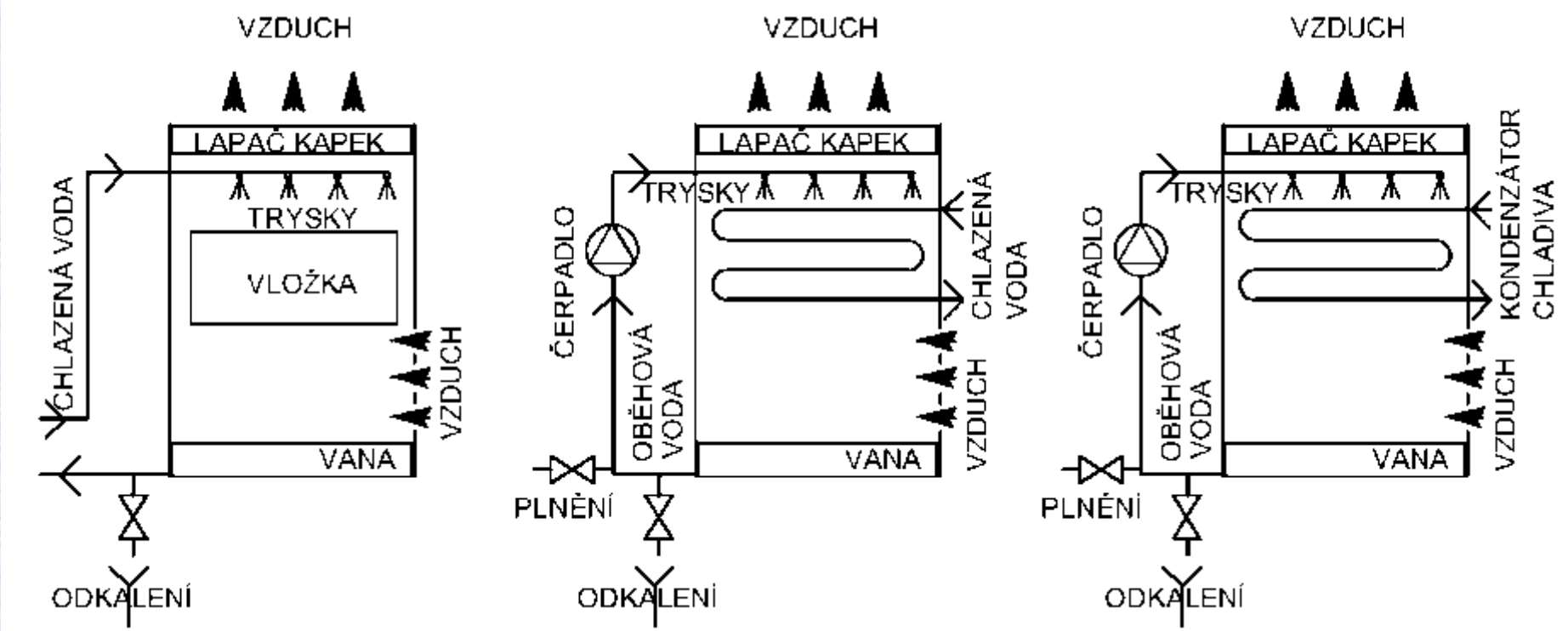
- Adiabatické chlazení vody (vodou chlazené kondensátory)

Teplota mokrého teploměru





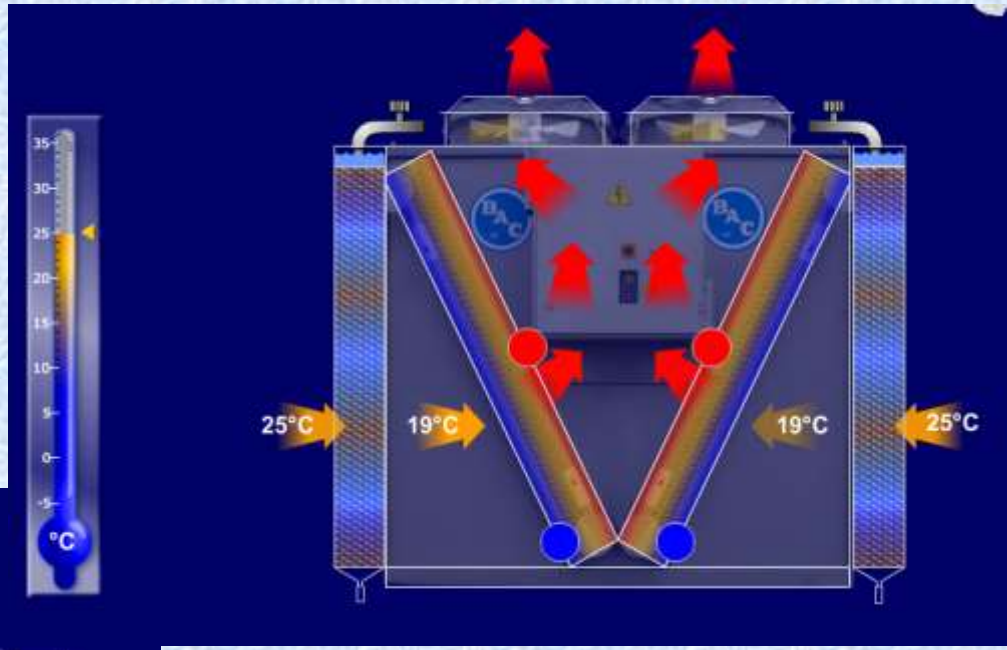
Chladicí věže

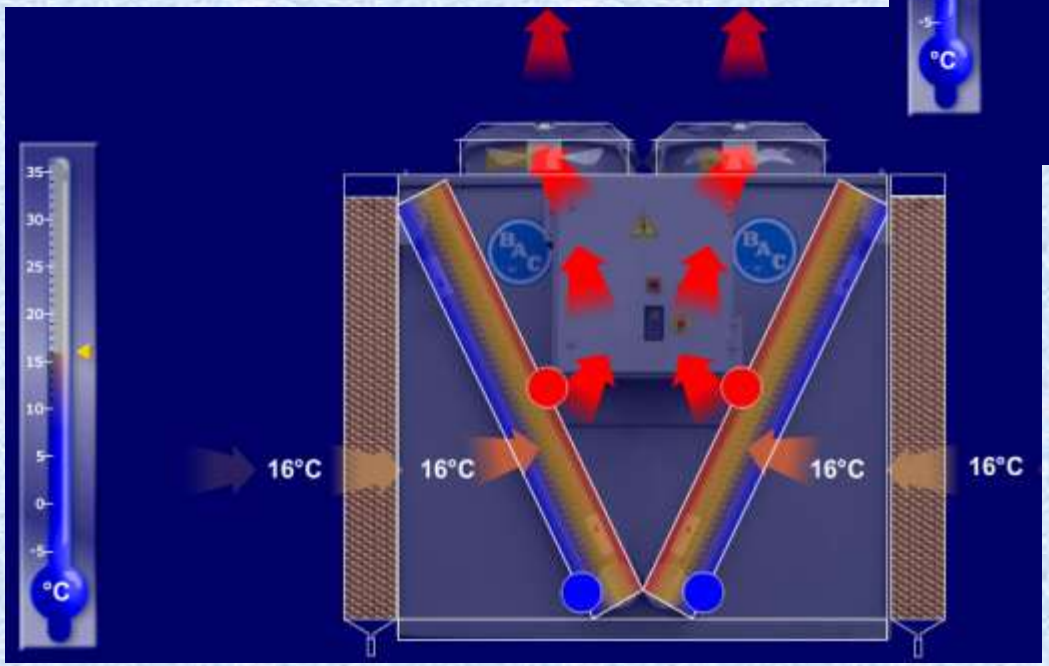


Mokro suché chlazení

Proměnné otáčky,

spínání vody





Chladicí faktor klimatizačního zařízení

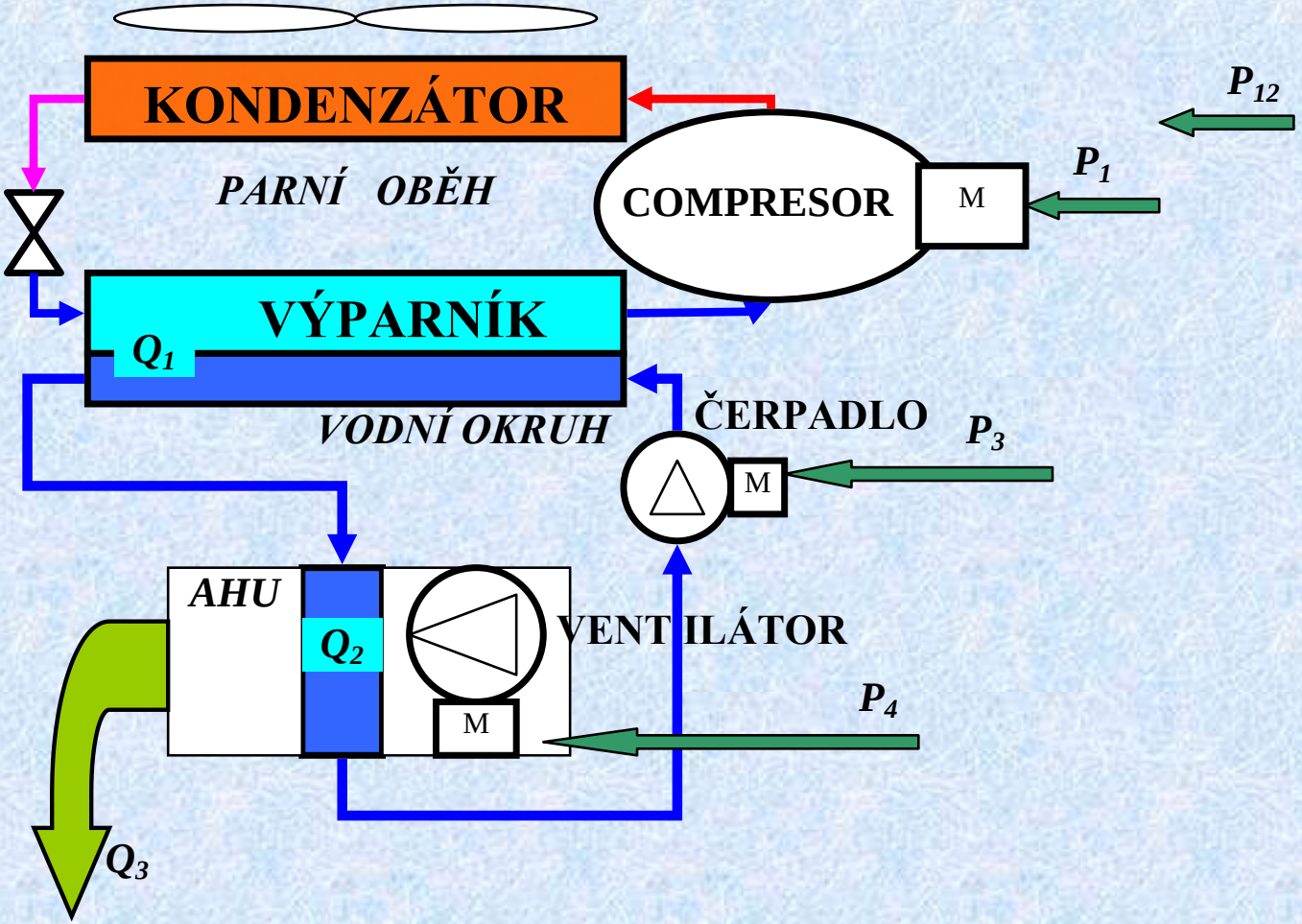
Chladicí faktor COP (Coefficient of performance) obecný výkonový koeficient definovaný poměrem získané energie k energii dodané

$$COP = \frac{Chladicí \quad výkon}{Příkon}$$

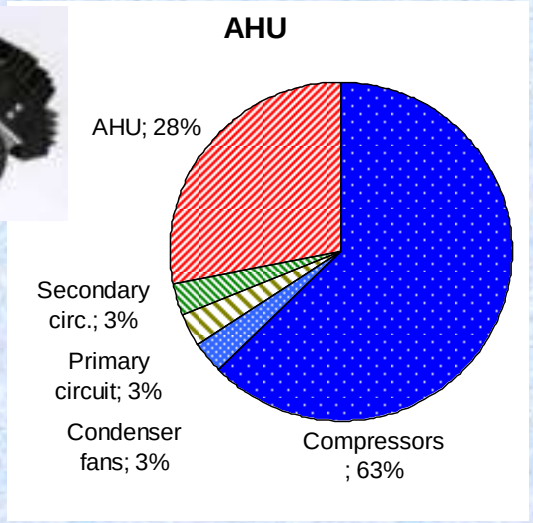
Kroky při hledání celkového COP klimatizačního systému

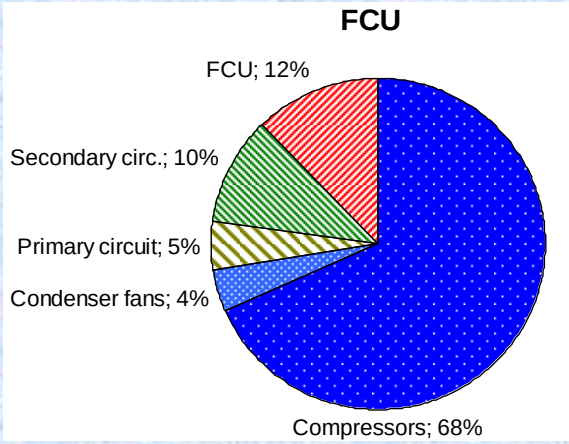
- Carnotův oběh
- Skutečný oběh chladiva se skutečným kompresorem
- Zdroj chladu
- Rozvody vody
- Vzduchotechnické jednotky

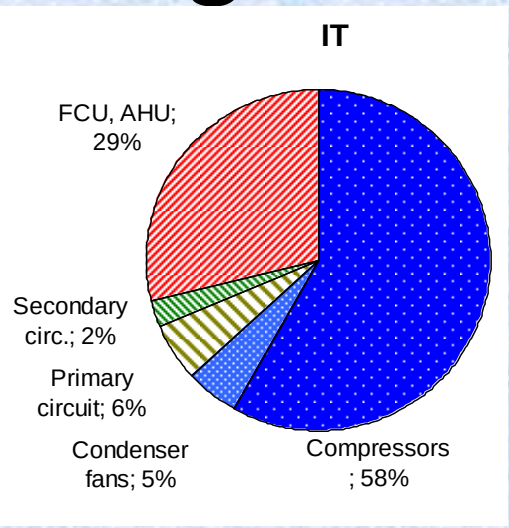
AC- systém

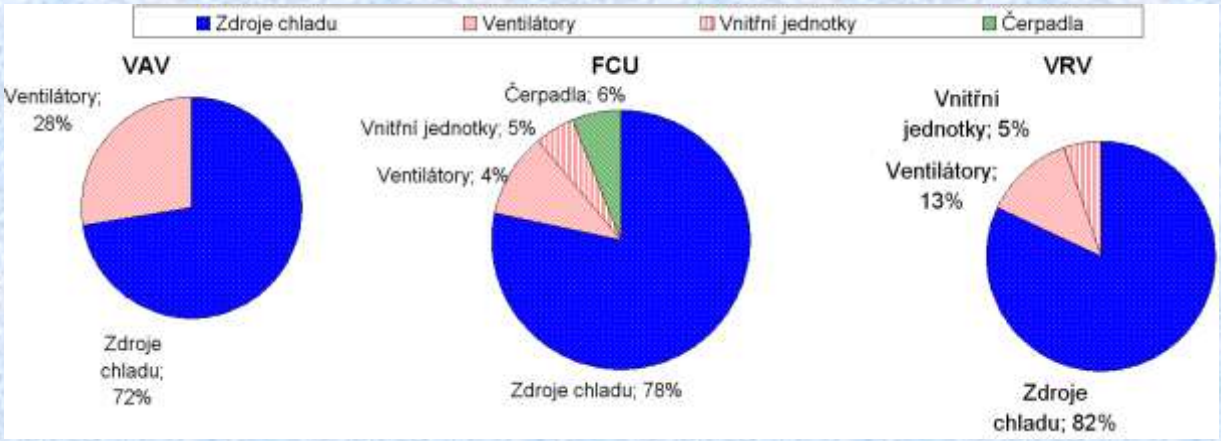

KONDENZÁTOR
PARNÍ OBĚH
COMPRESOR
M
P12
P1
VÝPARNÍK
Q1
VODNÍ OKRUH
ČERPADLO
P3
M
AHU
Q2
VENTILÁTOR
M
P4
Q3

Podíl pomocných energií









COP - EER

V současné době se pro zdroje chladu používá EER (Energy Efficiency Ratio) na místo dřívějšího COP.

Správně EER bezrozměrné (W/W) je shodné s COP v chladicím módu.

EER v Btu/Wh nebo kW/ton – příslušný převod (3.412)

Chladicí faktor

- Tento celkový chladicí faktor (EER)
- Zohlednění částečné zátěže

Evropský sezónní chladicí faktor ESEER =
0,03*EER100%+0,33*EER75%+0,41*EER50%+0,23*EER25%

Procento zatížení	Teplota vzduchu (°C)	Teplota vody (°C)	Koeficient v rovnici
100	35	30	3 %
75	30	26	33 %
50	25	22	41 %
25	20	18	23 %

Eurovent

- Platí pro vzduchem chlazené zdroje chladné vody do výkonu 600 kW a vodou chlazené zdroje do výkonu 1 500 kW.
- Posuzuje se chladicí faktor kompaktní jednotky s kompresorovým oběhem a interními nebo externími kondensátory.
- Pro potřeby klimatizace v režimu chlazení je chladicí faktor EER měřen při teplotě vody 7/12 °C a teplotě vzduchu 35 °C u vzduchem chlazených a 30/35 °C u vodou chlazených kondensátorů

Eurovent

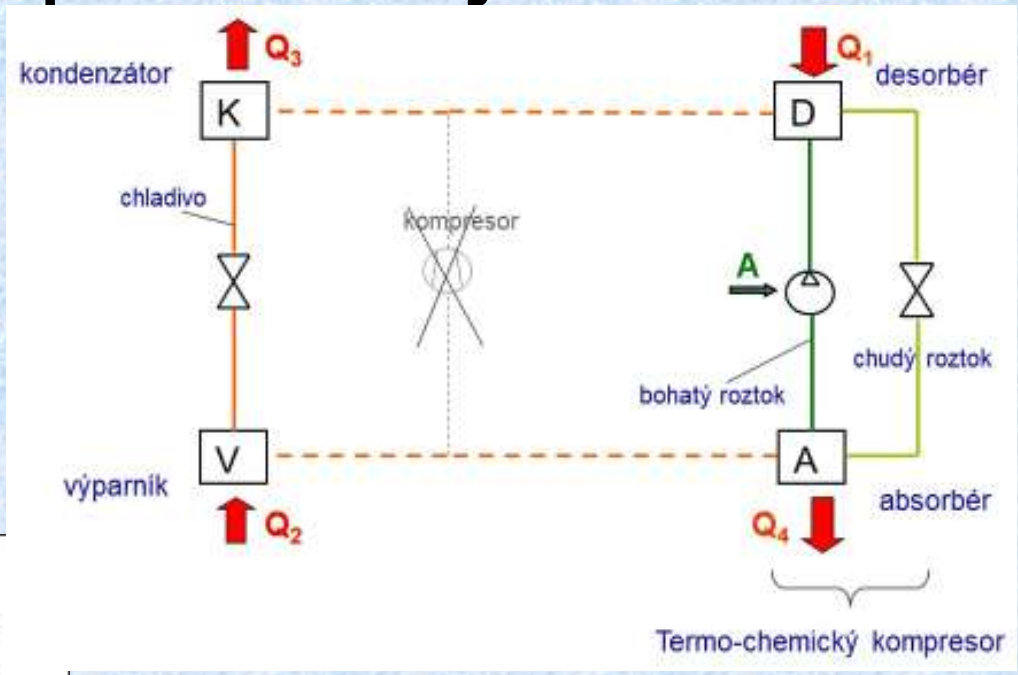
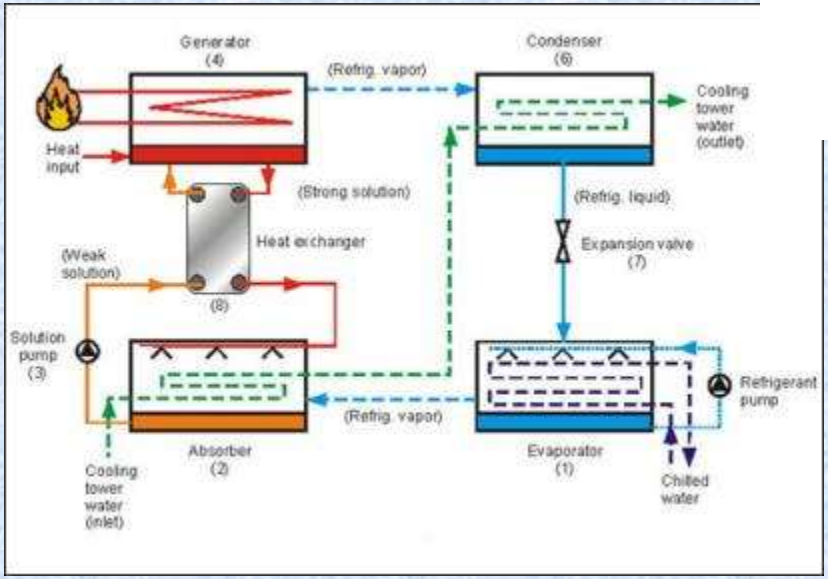
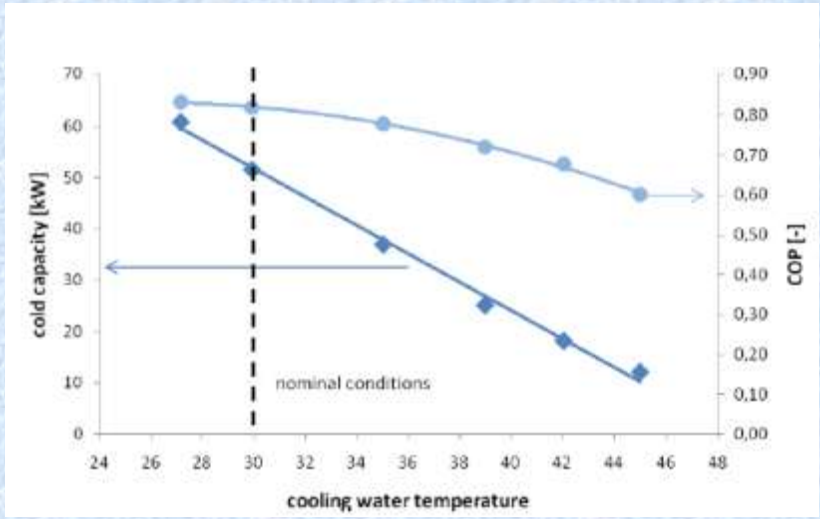
Klasifikace EER zdrojů chladu pro klimatizaci v režimu chlazení.

Třída EER	Vzduchem chlazené	Vodou chlazené	S externím kondensátorem
A	≥3,1	≥5.05	≥3,55
B	2,9÷3,1	4,65÷5,05	3,4÷3,55
C	2,7÷2,9	4,25÷4,65	3,25÷3,4
D	2,5÷2,7	3,85÷4,25	3,1÷3,25
E	2,3÷2,5	3,45÷3,85	2,95÷3,1
F	2,1÷2,3	3,05÷3,45	2,8÷2,95
G	≤2,1	≤3.05	≤2,8

Regulace a zlepšování EER

- Kompresory (vypínání, plynulá regulace)
- Ventilátory
- Čerpadla
- Výměníky (základní dimenzování-regulace)
- Akumulace chladu
- Minimalizace rozdílu teplot
- Ztráty rozvodů

Absorpční zdroje

- Absorpční (adsorpční) zařízení pracují bez kompresoru jen s oběhovými čerpadly,
- Pro funkci absorpčního oběhu je třeba dodávat teplo.
- Tam, kde je k dispozici odpadní teplo od technologického procesu.
- Například při kogenerační výrobě elektřiny se odpadní teplo v zimě používá k vytápění a v létě k pohonu absorpčního zdroje chladu a takový proces se někdy nazývá trigenerace (výroba elektřiny, tepla a chladu).

Absorpční zdroje