

OZEB

alternativní a pasivní chlazení

úvod do problému

Miroslav Urban

Katedra technických zařízení budov

Stavební fakulta, ČVUT v Praze

(c) Miroslav Urban 04/2014



Osnova přednášek

- 1. část – pasivní metody
 - Úvod do problému – vliv tepelných zisků
 - Pasivní předcházení tepelným ziskům
 - Architektonické metody
 - Specifická stavební řešení objektu

- 2. část – alternativní chlazení
 - Alternativní způsoby strojního chlazení
 - Absorpční chlazení
 - Adsorpční chlazení
 - Chlazení pomocí desikantu
 - A další ...

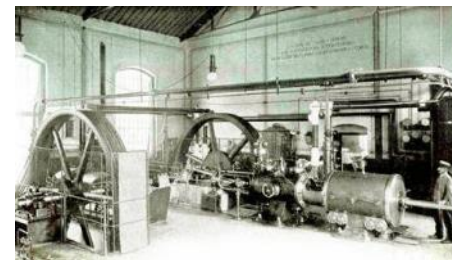


Historický úvod

Chlad - pro potřeby **uchovávání potravin** (*pomocí ledu*)

Rozvoj chladírenství - motivován potřebami potravinářského průmyslu, zejména **pivovarnictví** ..

- 1769 James Watt - oddělený kondenzátor



- 1928 – Willis Haviland Carrier (tzv. „otec klimatizace“)
domovní klz jednotka "Weathermaker"

- 40. léta v USA ročně 30.000 jednotek



- 1998 - Klimatizační jednotky a tepelná čerpadla prolomily v USA hranici 6.2 miliónu prodaných jednotek



Co ovlivňuje potřebu chladu v budovách?

- **Klimatizace** - systémy zajišťující tvorbu vnitřního prostředí obytných budov
- **Měřítkem** a základním **kriteriem** pro klimatizaci budov je **ČLOVĚK ... jeho potřeby a požadavky ...**

Vnější faktory

- **klimatické poměry**
(teplota, vlhkost, vítr, srážky)
- **expozice budovy v exteriéru**
(orientace, terén, nadm. výška)

Vnitřní faktory

- **člověk**
(věk, pohlaví, činnost, oděv ..)
- **technologie, vnitřní zařízení**
(zdroje škodlivin, atd.)
- **provoz budovy**

Vnitřní prostředí



Energetická náročnost

Systémy TZB

- (koncepce zařízení, provoz)
- **větrání a klimatizace**
- **vytápění**
- **systém MaR**

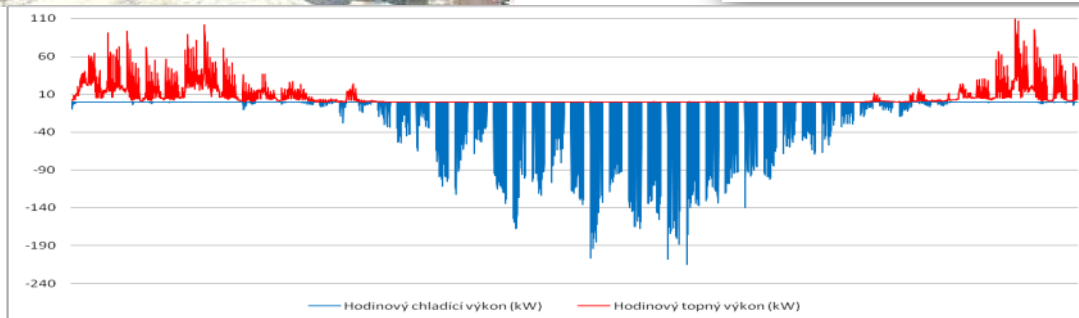
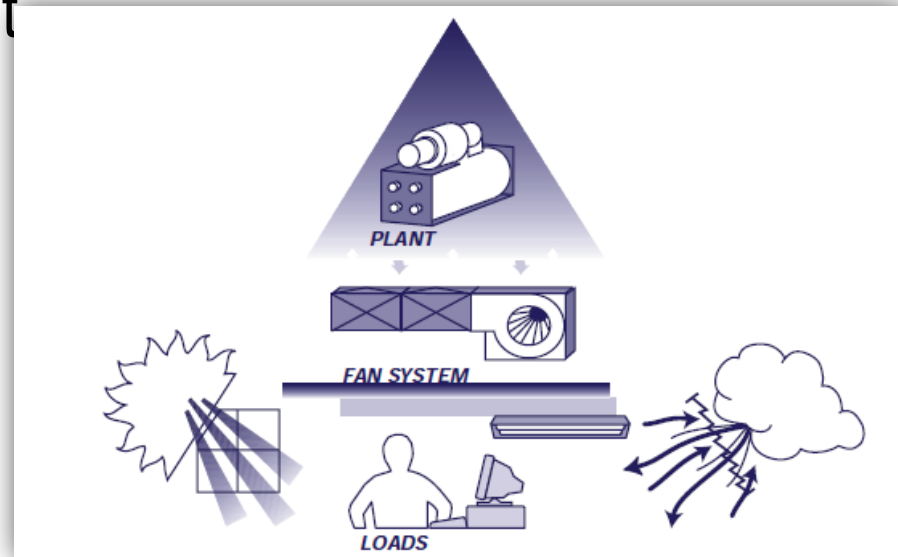
Objekt

- **architektonický koncept**
(tvar, členitost, prosklení, atd.)
- **dispoziční řešení**
(funkce objektu, zónování)



Koncepce systému chlazení

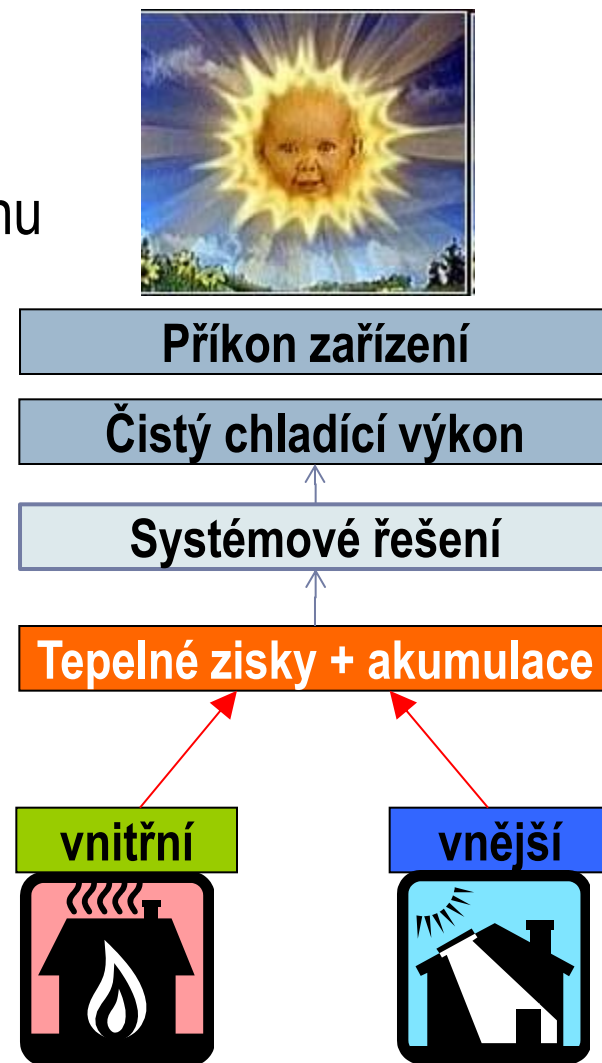
- **zásada komplexního návrhu chladicího systému:**
 - tepelné zisky nejprve pasivně předcházet, než následně aktivně nákladně eliminovat





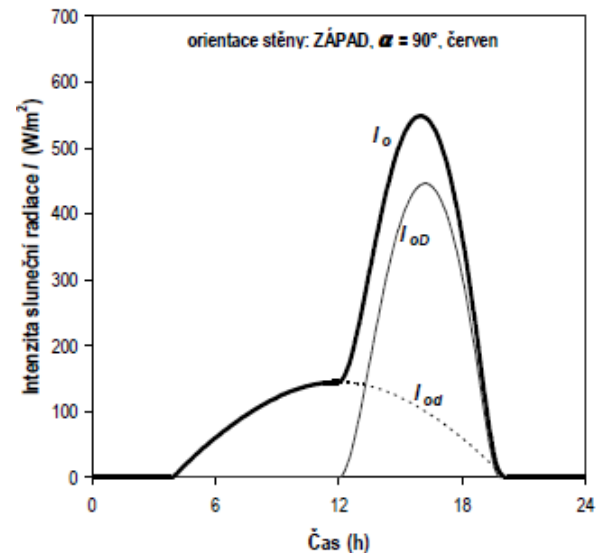
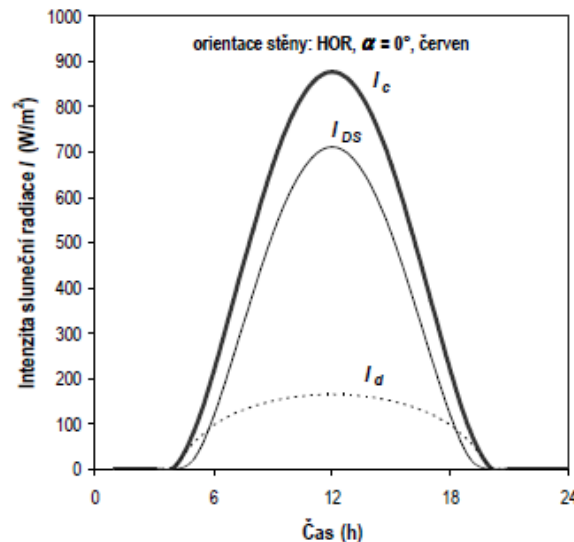
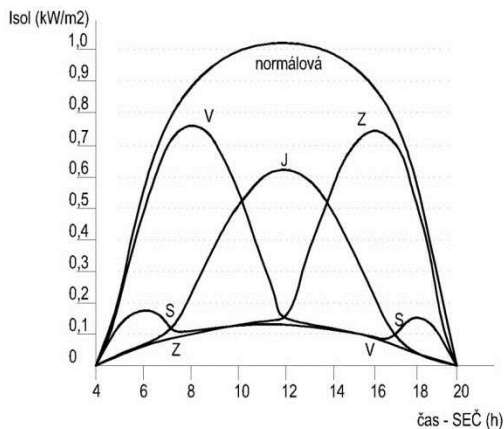
Chladicí výkon, stanovení tepelné zátěže

- Stanovení tepelné zátěže
 - **ČSN 730548**
 - Výpočte pro typický den a typickou hodinu
 - Výpočet = maximální tepelná zátěž
 - **VDI 2078 (1992)**
 - Zjednodušená metoda
 - Výpočet = maximální tepelná zátěž
 - **Dynamická simulace**
 - Roční průběh v dynamickém modelu
 - Výpočet
 - maximální tepelná zátěž
 - roční průběh tepelné zátěže = analýza provozu systému, budovy



Obecný princip výpočtu tepelné zátěže

- Klimatická data sluneční radiace
 - přímá sluneční ozáření – je způsobeno přímým zářením slunce; je směrové
 - nepřímá (difúzní) sluneční ozáření - vzniká rozptylem a odrazem přímé sluneční radiace od prachových částic ve vzduchu, od větších molekul a od osluněných povrchů; je všesměrové





Obecný princip výpočtu tepelné zátěže

- Venkovní teplota
- **Stanovení venkovní teploty zjednodušenou metodou**

$$t_e = t_{e_{\max}} - A[1 - \sin(15\tau - 135)]$$

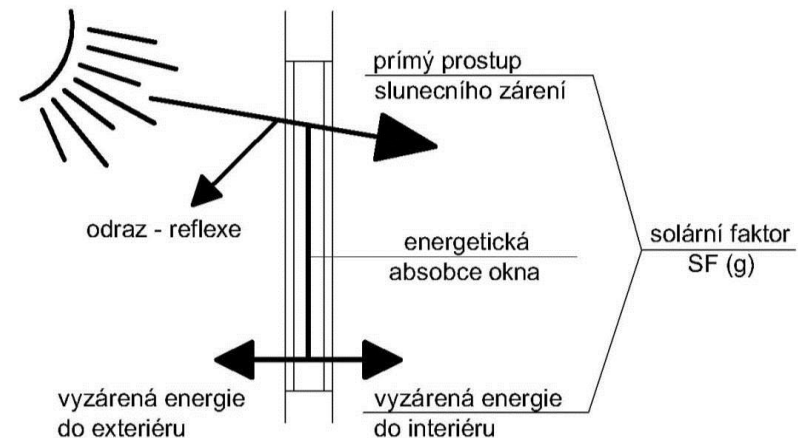
| Měsíc | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen |
|---------------------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|------|-------|
| $t_{e_{\max}}$ [°C] | 19,0 | 22,0 | 26,5 | 28,5 | 30,0 | 30,0 | 27,5 | 23,5 |

- Detailním výpočtem
 - Podle typu okolních povrchů, množství zeleně, charakteru zástavby
 - Viz emisivita a pohltivost materiálů



Vnější tepelné zisky

- Energetická bilance okna
- **spektrum elektromagnetického záření:**
 - a) **ultrafialové záření** – 0,2-0,4 μm – pohlceno téměř úplně plyny v atmosféře
 - b) **viditelné záření** – 0,4-0,7 μm – světelná energie – barva závislá na vlnové délce (fialové, modrá, zelená, žlutá, oranžová, červená)
 - c) **krátkovlnné infračervené záření** – 0,7-3 μm – lidské oko není na ně citlivé
- a) + b) + c) = **krátkovlnné záření**
- d) **tepelné infračervené záření**
 - $> 3 \mu\text{m}$
 - **dlouhovlnné záření**
 - sklo jej nepropouští



Vnější tepelné zisky

■ Prostup tepla konvekcí

■ Oknem

$$Q_{ok} = U_o S_o (t_e - t_i)$$

■ Stěnou

■ střední

$$Q_s = U_{st} S_{st} [(t_{rm} - t_i) + m(t_{r\psi} - t_{rm})]$$

■ těžká

$$Q_s = U_{st} S_{st} (t_{rm} - t_i)$$

■ lehká

$$Q_s = U_{st} S_{st} (t_r - t_i)$$

■ t_r rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

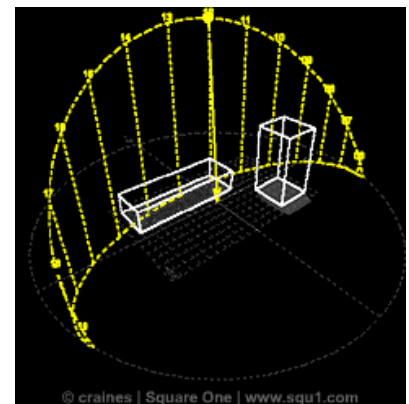
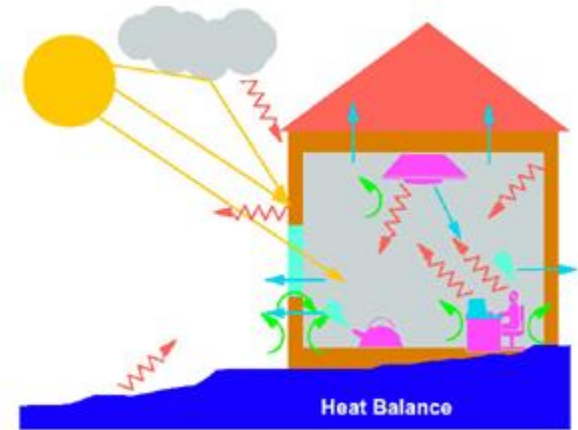
■ t_{rm} průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin [$^{\circ}\text{C}$]

■ $t_{r\psi}$ rovnocenná sluneční teplota v době o y dřívější [$^{\circ}\text{C}$]

■ Prostup tepla radiací

$$Q_{or} = [S_{os} I_0 c_0 + (S_o - S_{os}) I_{0d}] s \cdot n_o$$

$$Q_{sol} = S_{os} \cdot I_{sol} \cdot g \cdot f$$

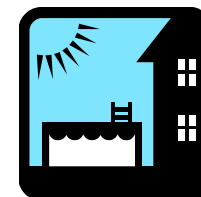




Vnější tepelné zisky

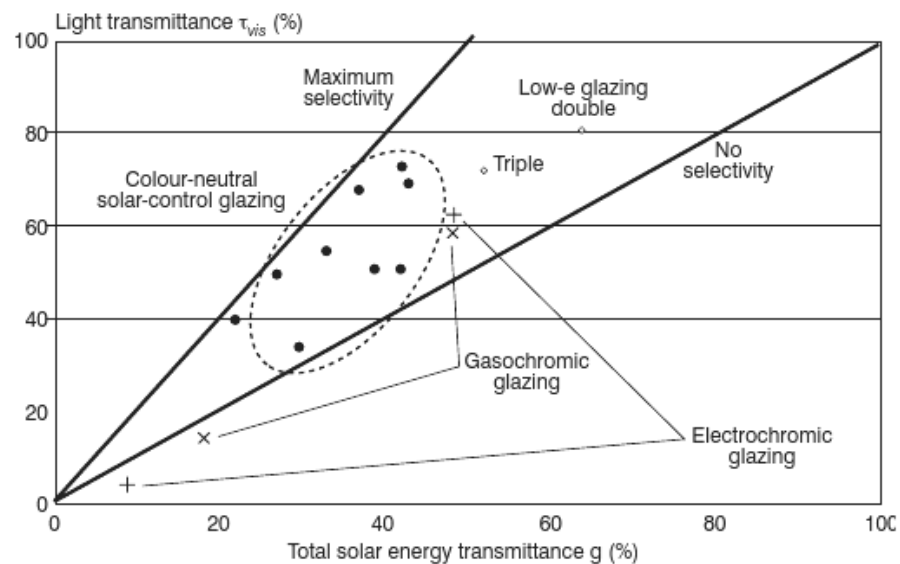
- Energetické vlastnosti okna
 - Celkový činitel prostupu slunečního záření g [-] (Solar factor, solární faktor – SF) – propustnost záření o vlnové délce mezi 300 a 2500 nm (krátkovlnné záření)
- Světelné vlastnosti okna
 - Světelný činitel prostupu τ (Light transmission – LT) a světelný činitel odrazu ρ_v (Light reflection – LR), propustnost viditelného záření (mezi 380 a 780 nm)

| | g (SF) | τ (LF) |
|--------------------------|----------|-------------|
| Čiré sklo tl. 4 mm | 0,86 | 0,90 |
| Čiré dvou sklo 4-15-4 mm | 0,76 | 0,81 |





Vnější tepelné zisky – prosklené plochy



selektivita skla (τ/g)

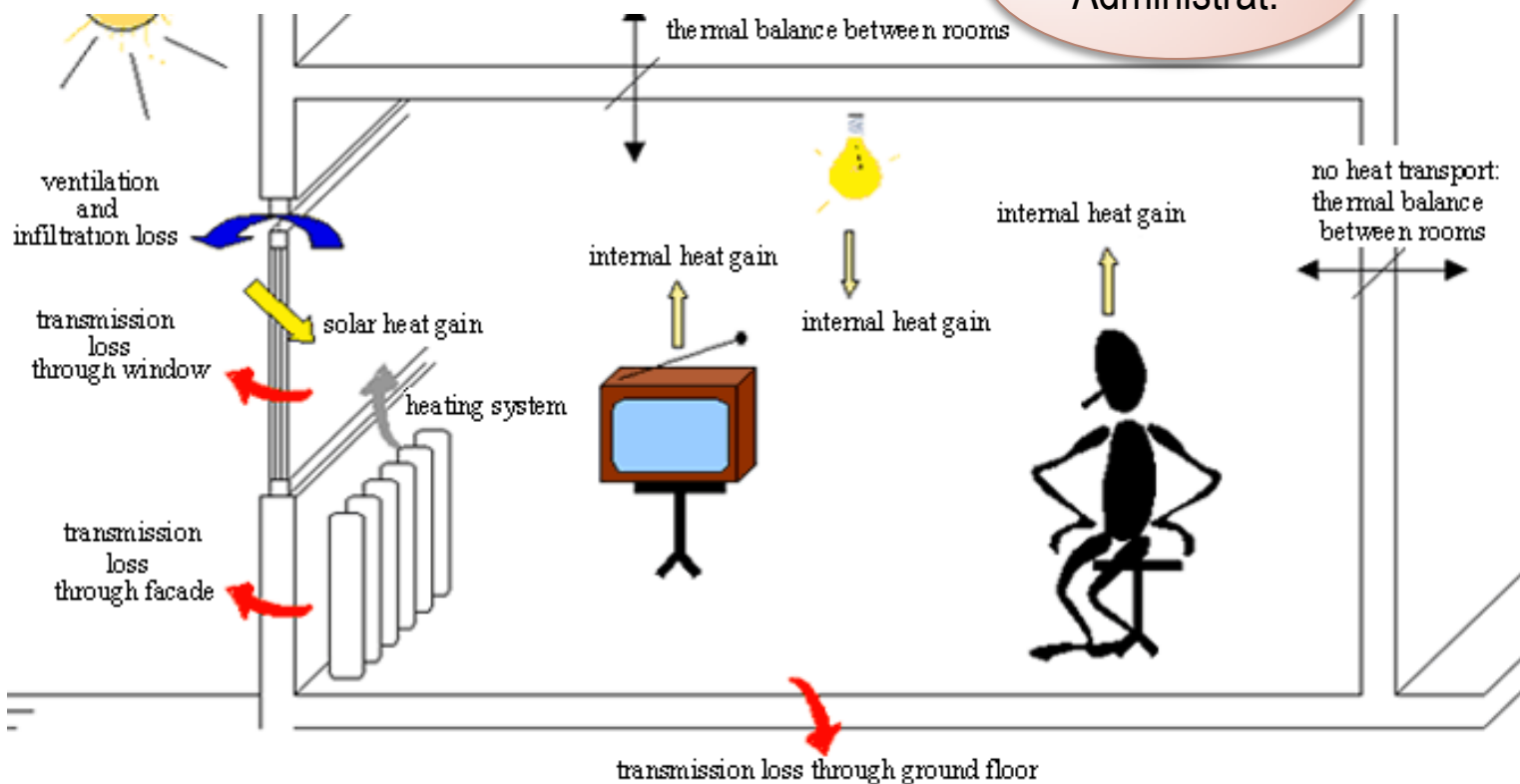
Vnitřní tepelné zisky

- Osoby
- Vybavení
- Osvětlení

Současnost
vzniku zisků !

W/h
na prostor

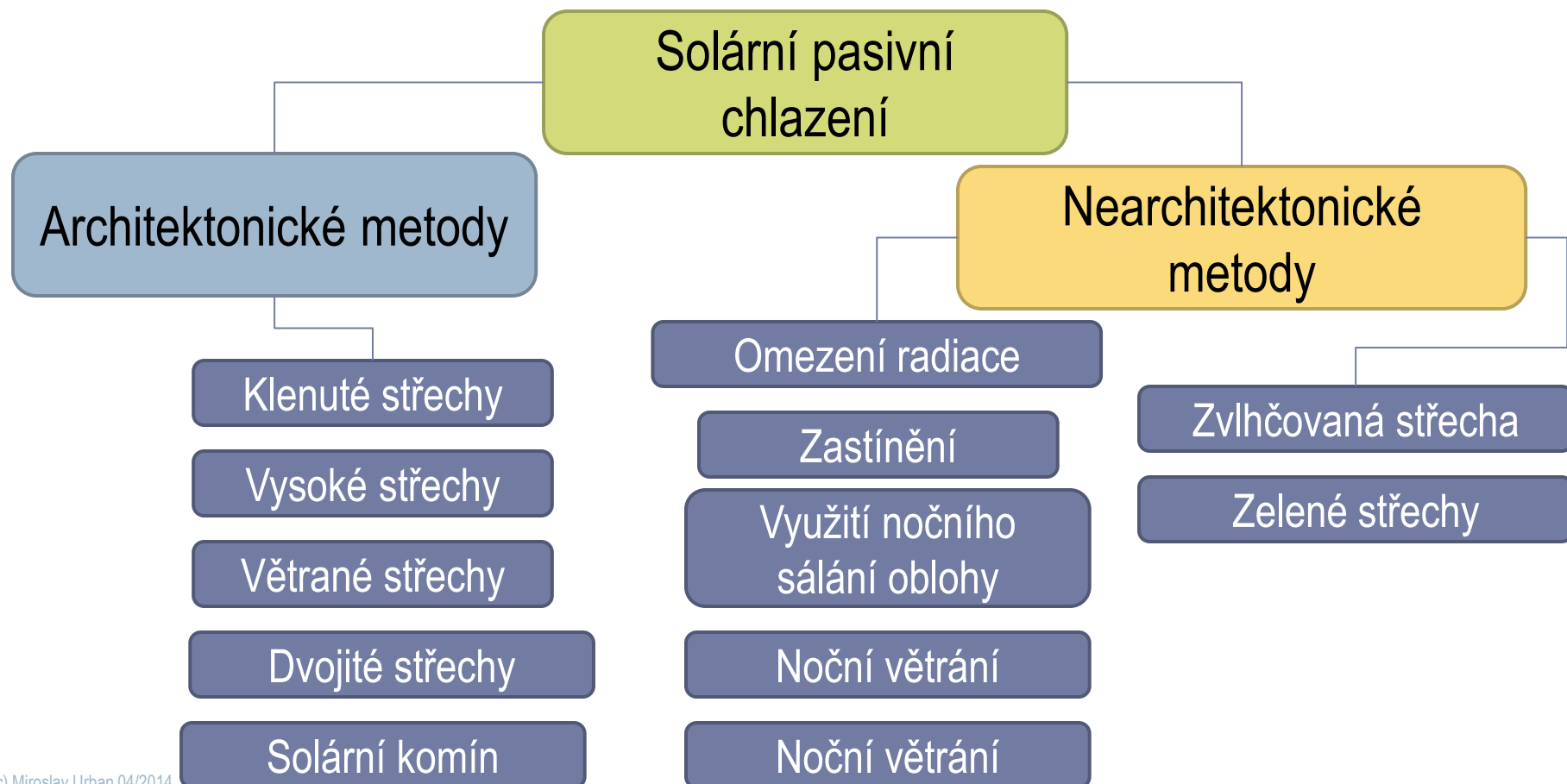
10-25 W/m²
Administrat.





Solární pasivní chlazení - rozdělení

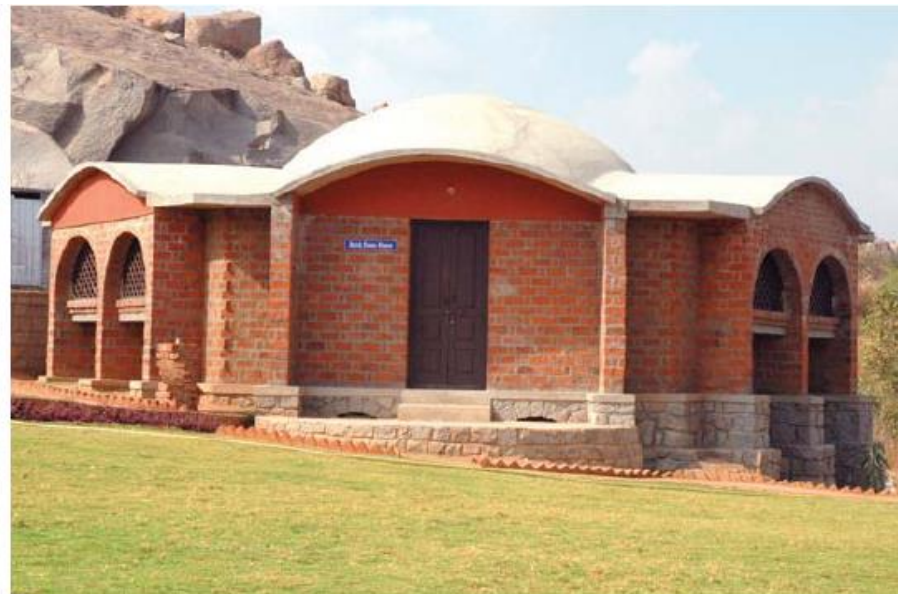
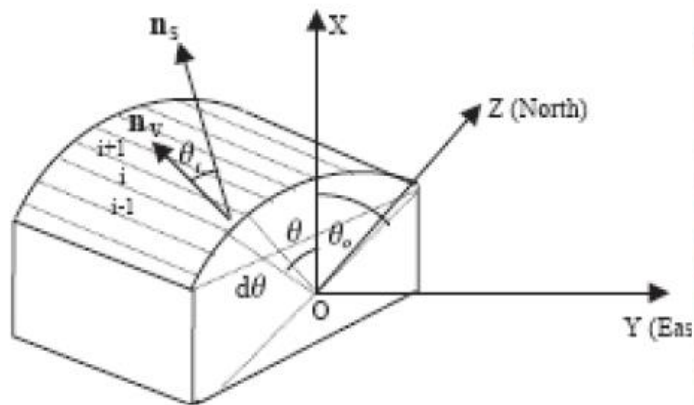
- Využívá kombinace přirozeného a hybridního větrání
- Nejedná se o strojní poučené systémy TZB





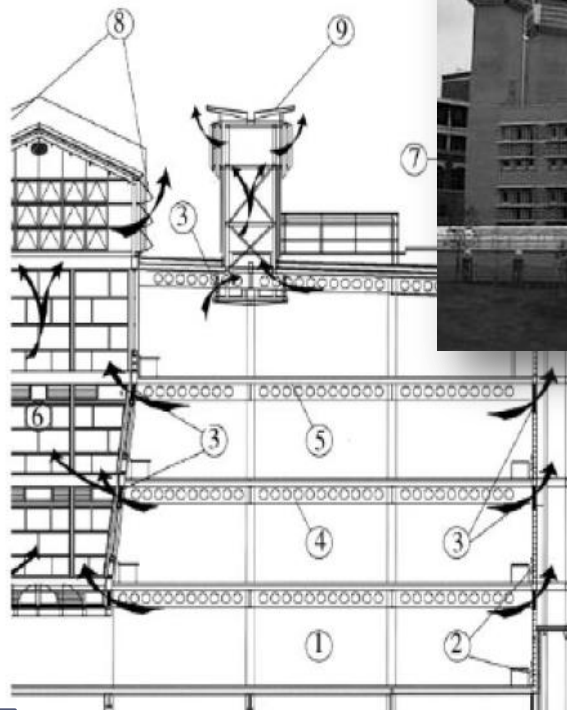
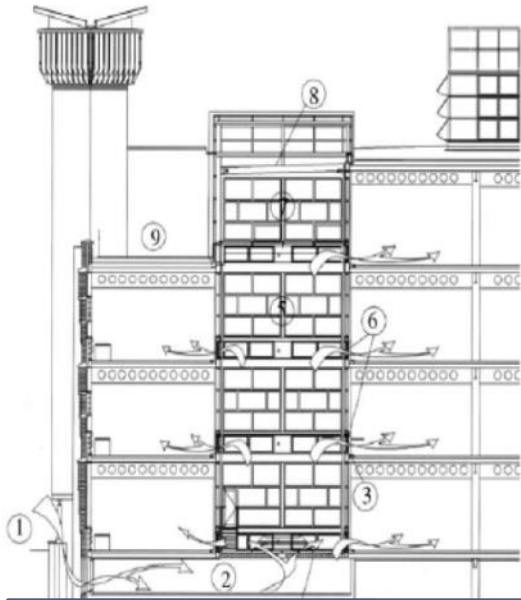
Architektonické metody

- Využívají minimalizace povrchů vystavených sluneční radiaci
 - Klenuté a valené střechy
 - Střední východ, Afrika, Indie
 - Eliminace přímo osávané plochy střešního pláště (eliminace normálového záření)



Architektonické metody

- Střecha jako funkční prvek



Přívod vzduchu do budovy
přes zemní registr

Odvod vzduchu vztlakem





Stínění budovy

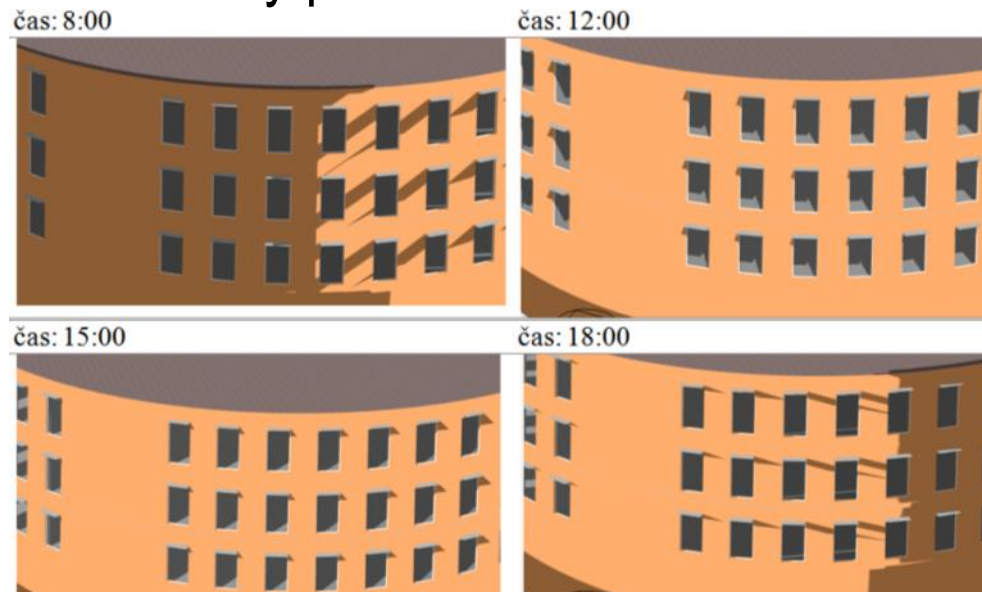
- Vnitřní stínící prvky
 - prakticky nesnižují tepelnou zátěž v prostoru
 - Pouze omezí přímý dopad radiace na předměty, které následně vyzařují dlouhovlnné záření (teplo) – viz příklad osluněná černá sedací souprava v interiéru
- Vnější stínící prvky
 - slunolamy
 - venkovní žaluzie
 - markýzy





Vnější stínící prvky

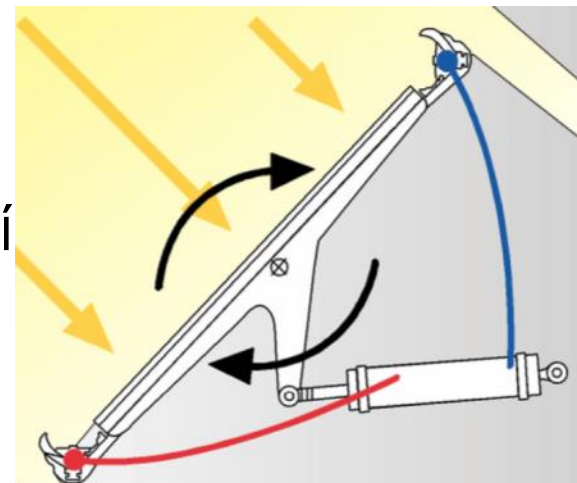
- Doporučuje se provést simulační výpočet
 - Stanovit vliv stínících prvků na letní a zimní režim budovy
- Markýzy
 - našich podmínkách neefektivní do přesahu cca 0,7 m
 - Snižují denní osvětlenost, zvětšují přesah budovy ..
 - Výrazný architektonický prvek





Vnější stínící prvky

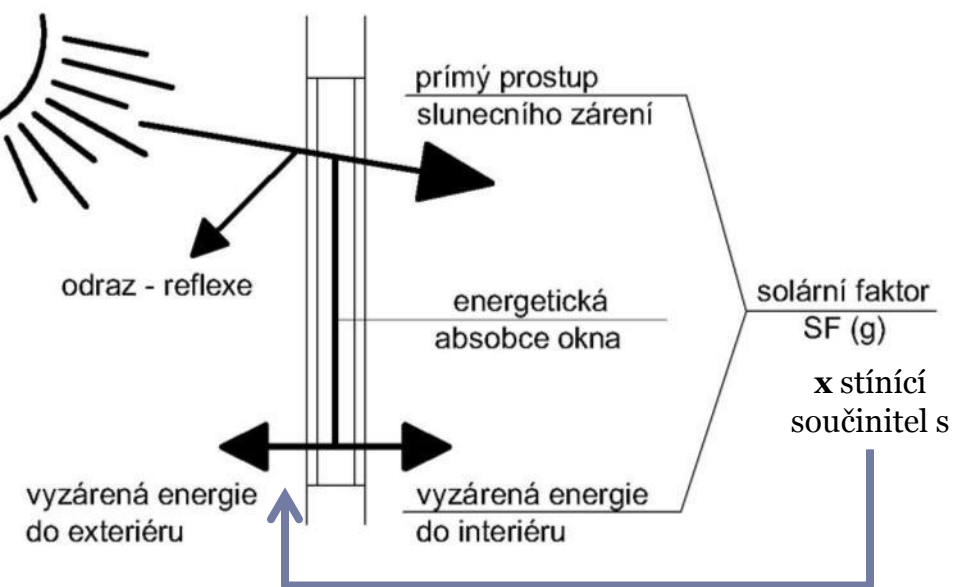
- Pohyblivé vnější žaluzie
 - Účinný systém na způsobu ovládání
 - ruční řízení – faktor člověk
 - automatické – řídicí veličina:
 - Intenzita solární radiace dopadající na čidlo (nejčastější)
 - Teplota stíněného interiéru
 - Časový plán
- Ovládání (režimy) automatických žaluzií
 - zataženo / vytaženo
 - natočení lamel žaluzií podle slunečního záření
 - Ovládání napojeno na další systémy budovy
 - Osvětlení (hlídá se osvětlenost prostor)
 - Otevření oken, apod.





Zastínění osluněných ploch

- Venkovní stínící prvky – eliminace solární radiace
 - stínící součinitel, nebo zahrnuto přímo v g (SF)



| Typ zasklení | $g_{gl,n}$ [-] | $g_{gl,n}$ [-] (venkovní protisluneční ochrana) | |
|--|----------------|---|------------|
| | | bílé | tmavě šedé |
| | | Venkovní žaluzie pod sklonem 45° | |
| jednoduché | 0,87 | 0,15 | 0,14 |
| dvojitě | 0,78 | 0,12 | 0,1 |
| trojitě | 0,7 | 0,11 | 0,08 |
| dvojitě izolační zasklení | 0,65 - 0,72 | 0,1-0,11 | 0,06-0,07 |
| trojitě izolační zasklení | 0,5 | 0,06-0,07 | 0,02-0,04 |
| dvojitě zasklení se selektivní vrstvou | 0,25-0,48 | 0,06-0,07 | 0,05 |



Omezení emisivity materiálů

- Barva a typ povrchu budovy
 - Pohltivost a sluneční radiace působící na stavební materiály – snížit sálání 10 μm
 - Použití materiálů s nízkou emisivitou

$$\varepsilon_T = H_E / H_{OE}$$

H_E intenzita

vyzařování reálného tělesa

udává výkon vyzářený plochou

reálného tělesa do

celého poloprostoru

H_{OE} intenzita absolutně

černého tělesa udává výkon

vyzařený plochou černého

tělesa do celého poloprostoru

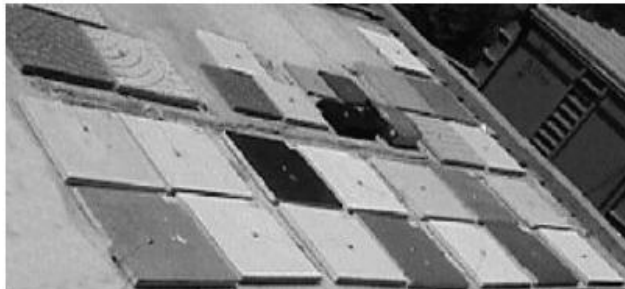
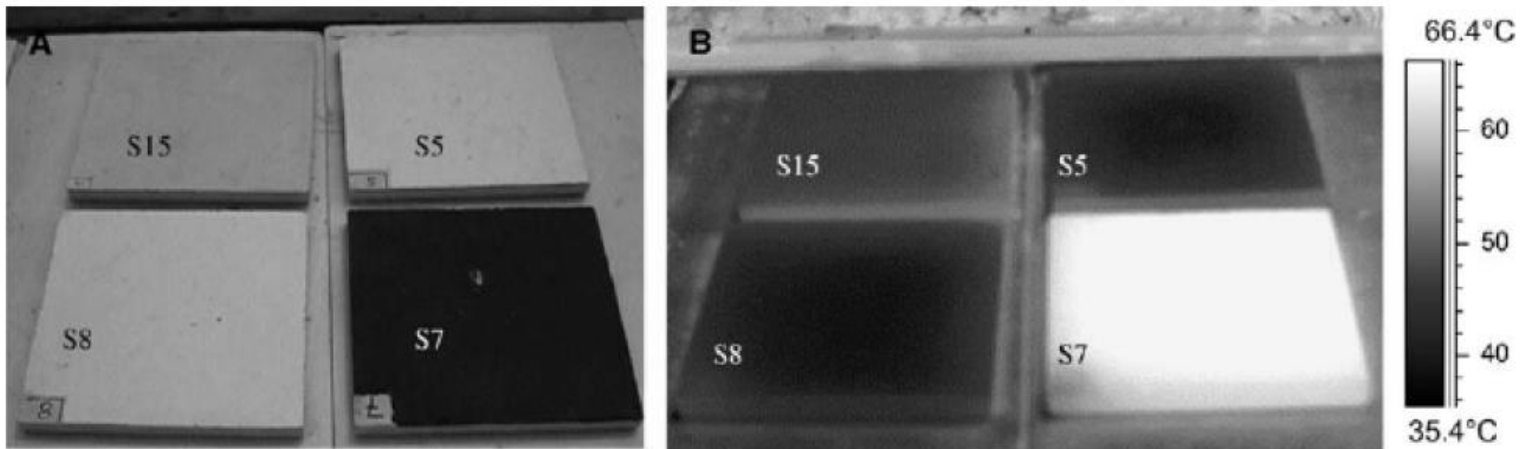
| Materiál | Teplota [°C] | Emisivita |
|--------------------|--------------|-----------|
| Zemina povrchová | 20 | 0,38 |
| Asfalt | 38 | 0,93 |
| Písek | 20 | 0,76 |
| Žula | 20 | 0,45 |
| Beton hnědý | 20 | 0,87 |
| Pískovec | 38 | 0,67 |
| Mramor hladký bílý | 38 | 0,56 |

| Materiál | Teplota [°C] | Emisivita |
|-------------------------------|--------------|-----------|
| Šedá cihla | 38 | 0,75 |
| Bílý nátěr na hliníkové fólii | 38 | 0,68 |
| Bílý nátěr | 38 | 0,95 |
| Bronzové nátěry | 38 | 0,61 |
| Hliníkové nátěry 26%Al | 38 | 0,3 |



Teplota povrchů

- Na emisivitě povrchu závisí jeho teplota
 - Dopadá krátkovlnné záření
 - Vyzařováno je dlouhovlnné záření

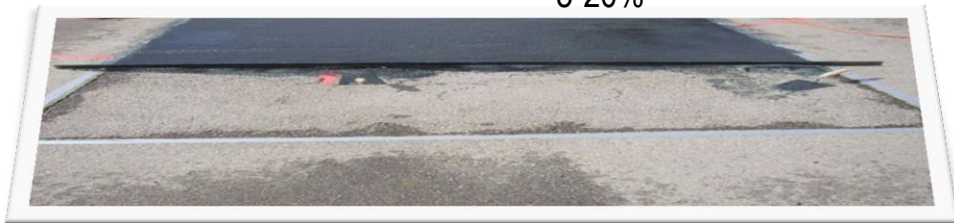
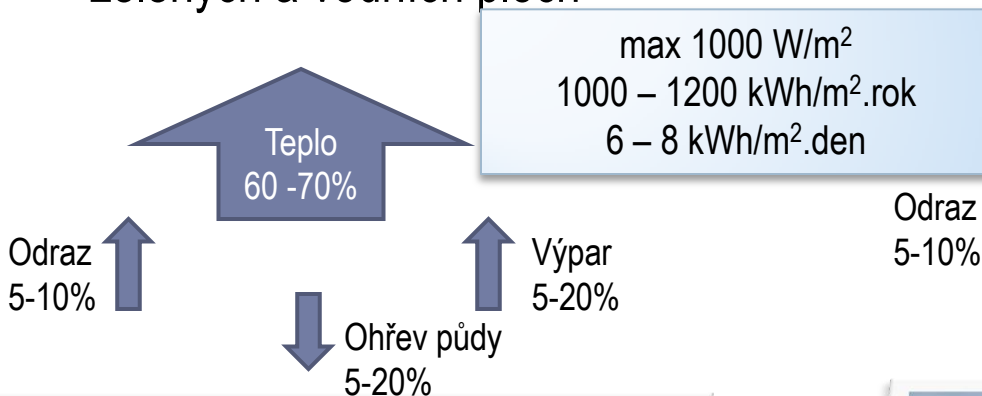




Krajina a vliv na tepelnou bilanci

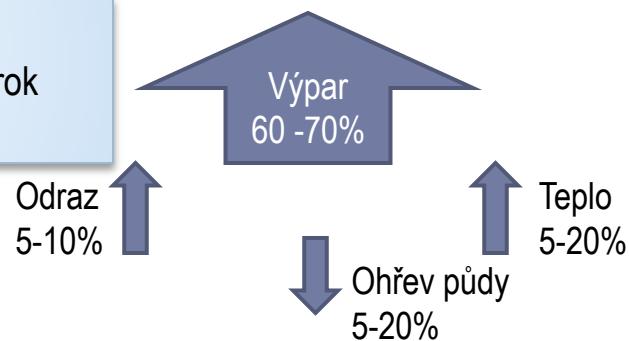
Odvodněná krajina - zástavba

Odvodněná krajina s minimem
zelených a vodních ploch



Rybník, louky, les – krajina s dostatkem vody

Kulturní krajina

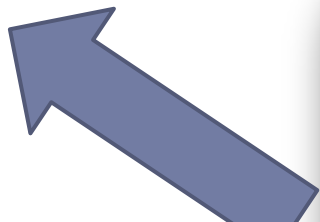


zdroj: doc. RNDr. Jan Pokorný CSc. - přednášky



Strom jako zdroj chladu

- Strom – chladící výkon 20-30 kW



Strom o průměru 10 m – výpar 400 l/den
tzn. cca 280 kWh latentního (výparného)
tepla



Na půdorys koruny stromu
cca 450 kWh/den



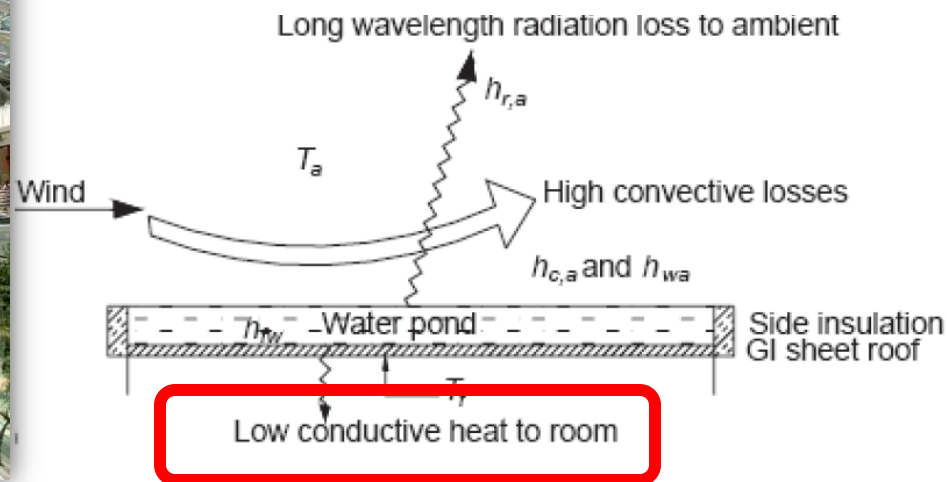
Teplo do půdy a odrazem
cca 160 kWh

zdroj: doc. RNDr. Jan Pokorný CSc. - přednášky



Zvlhčované střechy

- Odvedení dlouhovlnného záření konvekcí – prouděním vzduchu kolem zvlhčené plochy + odpar hladiny (vázané teplo ve vodních parách)
- Snížení vedení tepla do prostoru



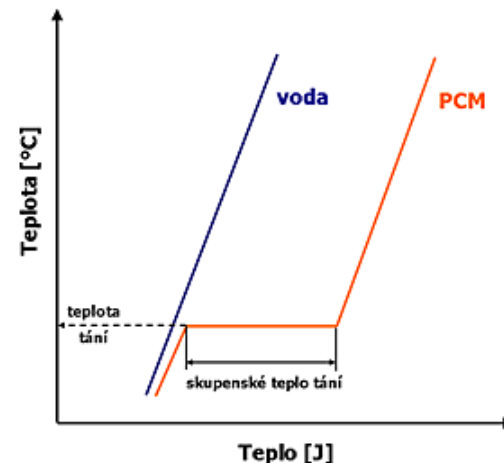
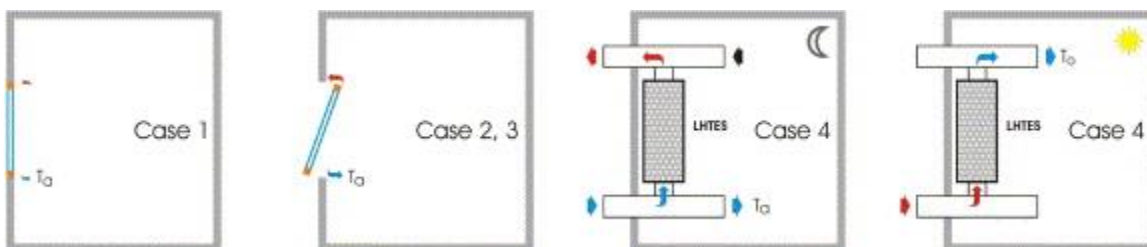


Alternativní chlazení využívající fyzikální principy

- Noční větrání (chlazení) - kolísání teplot vzduchu v kombinaci s akumulační hmotou budovy (noční větrání);
- Chladicí věže - využívání přeměny citelného tepla na latentní (adiabatické chlazení, přímé, nepřímé nebo s využitím sorpčních výměníků);
 - evaporative cooling system (PDEC)
- Zemní registry - využívání chladu ze zemského polomasivu (zemní výměníky, podzemní voda);
- **Alternativní způsoby chlazení budov využívají kolísání teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu, akumulace tepla do budovy nebo chladu ze zemského polomasívu.**

Akumulace chladu do PCM materiálů

- Problém akumulace chladu = hmota
- PCM (Phase Change Material) materiály využívají změnu skupenství při teplotě cca 25°C, akumulace skupenského tepla
 - Menší akumulární hmota
 - Noční chlazení cca 6kg/m²



| akumulátor | akumulovaná energie [kWh.m ⁻³] |
|--|--|
| voda | 34,5 |
| kamenivo | 23,0 |
| parafín | 62,4 |
| hexahdrát chloridu vápenatého ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) | 117,4 |
| dekahdrát síranu sodného ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) | 131,7 |



Zemní registr, chlazení přiváděného vzduchu

chlazení, resp. odvlhčování venkovního vzduchu před jeho přívodem do budovy v létě či jeho predehřátí v zimě

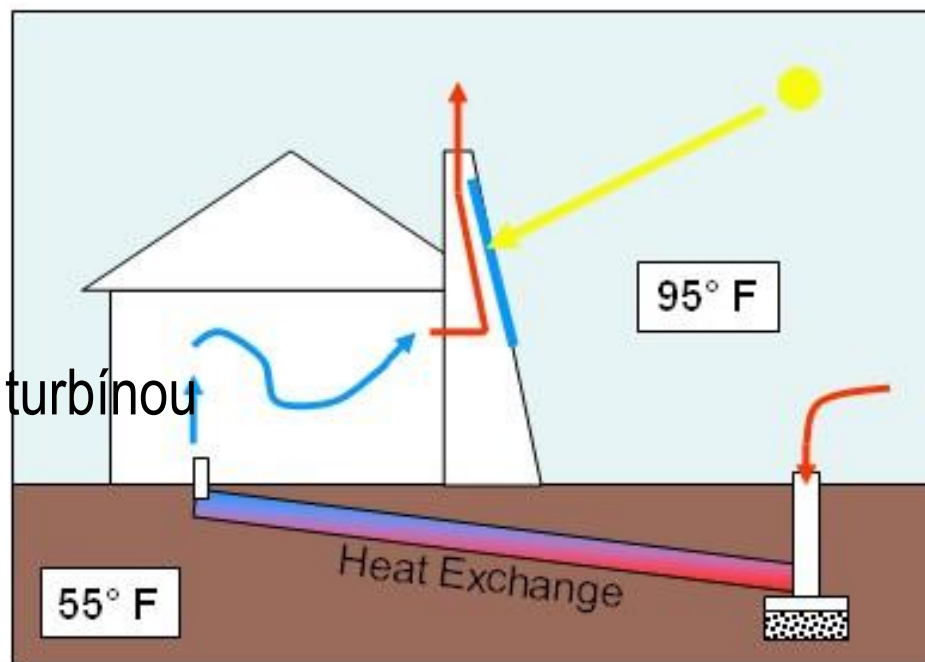
- **sání venkovního vzduchu** kanálem uloženým v zemní mase
- provedení kanálu (zděný, betonový), případně labyrintem uloženým pod budovou.
- Chlad. energie - cca **7 kWh/rok**, při **délce potrubí cca 40m**
- zemní kanál (chlazení přiváděného vzduchu pro klim. jednotky)
- zemní systém kanálů (chlazení přiváděného vzduchu pro klim. jednotky)





Solární komín a pasivní chladicí věže

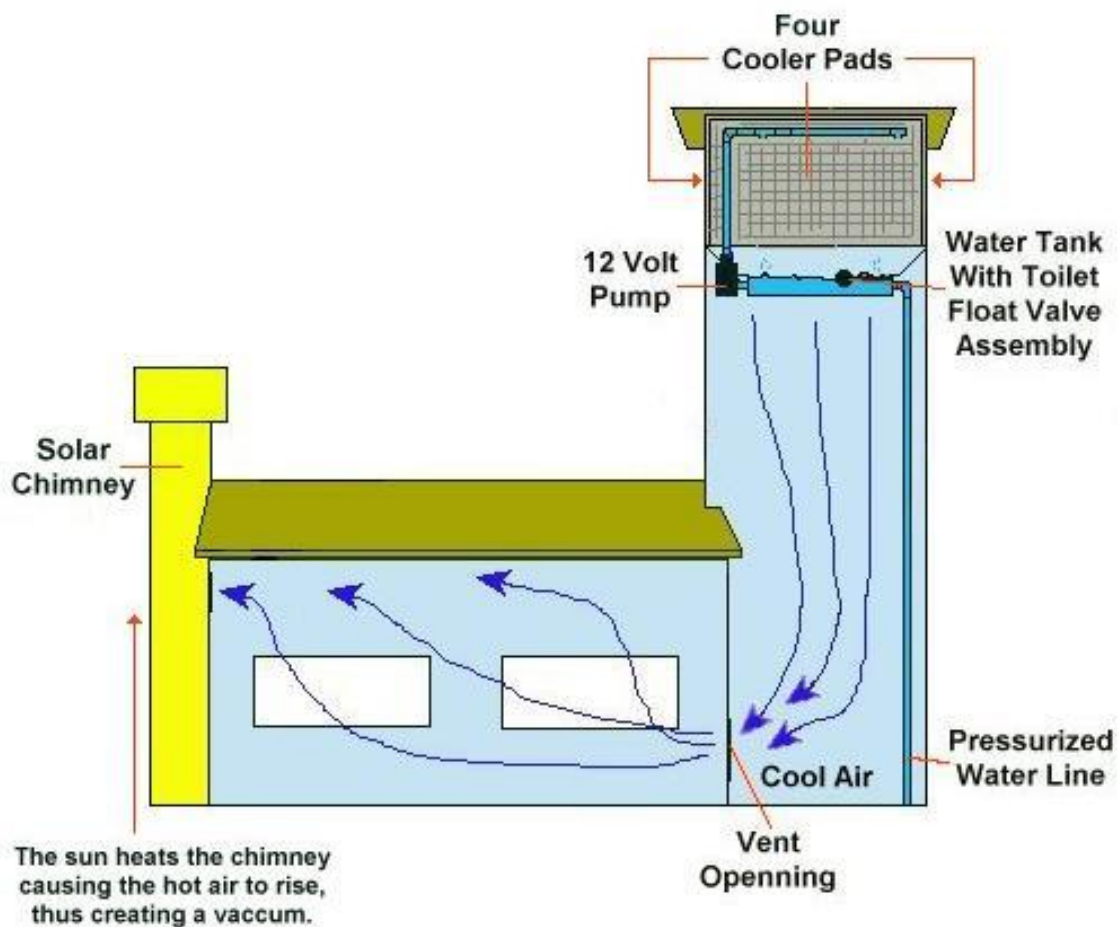
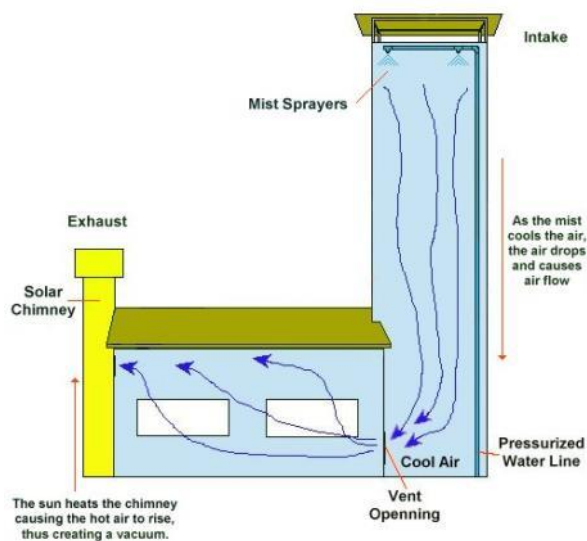
- Využití solárního komínu pro vytvoření přirozeného vztlaku pro přívod vzduchu do budovy, např. přes zemní registr
 - přirozený způsob
 - bez ventilátorů
 - ventilátor v sol. kom.
- Využití v systémech budovy
 - Předehřev pro přípravu TV
 - Výroba el. energie větrnou turbínou





Solární komín a pasivní chladicí věž

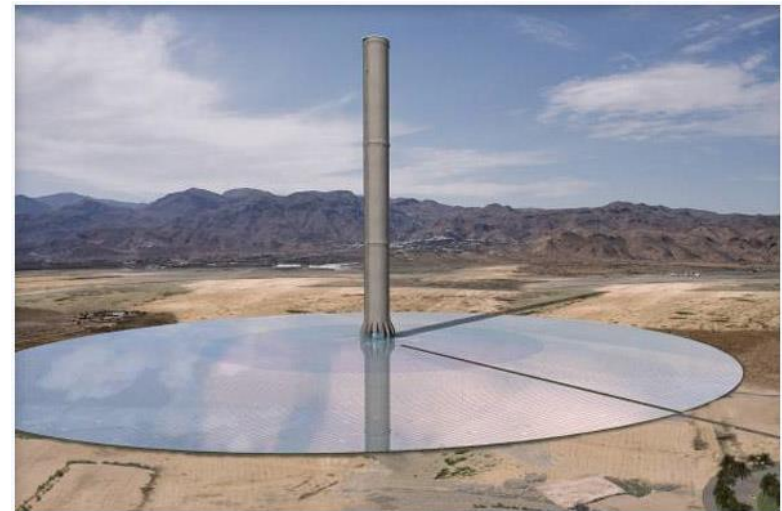
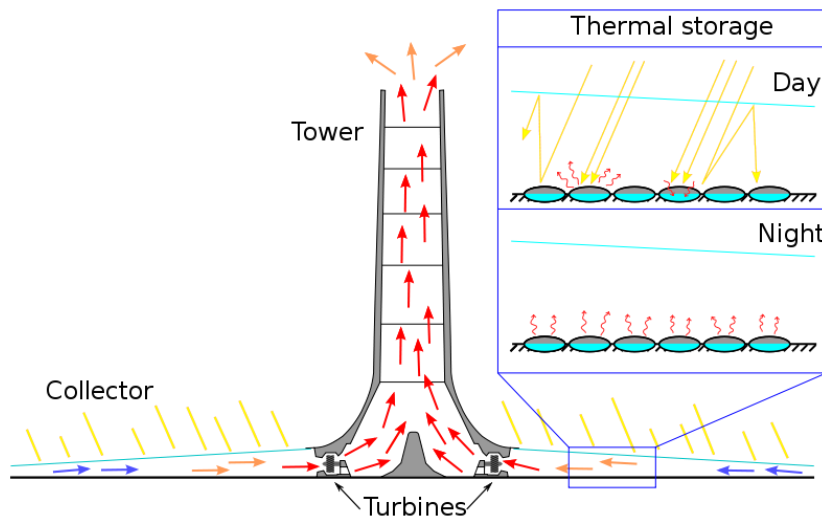
- Adiabatické vlhčení přiváděného vzduchu do budovy v solárním komínu
 - Solární komín
 - vztlak
 - Pasivní chladicí věž
 - přívod, akumulace





Solární komín

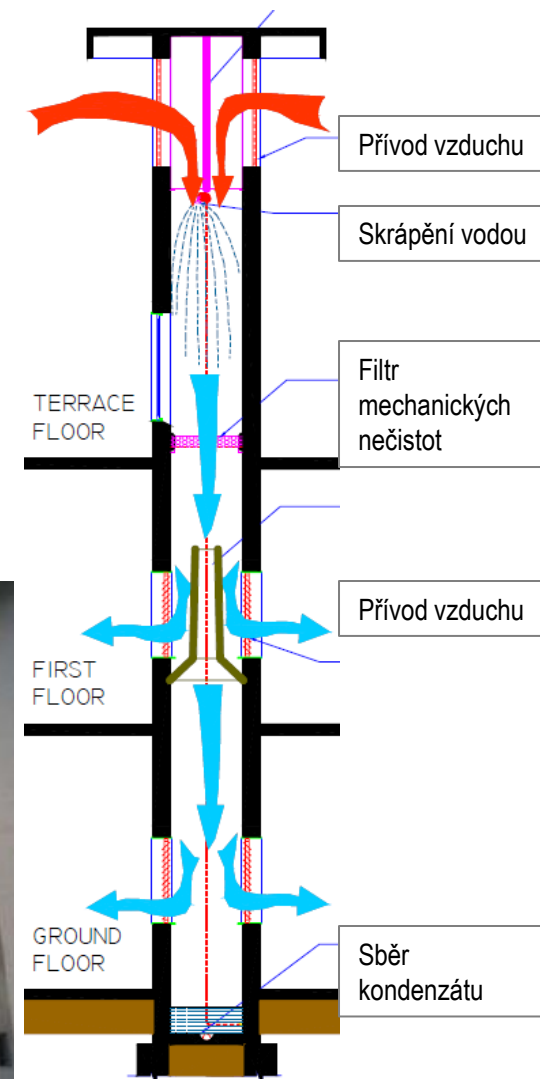
- Solární komín jako sluneční elektrárna
 - Realizace cca 50 kW - 200 MW el. výkonu
 - Rychlost proudění vzduchu 15 - 20 m/s
 - Integrace s urbanistickými celky pro budovy





Pasivní chladicí věže

- evaporative cooling system (PDEC)
 - Horké klimatické pásmo
 - Skrápění horkého přiváděného vzduchu vodou
 - změna teploty z 38 °C na 25 °C
 - Nutná výměna vzduchu 5 – 10 h⁻¹



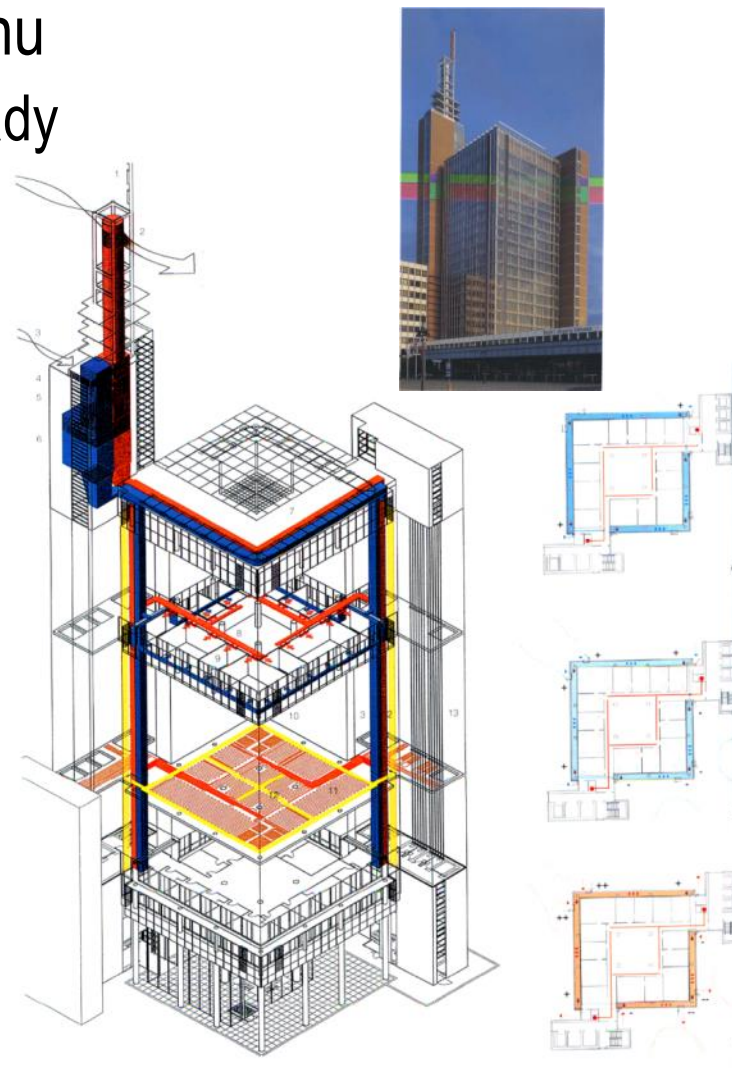


Dvojitá fasáda

- Využívá přirozeného proudění vzduchu
 - léto – proudění ochlazuje prostor fasády
 - vhodné – noční větrání
 - nevýrazný účinek

Messeturm (Hannover, Německo)

- koncept budovy podřízen vytápění a především chlazení budovy
- v letním období teplo odvedeno přímo z fasády, odpadní vzduch přirozeným vztlakem veden k odvětrávací šachtě, eliminovány náklady na provoz odvětrávacího zařízení
- věž, architektonický prvek plní účel tzv. „komína“
- zajištěno individuální větrání každé kanceláře





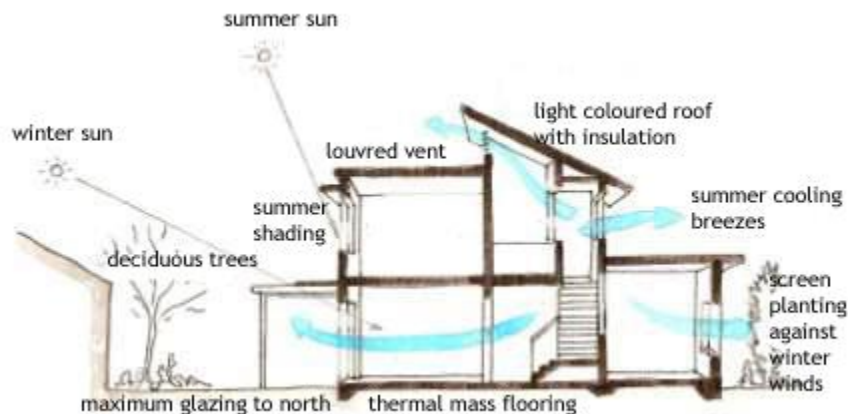
Závěr

- Pasivní chlazení eliminuje tepelné zisky
- Eliminace tepelných zisků – stavebně architektonické řešení
 - Tvar budovy, orientace budovy
 - Velikost a výška oken, stínění oken
 - Barva obálky budovy, materiálové řešení obálky a konstrukcí budovy
 - Řešení parteru – vodní plochy, zeleň
- Eliminace tepelných zisků – technické řešení
 - Větrání budovy, využití odparu vody (odebrání výparného tepla vzduchu), větrací komíny
 - využití architektury ve spolupráci s technickými systémy



Závěr

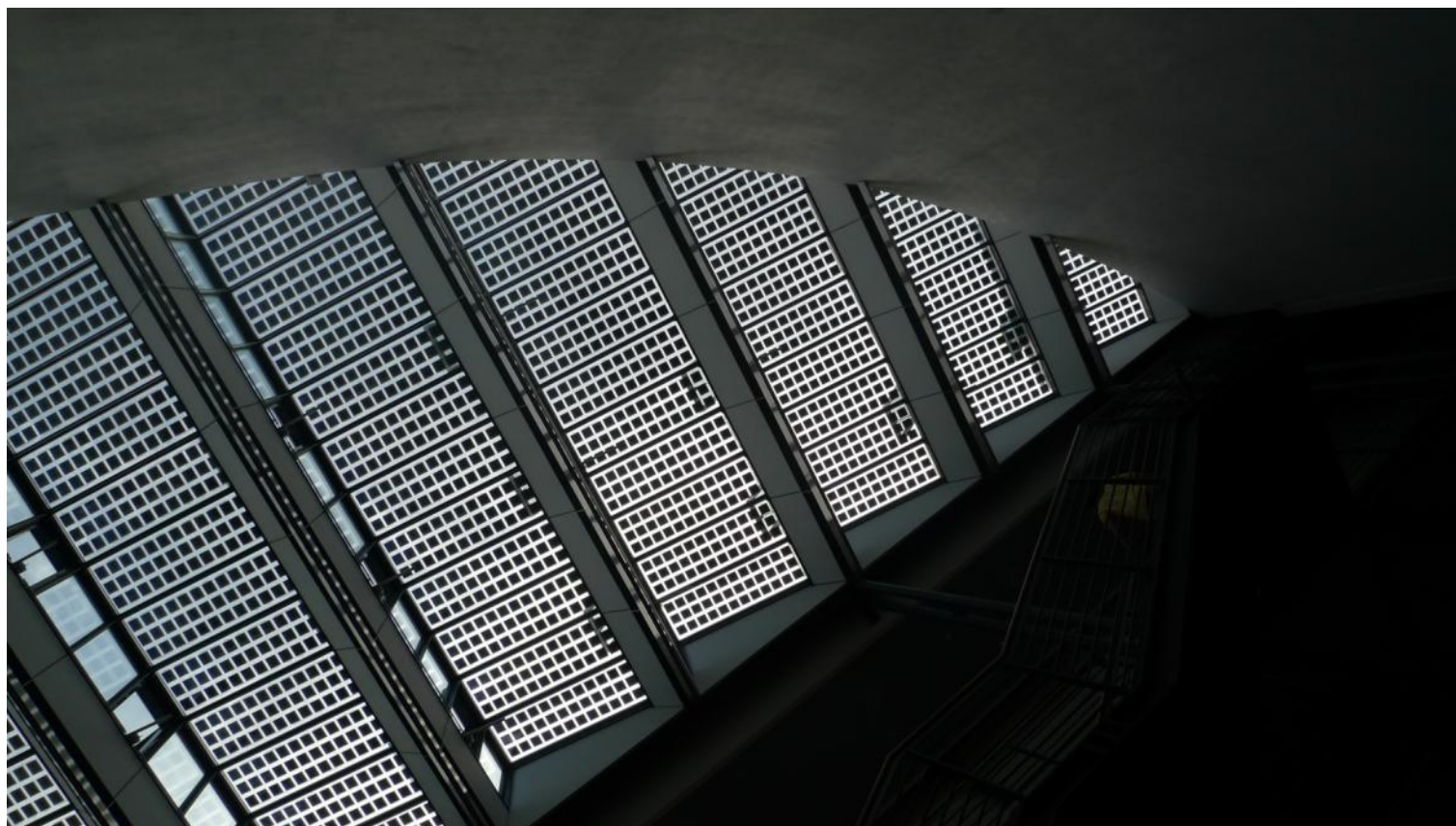
- Pasivní chlazení (ochlazování budov)
 - využívá fyzikálních principů
 - proudění vzduchu
 - snížení intenzity solární radiace
 - využití výparného tepla vody
 - redukuje tepelnou tepelnou zátěž pomocí dispozičního konceptu budovy
 - může být funkčním doplňkem strojního chlazení budovy





Příklady

- Zastřešení atria – stínění integrovanými PV panely – využití nočního sálání





Příklady

- Ochlazování střechy vodní hladinou (Lisabon)





Příklady

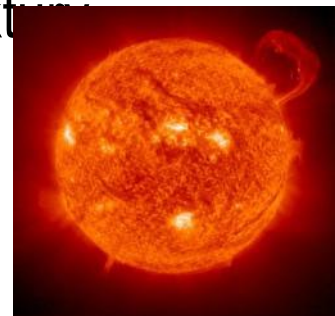
- Využití parteru, stínící prvky (Freiburg)





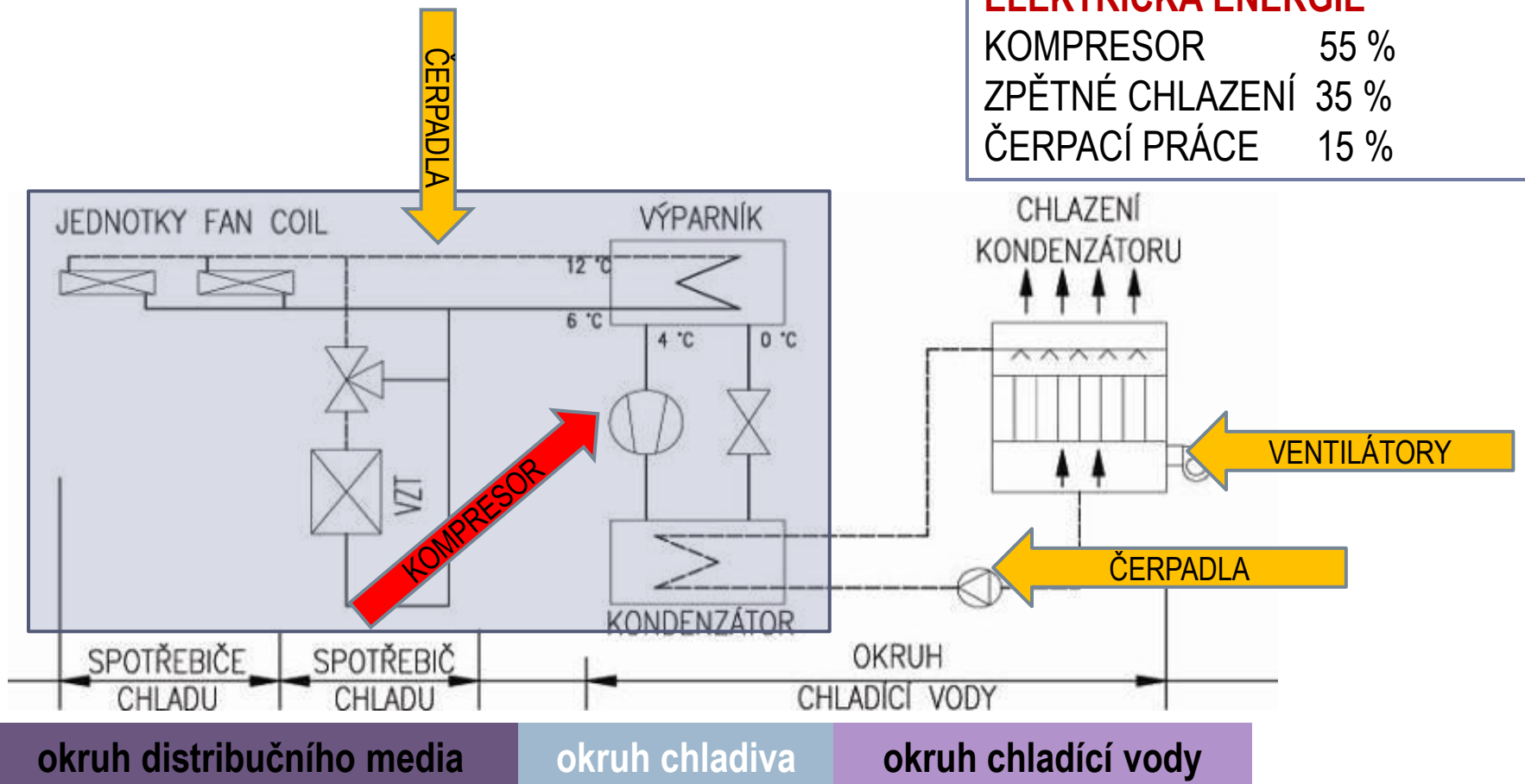
Alternativní chlazení - rozdělení

- **Strojní chlazení**
 - konvenční metody strojního chlazení budov pomocí kompresorového cyklu
- **Alternativní (pasivní)**
- využívá řešení objektu, fyzikální principy a kombinuje technologie
 - **Solární pasivní chlazení (ochlazování budov)**
 - optimalizuje stavební řešení objektu, využívá architekturu objektu
 - „Strojní“ alternativní chlazení
 - využívá technologie a jejich kombinace pro chlazení



Spotřeba energie kompresorového chlazení

- Primární energie - elektřina





Vyjádření efektivity chladicího cyklu

- **COP (Coefficient of performance)** (W/W) pro kompresorový cyklus v režimu vytápění (tepelná čerpadlo, klimatizační jednotka v zimním režimu kdy ohřívá větrací vzduch)
- **SCOP (Seasonal coefficient of performance)**
 - Sezónní topný faktor
- **EER (Energy Efficiency Rating)** (Btu/W)
 - V USA EER v Btu/W, kdy převodní vztah pro COP v režimu chlazení se stanoví jako $COP = EER \text{ (Btu/W)} / 3.41$
 - V Evropě - efektivita zařízení v ustáleném stavu pro režim chlazení
- **SEER (Seasonal energy efficiency ratio)**
 - $ESEER = (EER@100\% \text{ load} \times 0.03) + (EER@75\% \text{ load} \times 0.33) + (EER@50\% \text{ load} \times 0.41) + (EER@25\% \text{ load} \times 0.23)$



Energetický štítek

- Každá klimatizační jednotka – hodnocení efektivity cyklu v režimu chlazení a vytápění

starý přístup

| | | |
|--|--|-----------------------|
| Energie | | Klimatizační jednotka |
| Výrobce Venkovní jednotka Vnitřní jednotka | | |
| Úsporné | | |
| | | |
| Méně úsporné | | |
| Roční spotřeba energie, kWh v režimu chlazení <small>(Skutečná spotřeba závisí na způsobu využívání jednotky a klimatu)</small> | | |
| Chladicí výkon | kW | |
| Energetická účinnost <small>Při plném zatížení (sím vyšší tím lepší)</small> | | |
| Typ | Jen chlazení — Chlazení+topení — Vzduchem chlazená — Vodou chlazená — | |
| Teplý výkon | kW | |
| Topný výkon A: vyšší G: nižší | | |
| | | |
| Energetický štítek dle Směrnice 2002/31/ES | | |

Třída energetické účinnosti v režimu chlazení

| | |
|----------|------------------------|
| A | $EER > 3.20$ |
| B | $3.20 \geq EER > 3.00$ |
| C | $3.00 \geq EER > 2.80$ |
| D | $2.80 \geq EER > 2.60$ |
| E | $2.60 \geq EER > 2.40$ |
| F | $2.40 \geq EER > 2.20$ |
| G | $2.20 \geq EER$ |

Třída energetické účinnosti v režimu topení

| | |
|----------|------------------------|
| A | $COP > 3.60$ |
| B | $3.60 \geq COP > 3.40$ |
| C | $3.40 \geq COP > 3.20$ |
| D | $3.20 \geq COP > 2.80$ |
| E | $2.80 \geq COP > 2.60$ |
| F | $2.60 \geq COP > 2.40$ |
| G | $2.40 \geq COP$ |

nový přístup (od 2013)

| | SEER | SCOP |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| A+++ | $SEER \geq 8.5$ | $SCOP \geq 5.1$ |
| A++ | $6.1 \leq SEER < 8.5$ | $4.6 \leq SCOP < 5.1$ |
| A+ | $5.6 \leq SEER < 6.1$ | $4.0 \leq SCOP < 4.6$ |
| A | $5.1 \leq SEER < 5.6$ | $3.4 \leq SCOP < 4.0$ |
| B | $4.6 \leq SEER < 5.1$ | $3.4 \leq SCOP < 4.0$ |
| C | $4.1 \leq SEER < 4.6$ | $2.8 \leq SCOP < 3.1$ |
| D | $3.6 \leq SEER < 4.1$ | $2.5 \leq SCOP < 2.8$ |
| E | $3.1 \leq SEER < 3.6$ | $2.2 \leq SCOP < 2.5$ |
| F | $2.6 \leq SEER < 3.1$ | $2.2 \leq SCOP < 2.5$ |
| G | $SEER < 2.6$ | $SCOP < 1.9$ |

* SEER: koeficient roční energetické účinnosti (chlazení)
* SCOP: koeficient roční energetické účinnosti (topení)



Zpětné chlazení kondenzátoru

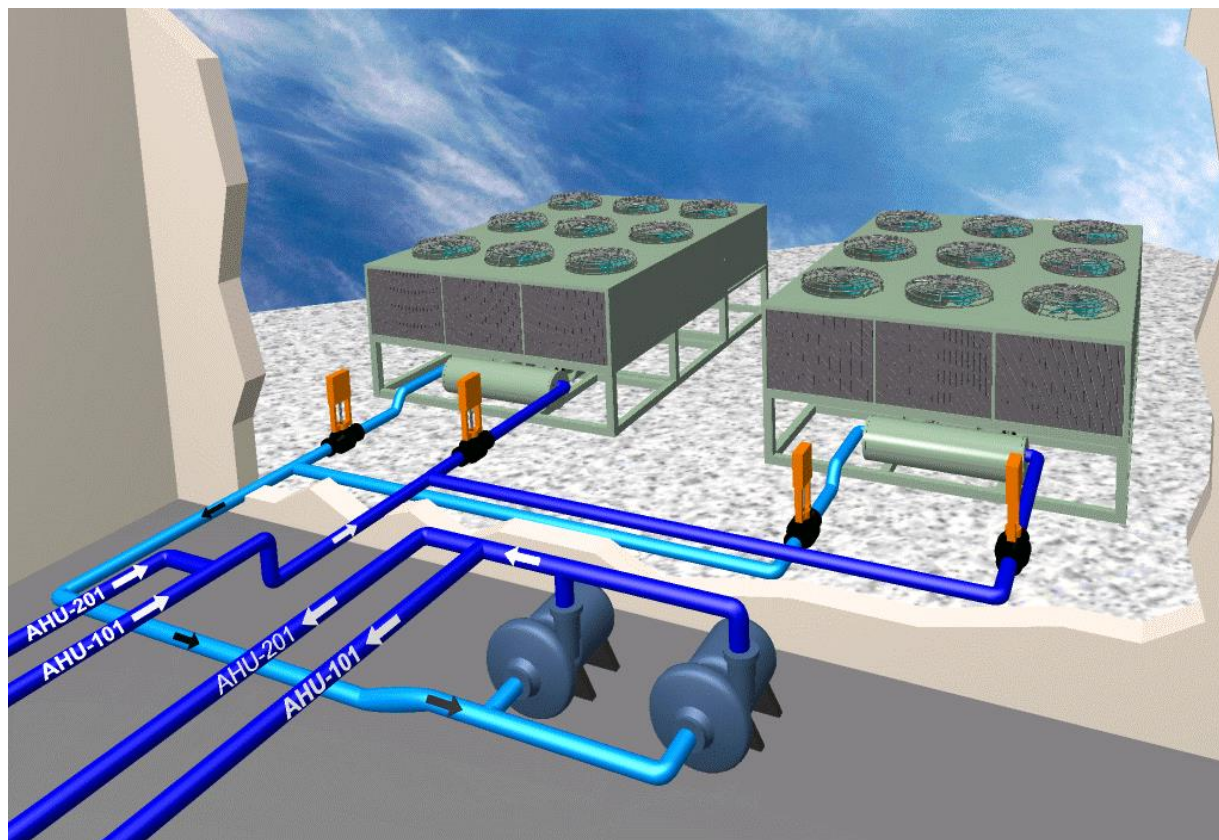
■ Suché chladiče

Klady:

- kompaktní systémové řešení
- prostorová nenáročnost
- jednoduchá údržba
- široká variabilita

Zápory:

- hlučnost
- nutnost venkovní část opatřit protimrazovou ochranou
- zajistit odtok kondenzátu





Vyjádření efektivity chladicího cyklu

■ Vodou chlazený kondenzátor

| Chladivo | Voda zpětného chlazení [°C] | Chlazená voda (výstup) [°C] | Parametr EER _{C,sys} | | |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|---|--|------------------------------------|
| | | | Pístový a scroll kompresor 10 kW – 1500 kW | Šroubový kompresor 200 kW – 2000 kW | Turbokompresor 500 kW – 8000 kW |
| R134a | 27/33 | 6 | 4,0 | 4,5 | 5,2 |
| | | 14 | 4,3 | 5,3 | 5,9 |
| | 40/45 | 6 | 3,1 | 2,9 | 4,1 |
| | | 14 | 3,7 | 3,7 | 4,8 |
| R407C | 27/33 | 6 | 3,8 | 4,2 | - |
| | | 14 | 4,4 | 4,9 | - |
| | 40/45 | 6 | 3,0 | 2,7 | - |
| | | 14 | 3,6 | 3,3 | - |
| R410A | 27/33 | 6 | 3,6 | - | - |
| | | 14 | 4,2 | - | - |
| | 40/45 | 6 | 2,8 | - | - |
| | | 14 | 3,3 | - | - |
| R717 | 27/33 | 6 | - | 4,6 | - |
| | | 14 | - | 5,4 | - |
| | 40/45 | 6 | - | 3,1 | - |
| | | 14 | - | 3,7 | - |
| R22 | 27/33 | 6 | 4,1 | 4,6 | 5,1 |
| | | 14 | 4,8 | 5,4 | 5,7 |
| | 40/45 | 6 | 3,2 | 3,0 | 4,1 |
| | | 14 | 3,8 | 3,6 | 4,7 |



Vyjádření efektivity chladicího cyklu

- Vzduchem chlazený kondenzátor

| Chladivo | Chladicí voda (výstup) [°C] | Parametr $EER_{C,sys}$ | |
|----------|--------------------------------|---|--|
| | | Pístový a scroll kompresor 10kW – 1500 kW | Šroubový kompresor 200 kW – 2000 kW |
| R134a | 6 | 2,8 | 3,0 |
| | 14 | 3,5 | 3,7 |
| R407C | 6 | 2,5 | 2,7 |
| | 14 | 3,2 | 3,4 |
| R410A | 6 | 2,4 | - |
| | 14 | 3,1 | - |
| R717 | 6 | - | 3,2 |
| | 14 | - | 3,9 |
| R22 | 6 | 2,9 | 3,1 |
| | 14 | 3,6 | 3,8 |



Alternativní chlazení - rozdělení

- Chlazení přiváděného vzduchu do budovy (klimatizace)
- Alternativní strojní metody chlazení vzduchu / výroby chlazené vody
 - noční chlazení (větrání)
 - nepřímé ZZT/UT-CHL pomocí tepelného čerpadla
 - nepřímé ZZT/UT-CHL pomocí hydrocoilového okruhu
 - adiabatické chlazení
 - volné chlazení
 - chlazení říční vodou
 - solární chlazení



Noční chlazení

- Akumulace chladu do budovy
 - Hmotnost konstrukce, měrná tepelná kapacita
 - Objemový průtok vzduchu, měrná tepelná kapacita media

- Noční chlazení pomocí větrání
 - ochlazování konstrukcí vzduchem
 - Přirozené proudění
 - Nucené větrání

- Noční chlazení pomocí integrovaných chladících systémů
 - Chlazení distribučního media vzduchem, chlad rozváděn do integrovaných prvků v konstrukci budovy



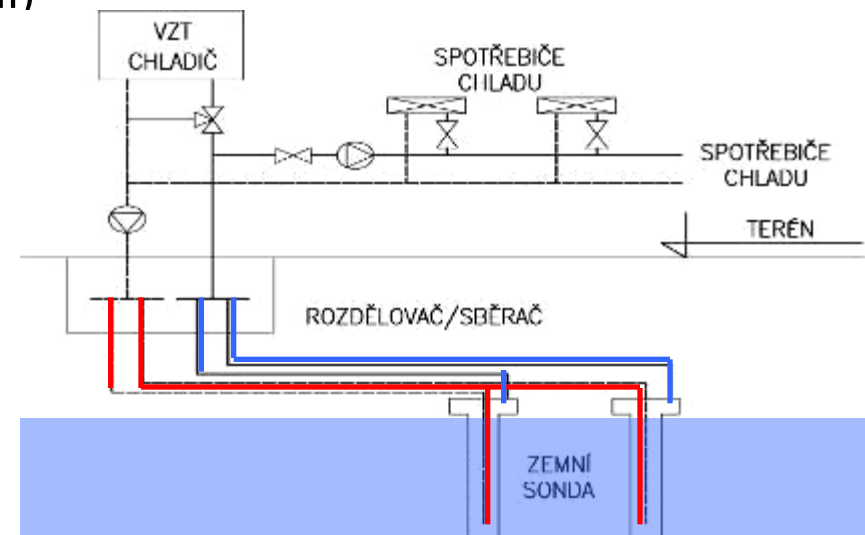
Noční chlazení - příklad

- Příklad nočního chlazení VZT systémem
 - 20 000 m³/h, 4K, noc – 175 kWh
 - Příkon ventilátorů - přívod, odvod 16 + 16 kW cca
 - Energie ventilátorů/den(noc) – 112 kWh
 - Potřebná akumulární hmota (beton):
 - cca 26 000 kg betonu = 11 m³
- Efektivita 175 kWh (akumulovaná energie chlazení) x 112 kWh (energie pro ventilace)
- Nepokryje špičkové denní výkony
- Nutný zdroj chladu, který je doplněn akumulací chladu



Chlazení říční vodou

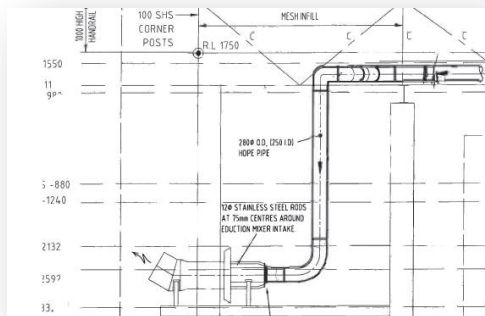
- **chladicí zařízení s vodním chladicím oběhem** - využití vody jako chladiva
 - neekologičtější a nejpřirozenější chladivo (označení R 718)
 - větší chladicí výkony cca 500 kW a výše.
 - není příliš rozšířeno - vysoké a pořizovací náklady
- **chlazení vodou ze studní**
 - čerpání vody (přímé, nepřímé chlazení)
- **zemní sondy** - využití zemního chladu
 - umístění zemních sond podmíněno dostatečnou vzdáleností
 - technologicky náročné řešení
 - závisí na místních geologických podmínkách
 - VŽDY nutné schválení orgánem spravujícím vodní zdroje v lokalitě





Chlazení říční vodou

- nasávání říční vody
 - filtrace říční vody
 - výměník
 - okruh chlazené vody
-
- velký průtok říční vody
 - ΔT max 2-4°C
 - Využití: chlazení elektráren

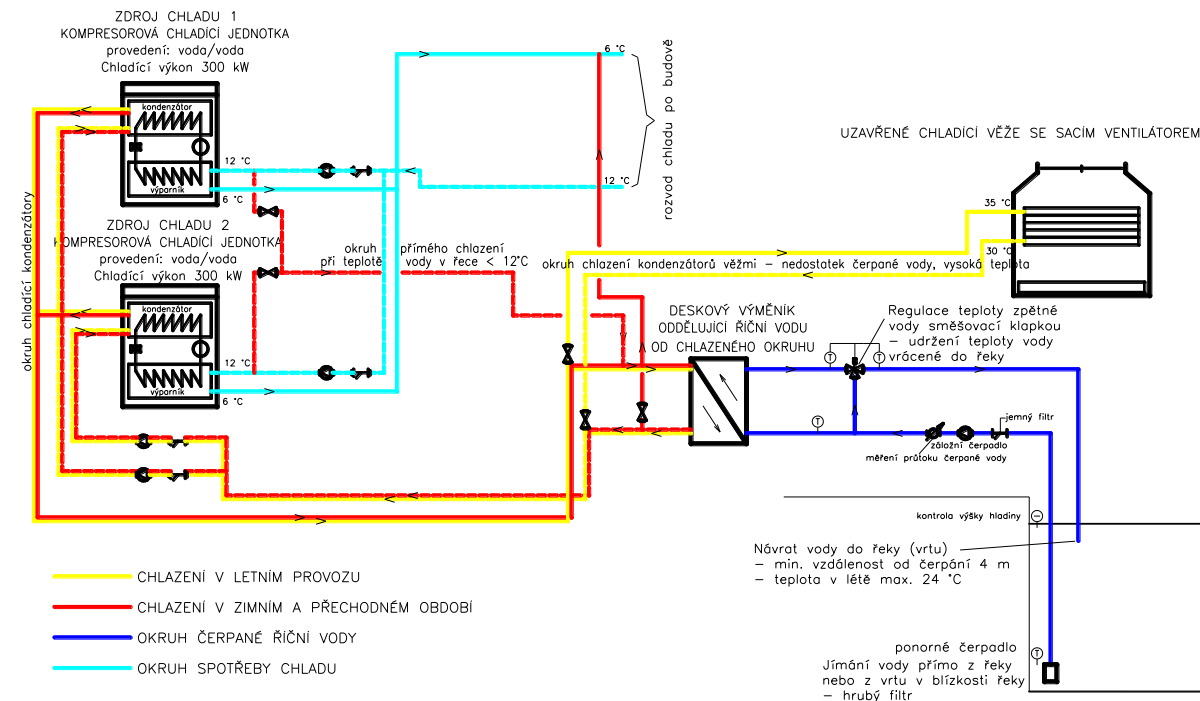


Chlazení říční vodou

využití kombinace strojního chlazení a vodoteče

- čerpání vody z řeky pro chlazení kondenzátoru tepelného čerpadla
- využití i pro přímé chlazení

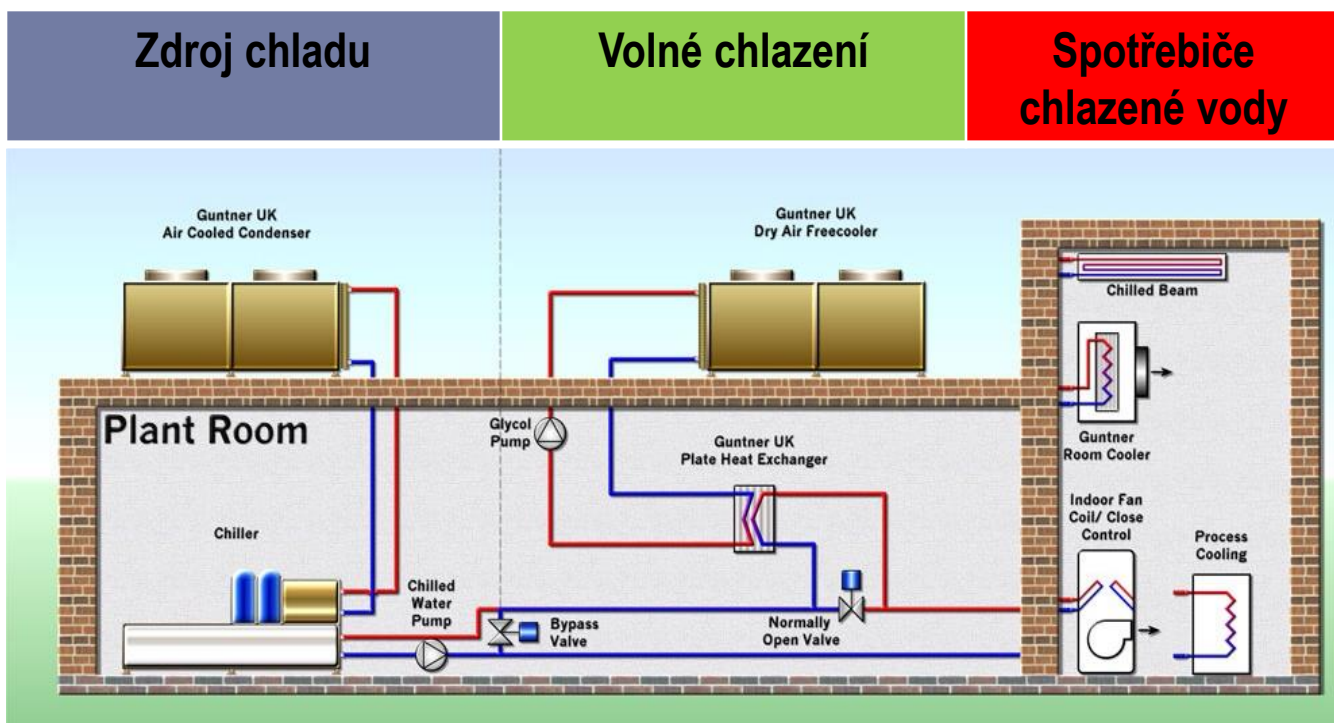
- možné pouze v případě povolení správcem vodoteče
- sdílení chladu s okruhem v objektu výhradně přes vložený výměník
- pro přímé chlazení chladicího okruhu budovy v přechodném období v době nižší potřeby chladu
- v případě vysoké potřeby chladu v létě chladí okruh chlazení kondenzátorů chladících jednotek
- nutné mít k dispozici chladicí věže paralelně se sestavou řekou chlazeného výměníku
- omezení čerpání vody podle stavu ve vodoteči, nutné pravidelné čištění výměníku, provozovatel musí zaručit nedotčení kvality říční vody





Volné chlazení (freecooling)

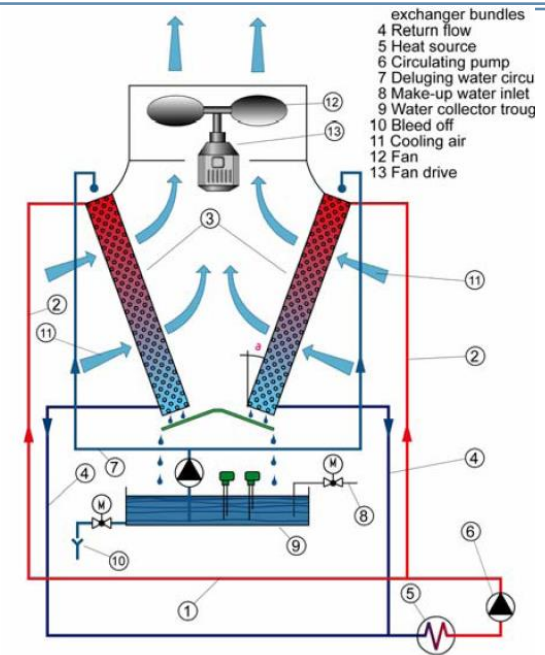
- Využití za předpokladu kdy $t_i > t_e$
 - zpravidla doplnění kompresorového cyklu
 - vzduchem chlazené suché chladiče





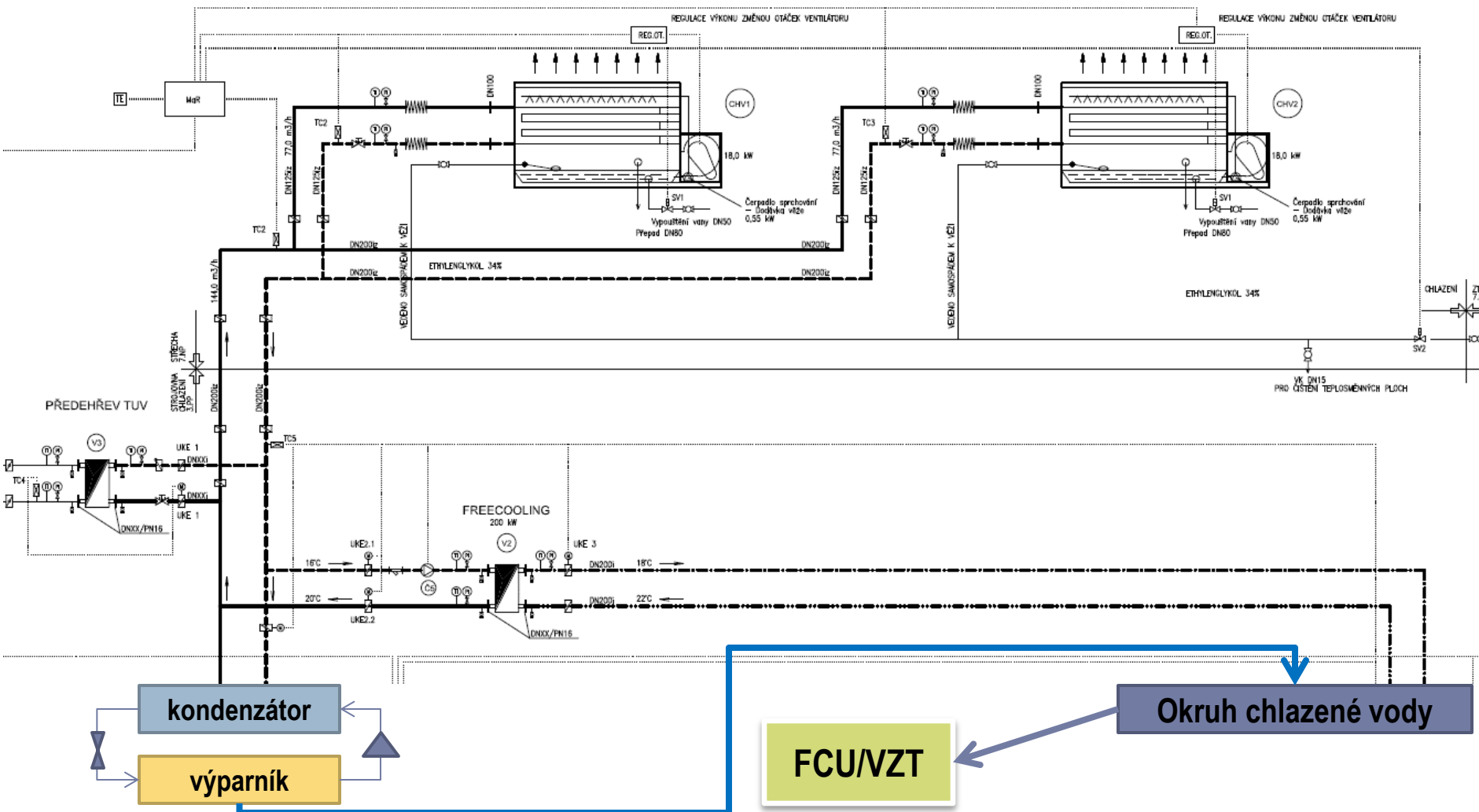
Volné chlazení (freecooling)

- Volné chlazení (free cooling)
 - Glykolové volné chlazení (samostatný okruh – nejčastější, viz schema)
 - Centrální zdroj s glykolovým volným chlazením
 - Přímé volné chlazení vzduchem – kondenzátor je zároveň suchým chladičem
- Chladiče
 - Suché
 - Mokrý (chlazení odparem)



Volné chlazení (freecooling)

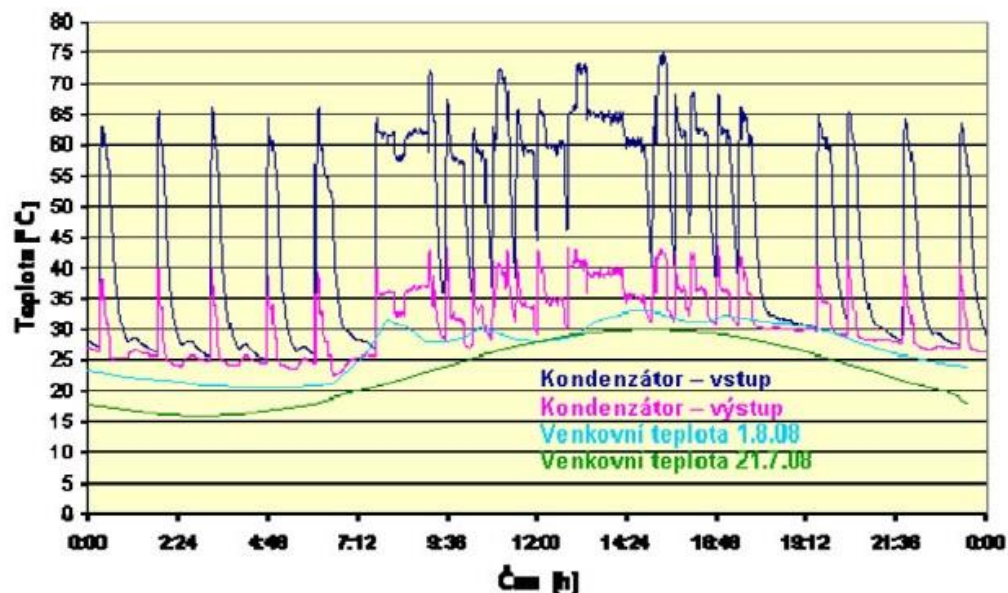
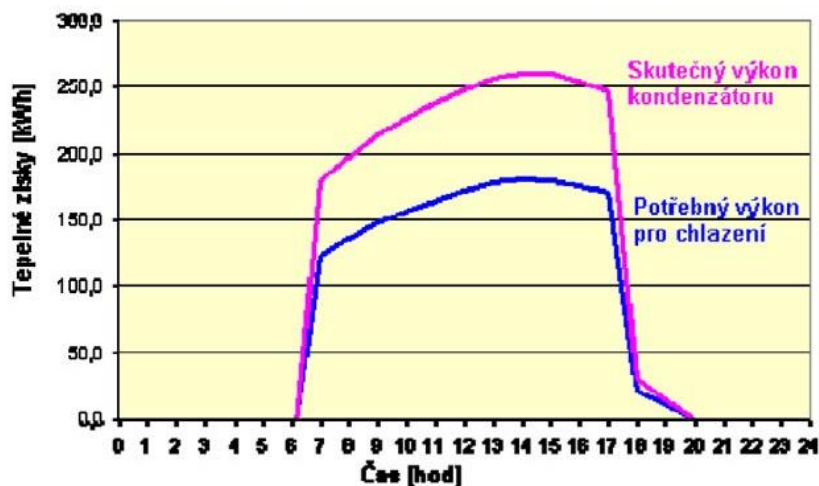
■ Mokrý chladiče





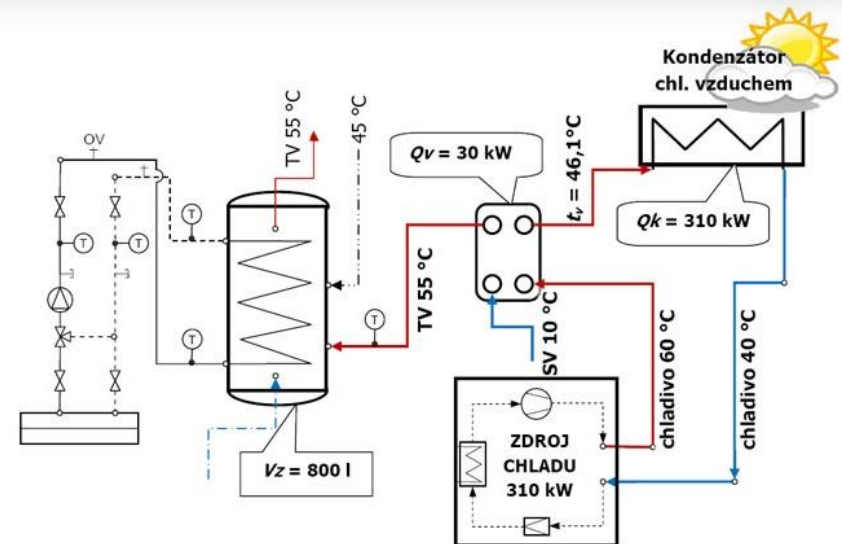
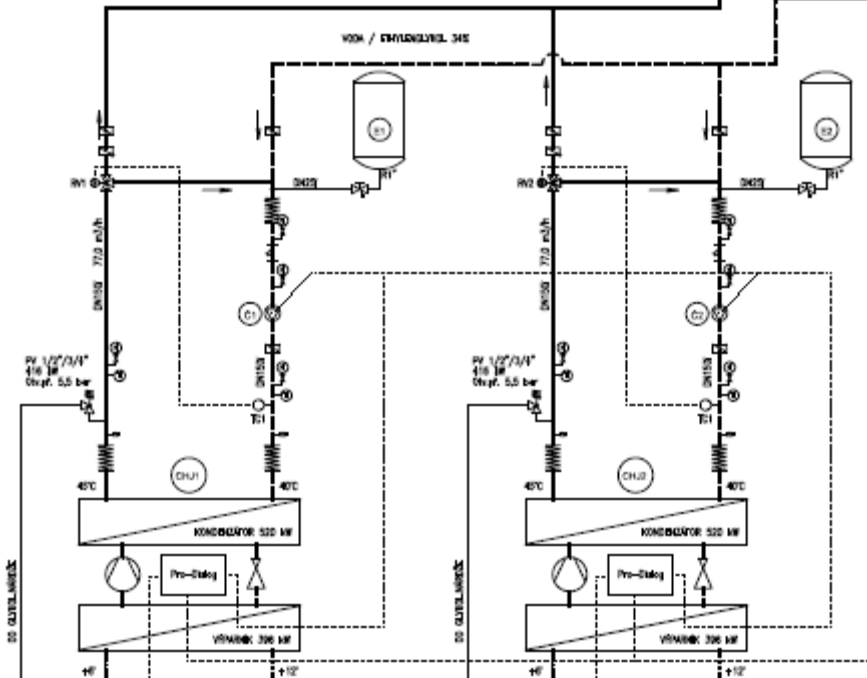
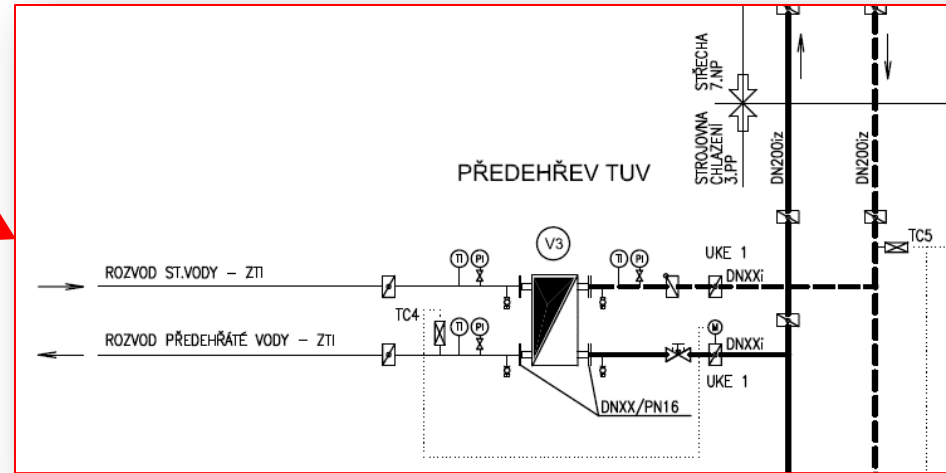
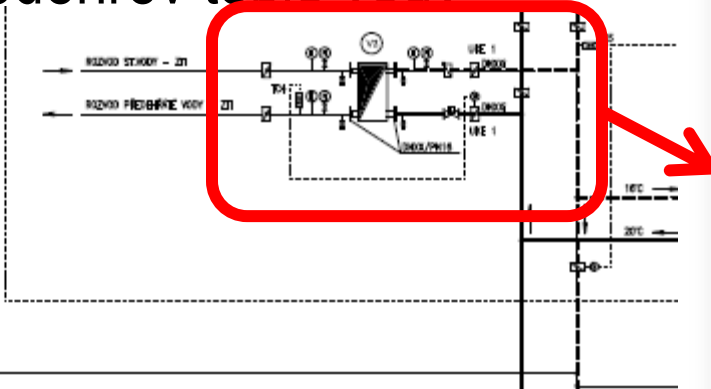
Využití kondenzačního tepla

- Využití odpadního tepla z kondenzátoru
 - Teplota na vstupu do kondenzátoru cca 65 – 70°C
 - Teplota na výstupu z kondenzátoru 34 – 45°C
 - Využití kondenzačního tepla
 - přehřev TV
 - technologie



Využití kondenzačního tepla

■ Přeheřev teplé vody





Solární chlazení

- elektricky poháněné konveční systém (kompresorové chlazení + PV články) - nízká účinnost využití energie
 - Kompresorové chlazení, odpařovací chlazení, peltierovy články

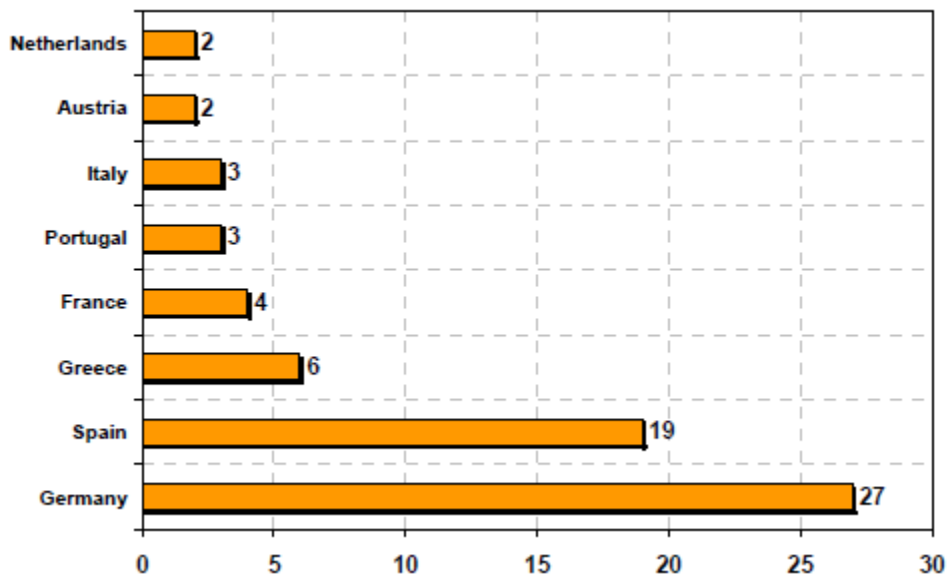
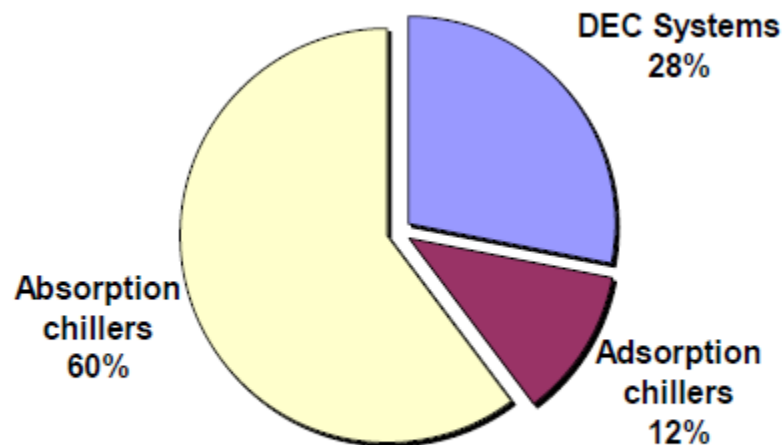
- teplem poháněné – využití termických systémů
 - Přeměna tepla
 - Otevřené cykly (kapalný, tuhý sorbent)
 - Uzavřené cykly (kapalný, tuhý sorbent)
 - Termomechanická přeměna
 - Stirlingův motor, apod.



Solární chlazení

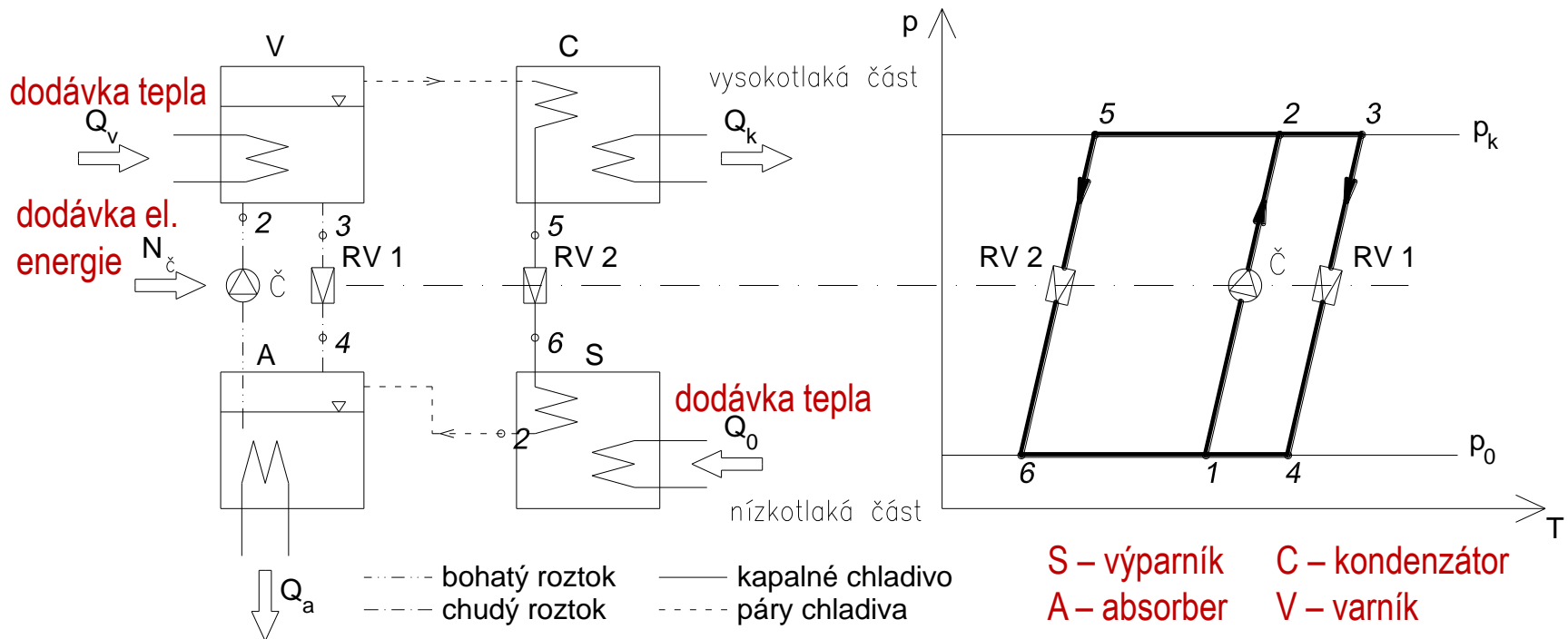
- Absorpční chlazení
- Adsorpční cyklus
- Desikační chlazení

- Cca počet instalací:



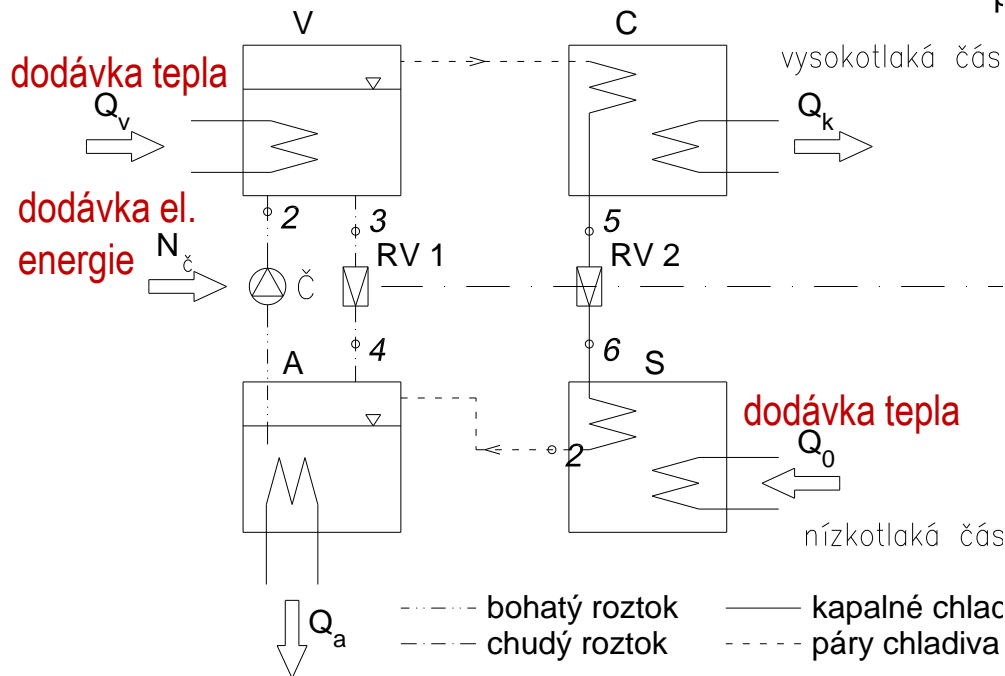
Absorpční chladicí cyklus

- Principem je pohlcování par chladiva jinou látkou tzv. absorbentem, ze kterého za vyššího tlaku přiváděním tepla se chladivo opět vypuzuje.



Absorpční chladicí cyklus

- Principem je pohlcování par chladiva jinou látkou tzv. absorbentem, ze kterého za vyššího tlaku přiváděním tepla se chladivo opět vypuzuje.

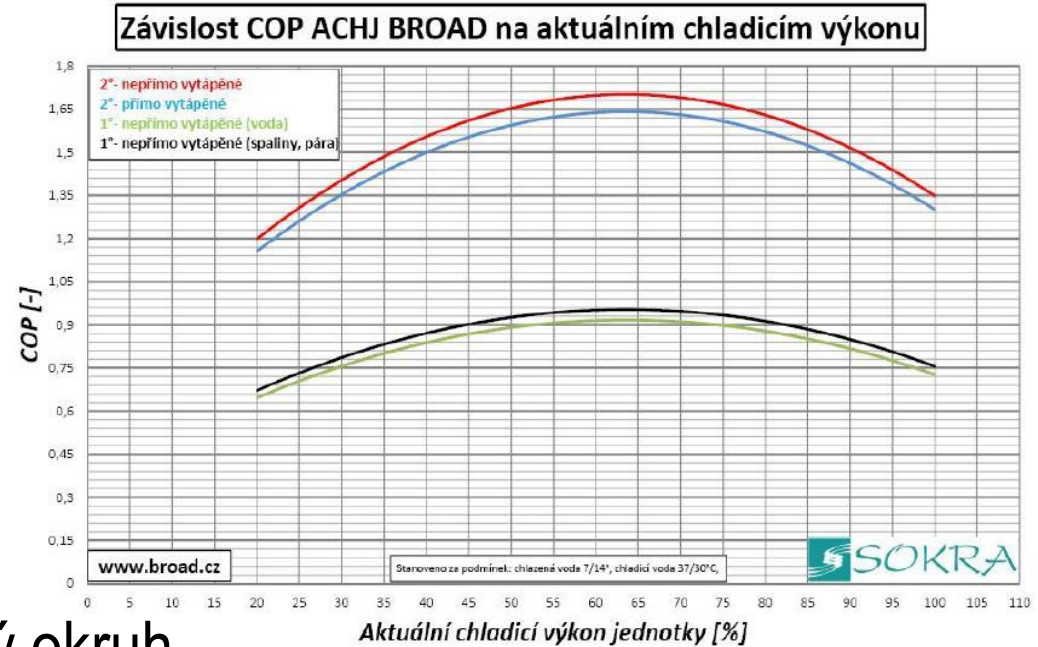


- odpařené chladivo o počátečním tlaku p_0 přechází do absorberu A
- je absorbováno absorbentem (voda, LiBr apod.)
- teplota těsně pod mezí sytosti (pod bodem varu), proto se z absorberu A odvádí teplo Q_a .
- důsledkem absorpce je tzv. bohatý roztok,
- čerpadlo Č o příkonu $N_{\check{c}}$ jej dopravuje do varníku V za současného zvýšení tlaku na p_k .
- do varníku V přivedeme tepelný tok Q_v , kterým je bohatý roztok uveden do varu.
- chladivo se z roztoku vyloučí a chudý roztok se vrací přes redukční ventil RV 1 zpět do absorberu A.
- vyloučené páry chladiva se odvádí do kondenzátoru C, kde odvedením tepla Q_k zkapalní a přes škrťací ventil RV 2 odvede zpět do výparníku S.



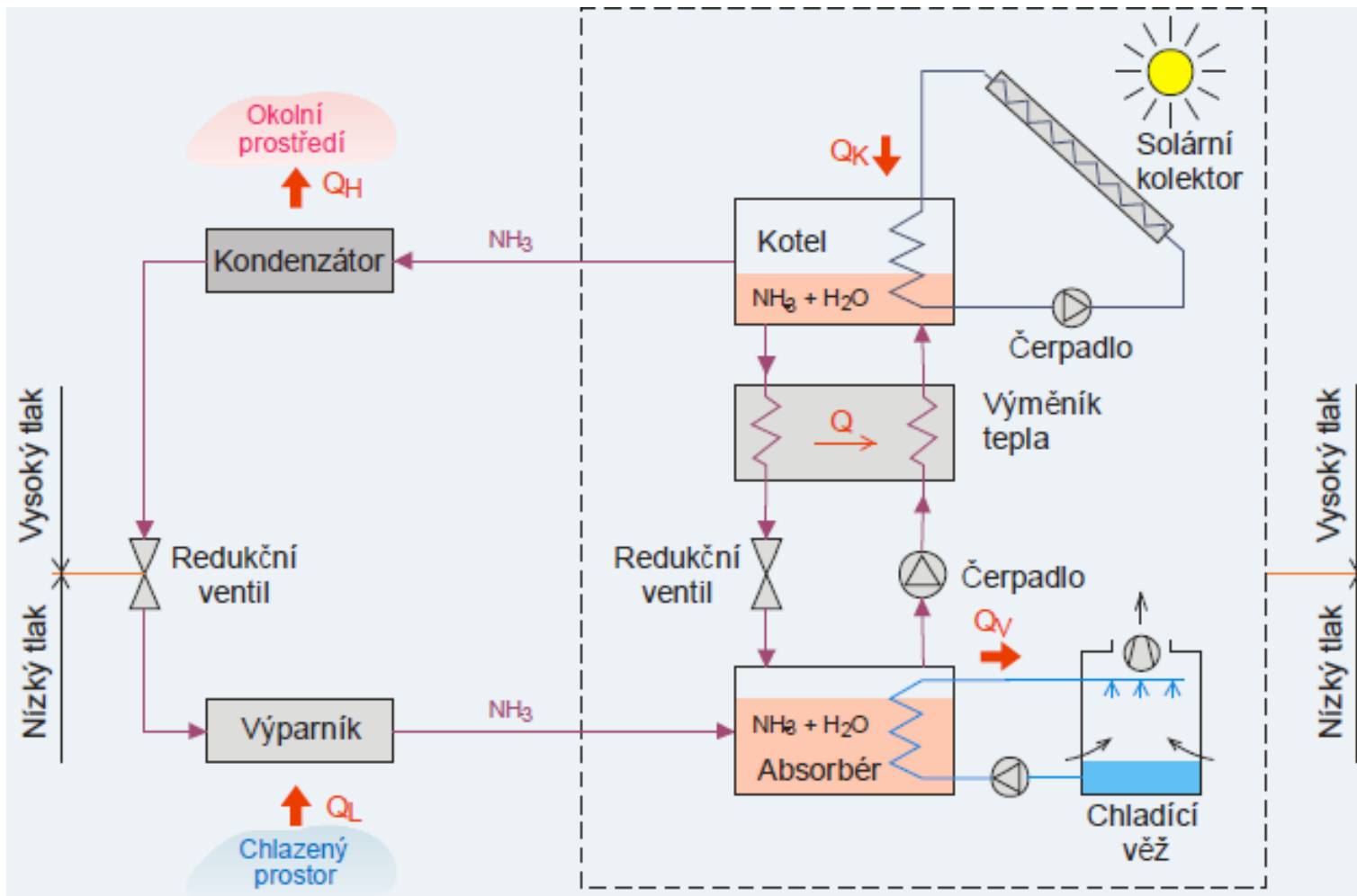
Efektivita absorpčního cyklu

- **Jednostupňový okruh**
 - Nižší teploty do 90 °C
 - Malá výkony
 - EER = cca 0,7 – 0,85
 - Solární chlazení



- **Dvoustupňový, třístupňový okruh**
 - Vyšší teploty nad 100 °C
 - Výkony 200 kW a více
 - EER = 1,0 – 2,5
 - V kombinaci s kogenerací, teplárenstvím

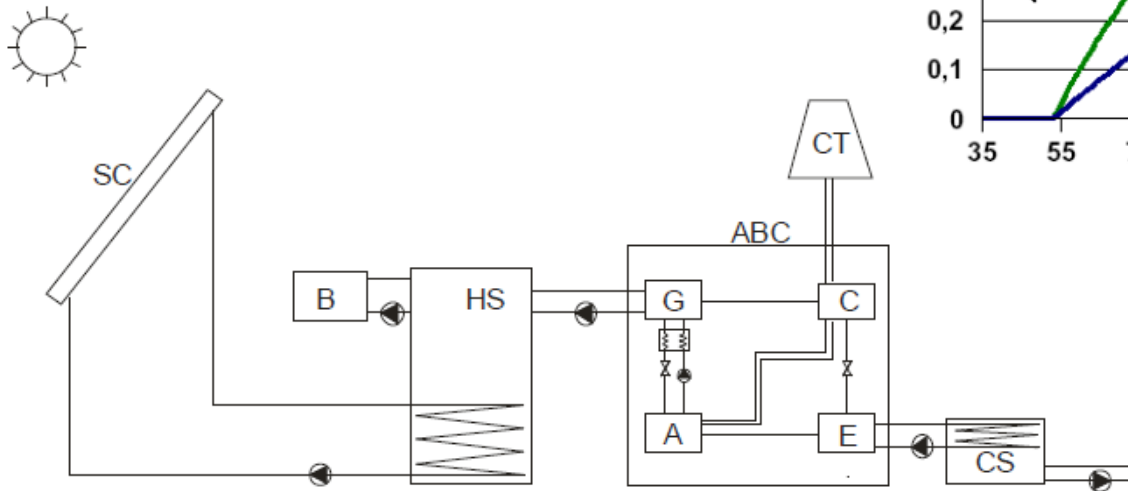
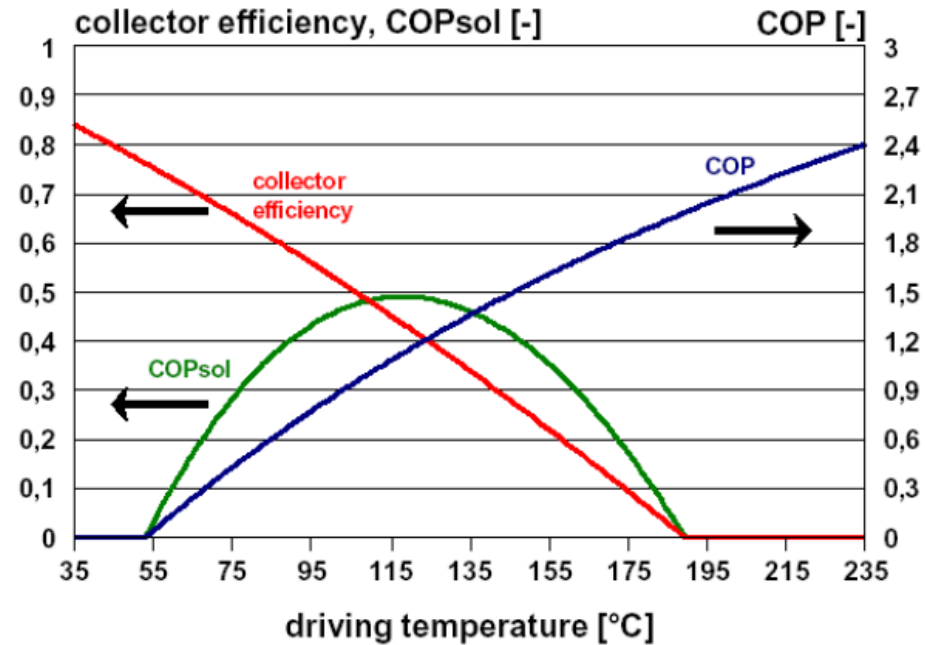
Absorpční chladicí cyklus - využití solární energie



Absorpční chladicí cyklus – celková efektivita

- Celková efektivita systému se solárními kolektory
- závislá na účinnosti
 - solárního systému
 - Absorpčního cyklu

$$\text{COP}_{\text{sol}} = \text{COP}_{\text{chiller}} \cdot \eta_{\text{coll}}$$





Absorpční cyklus se solárními kolektory

- Plocha solárního systému určuje chladicí výkon
- Stanovení celkové plochy na základě požadovaného chl. výkonu a možností objektu (např. plocha střechy)

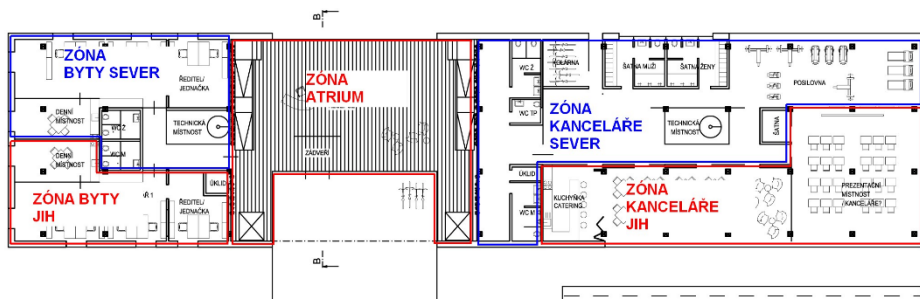
- Měrná plocha na kW $A_{coll} = \frac{1}{(G \cdot \eta_{coll} \cdot COP)}$

| | | |
|-------------|------------|-------------------------|
| G | 700 | W/m ² |
| eta | 0,5 | |
| COP | 0,7 | |
| | | |
| A/Qc | 4,1 | m²/kW |

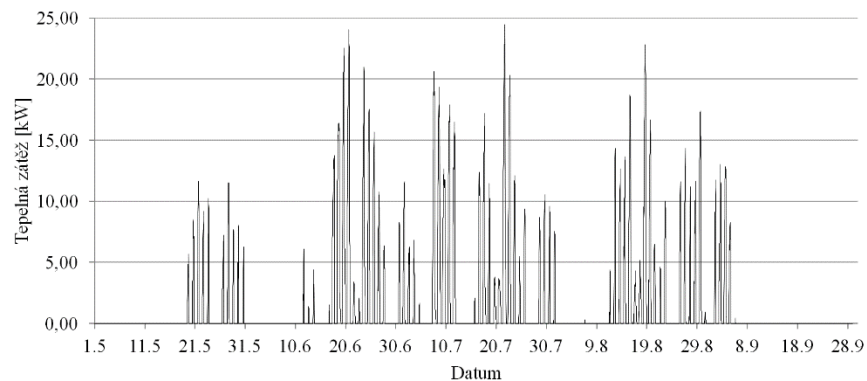
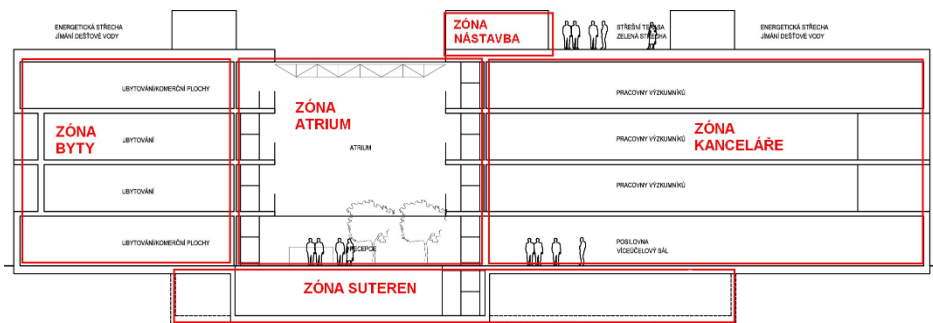
- Potřeba cca 1 – 6 m² na 1kW chladicího výkonu
 - průměr cca 2,6 m² na 1kW

Případová studie – absorpční solární chlazení

- Budova s více funkcemi (administrativa, ubytování)



| Název zóny | Celkem | Počet osob | Q_g | $Q_{C,nd}$ |
|------------------|--------------------|------------|--------|------------|
| | [m ²] | | [kW] | [kWh] |
| Byty jih | 272 | 10 | 0 | 0 |
| Byty sever | 398 | 10 | 0 | 0 |
| Kanceláře jih | 516 | 30 | 9,86 | 2500 |
| Kanceláře sever | 942 | 35 | 14,59 | 2931 |
| Atrium | 337 | 2 | 0 | 0 |
| Nástavba střecha | 57 | 0 | 0 | 0 |
| Suterén | 151 | 0 | 0 | 0 |
| Celkem | 2128 | 87 | 24,45 | 5431 |

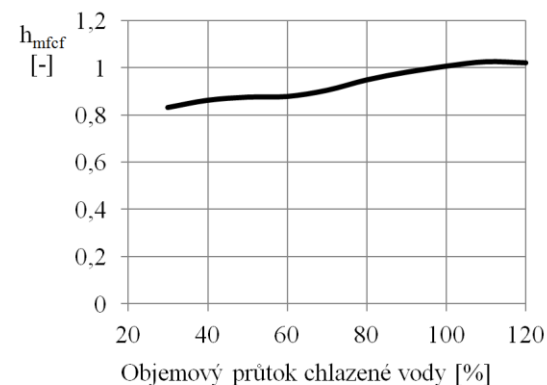
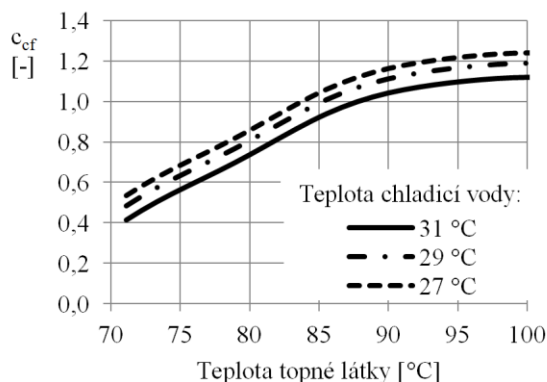


Návrh systému solárního chlazení

- absorpční chladicí jednotka YAZAKI WFC-SC5 (17,6 kW)

- topné medium 88 °C
- chladicí voda 31 °C
- chlazená voda 7 °C

$$Q_{ch} = c_{cf} \cdot h_{mfcf} \cdot Q_R$$



Absorpční chladicí jednotka YAZAKI WFC-SC5

| | | |
|----------------------|-------------------------------------|--|
| Okruh chlazené vody: | Chladicí výkon/průtok/teplotní spád | 17,6 kW / 3,3 m ³ /h / 12,5/7 °C |
| Okruh topné vody: | Chladicí výkon/průtok/teplotní spád | 25,1 kW / 5,2 m ³ /h / 88/73 °C |
| Okruh chladicí vody: | Chladicí výkon/průtok/teplotní spád | 42,7 kW / 11, 0 m ³ /h / 31/35 °C |

Akumulační zásobník chlazené vody

Objem / tepelný tok povrchem zásobníku: 3,7 m³ / 4,38 W/K

Akumulační zásobník topné vody

Objem / tepelný tok povrchem zásobníku: 2,2 m³ / 2,79 W/K

Solární vakuové trubkové kolektory THERMICS 30 HTH

Počet kolektorů / celková plocha / celková plocha apertury 23 ks / 96,3 m² / 55,9 m²

Doplňkový zdroj plynový kotel

Plynový kotel 28 kW

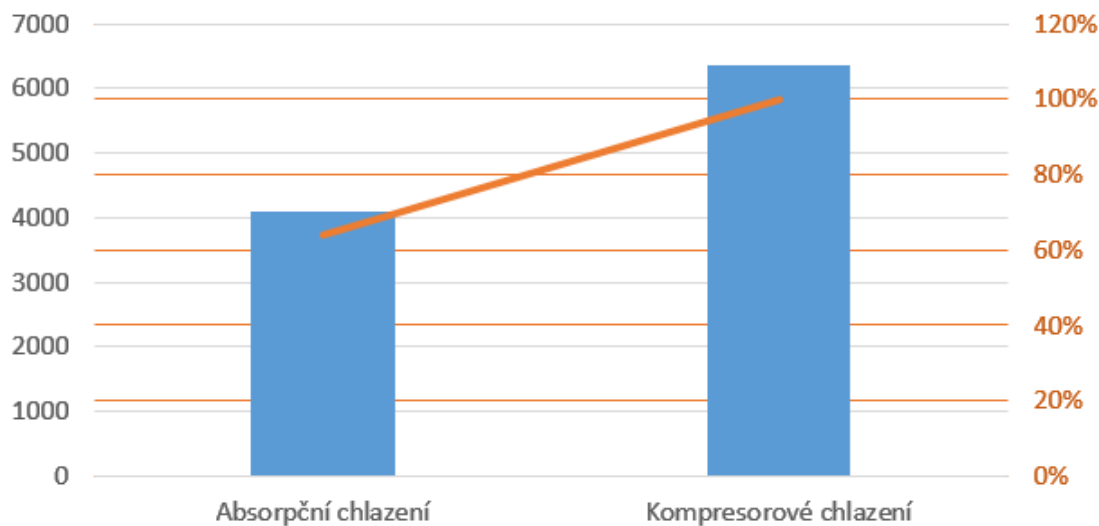


Hodnocení účinnosti systému

- Poměr chlad/dodané teplo = 0,83

| Energonositel | Dílčí vypočtená spotřeba energie | Faktor celkové primární energie | Faktor neobn. primární energie | Celková primární energie | Neobn. primární energie |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | [kWh/rok] | [-] | [-] | [kWh/rok] | [kWh/rok] |
| Energie okolního prostředí | 4679 | 1,0 | 0,0 | 4679 | 0 |
| Zemní plyn | 1920 | 1,1 | 1,1 | 2112 | 2112 |
| Elektřina | 179 | 3,2 | 3,0 | 573 | 537 |
| Celkem | 6778 | | | 7364 | 2649 |

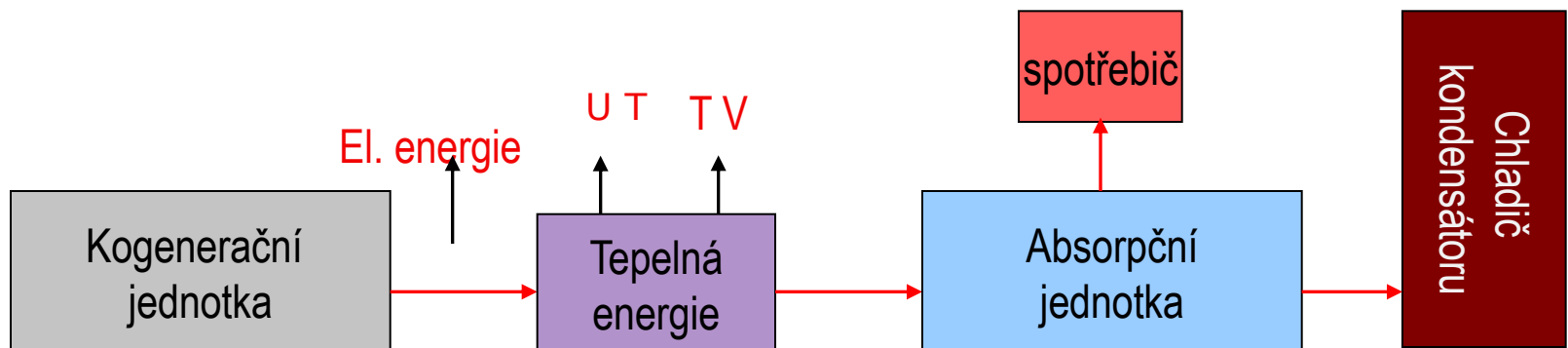
- Provozní náklady





Absorpční chladicí cyklus - trigenerace

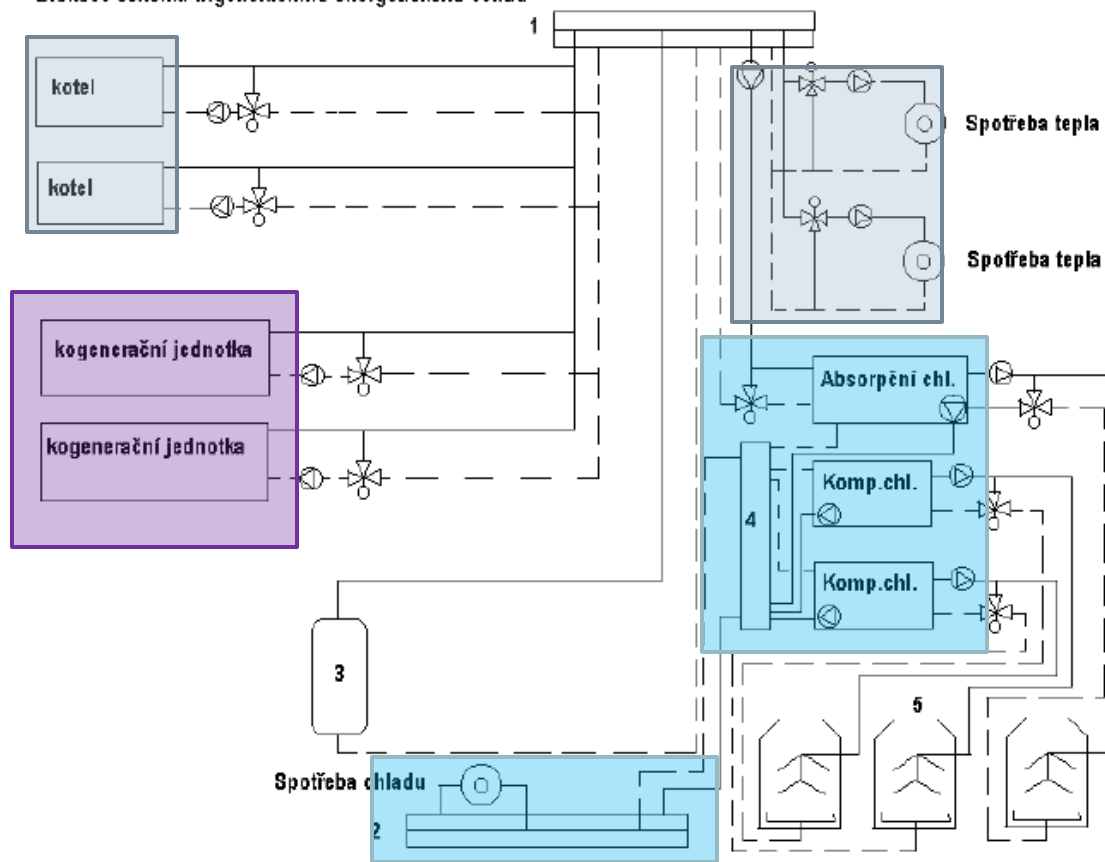
- využití místě s možností využití levné tepelné energie - průmyslová pára, odpadní teplo, sluneční energie apod.;
- využití tepla a tepelných zisků z technologií v letním období;
- významné využití u tzv. trigenerace (kombinovaná výroba tepla, chladu a el. energie pomocí klasické kogenerační jednotky);
 - požadavek na hospodárnost provozu
 - cena tepla / cena el. energie $< 0,14$



Absorpční chladicí cyklus - trigenerace



Blokové schéma trigeneračního energetického centra



Legenda k obr.1

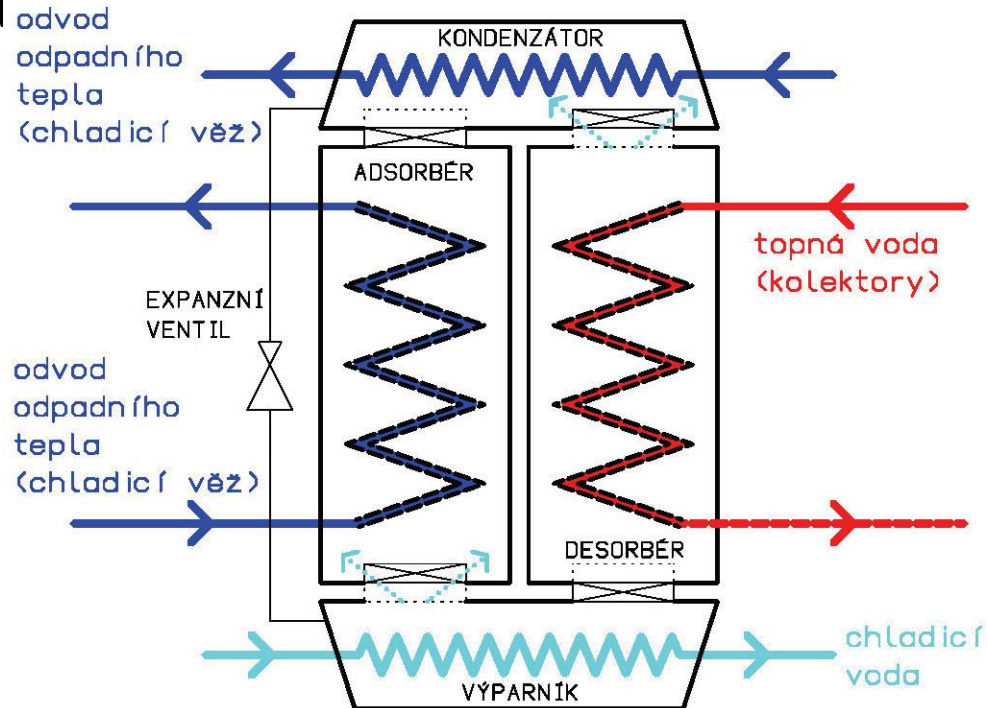
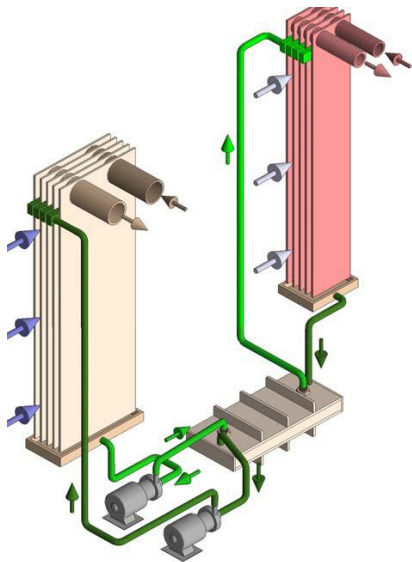
- 1 - Rozdělovač a sběrač tepelných okruhů
- 2 - Rozdělovač a sběrač chladících okruhů
- 3 - Zásobník tepla

- 4 - Hydraulický vyrovnávač chlazení
- 5 - Chladicí věže



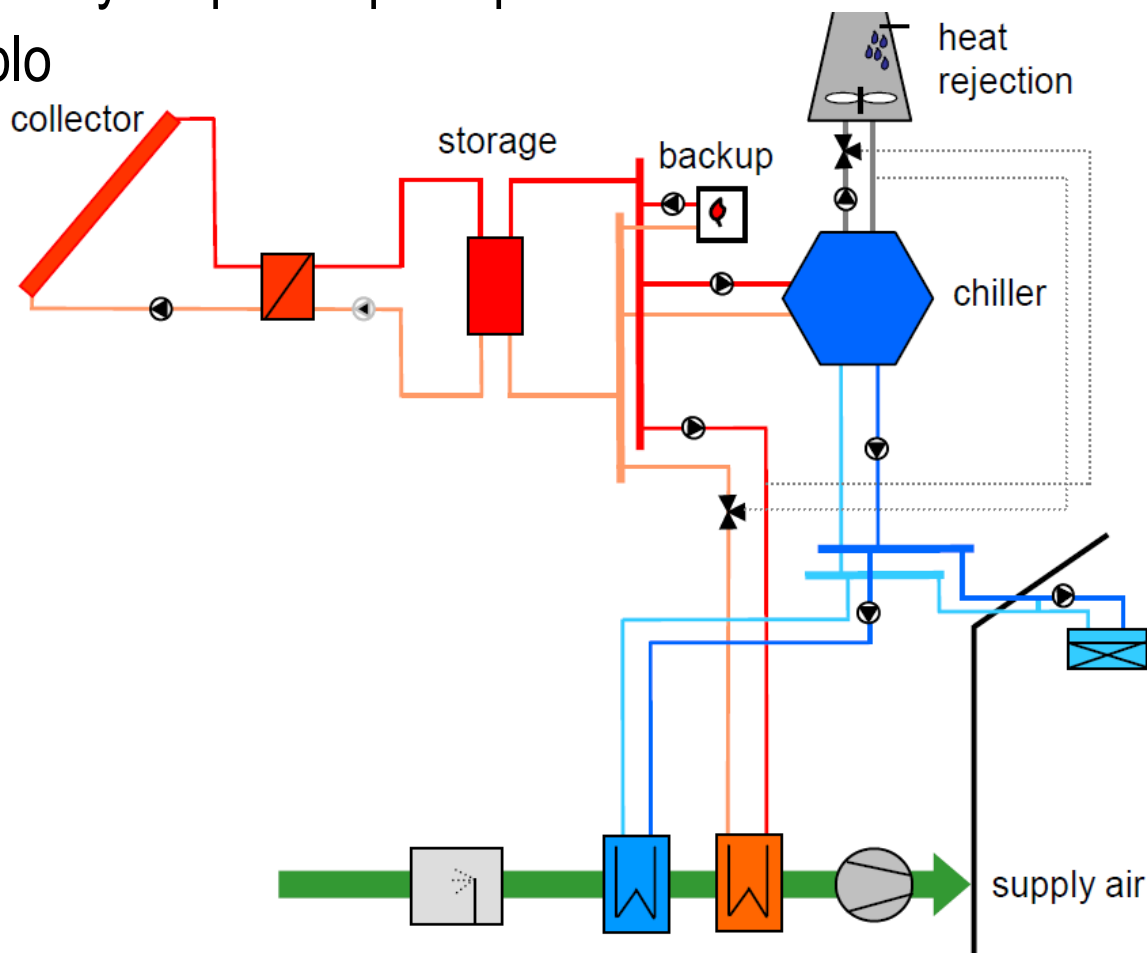
Adsorpční chlazení

- Uzavřený systém solárního chlazení
- Teplo regeneruje sorbent s sorpční komoře
 - **silikagel - H₂O**, zeolit – voda
 - 50 – 90 °C
 - COP = 0,3 - 0,6
- Sorbent váže páry chladiva



Solární chlazení - adsorpční systém

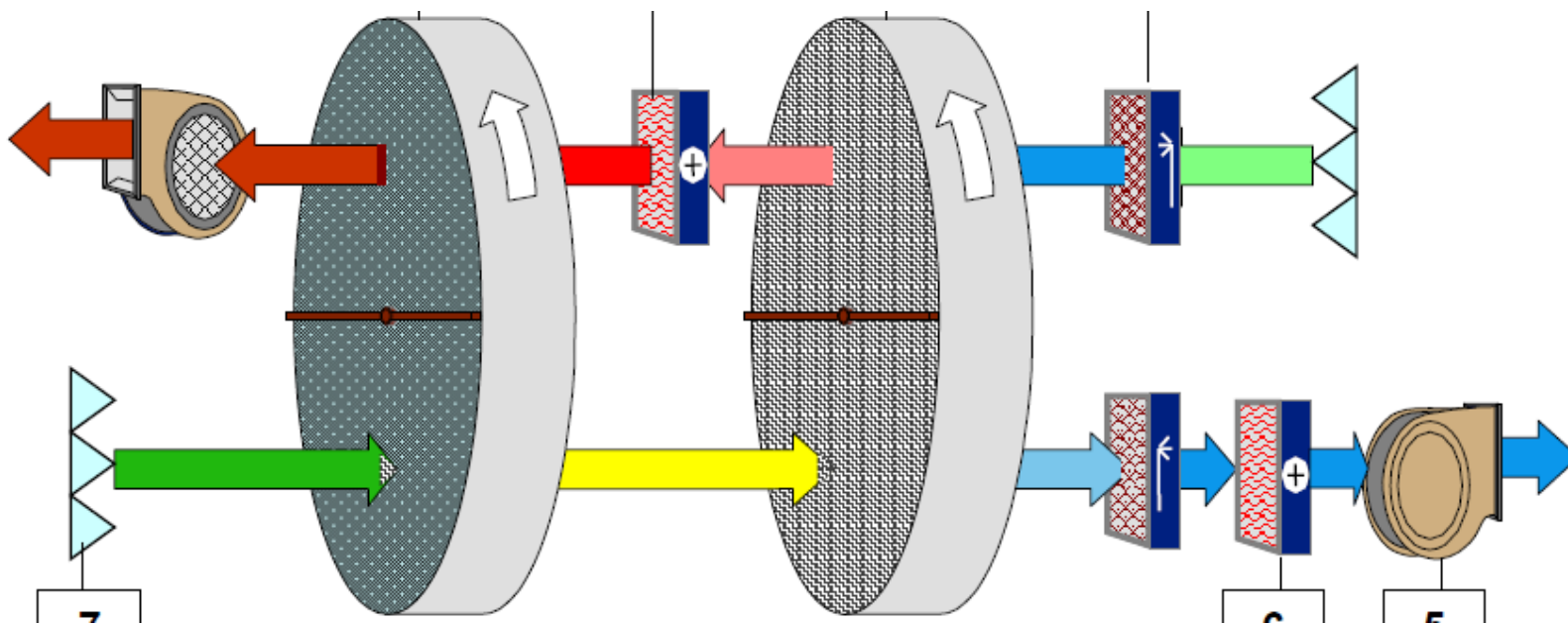
- Uzavřený systém – nepřímé chlazení
 - Výrobník chlazené vody sorpčním principem
 - energonositel – teplo
 - solární energie
 - odpadní teplo





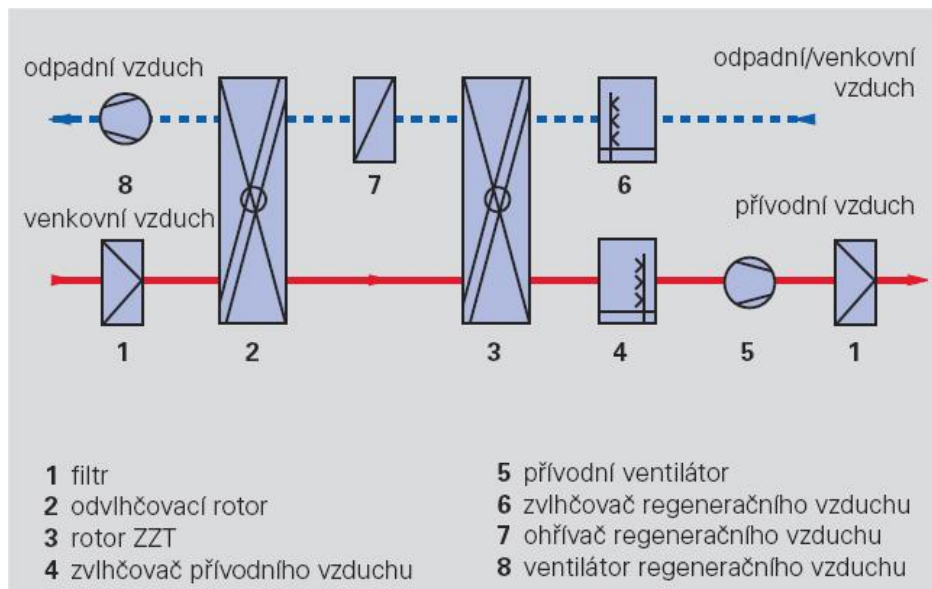
Desikační chlazení pro klimatizaci

- Otevřený systém
- Systém závisí na:
 - Výkonu solárního systému, množství vlhkosti ve vzduchu
- Sorbent – pevný, kapalný
 - nejčastěji používaný pevný sorbent, viz obr.



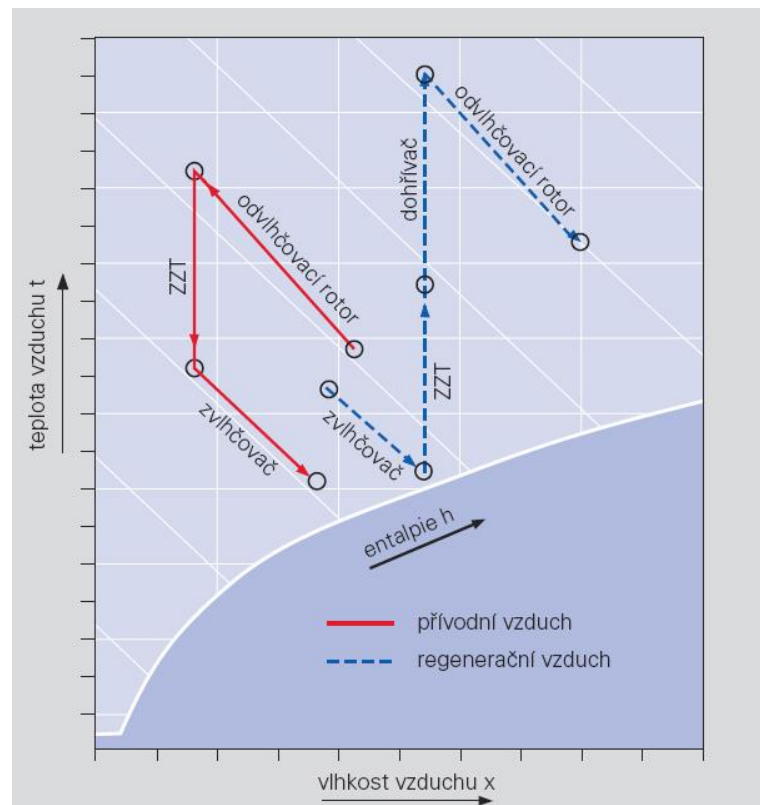
Desikační chlazení pro klimatizaci

- Chlazení sorpčním odvlhčováním vzduchu (chlazení přiváděného vzduchu)
 - 1 g odpařené vody do vzduchu sníží teplotu vzduchu o 2,5 °C



Chlazení sorpčním odvlhčováním - schéma

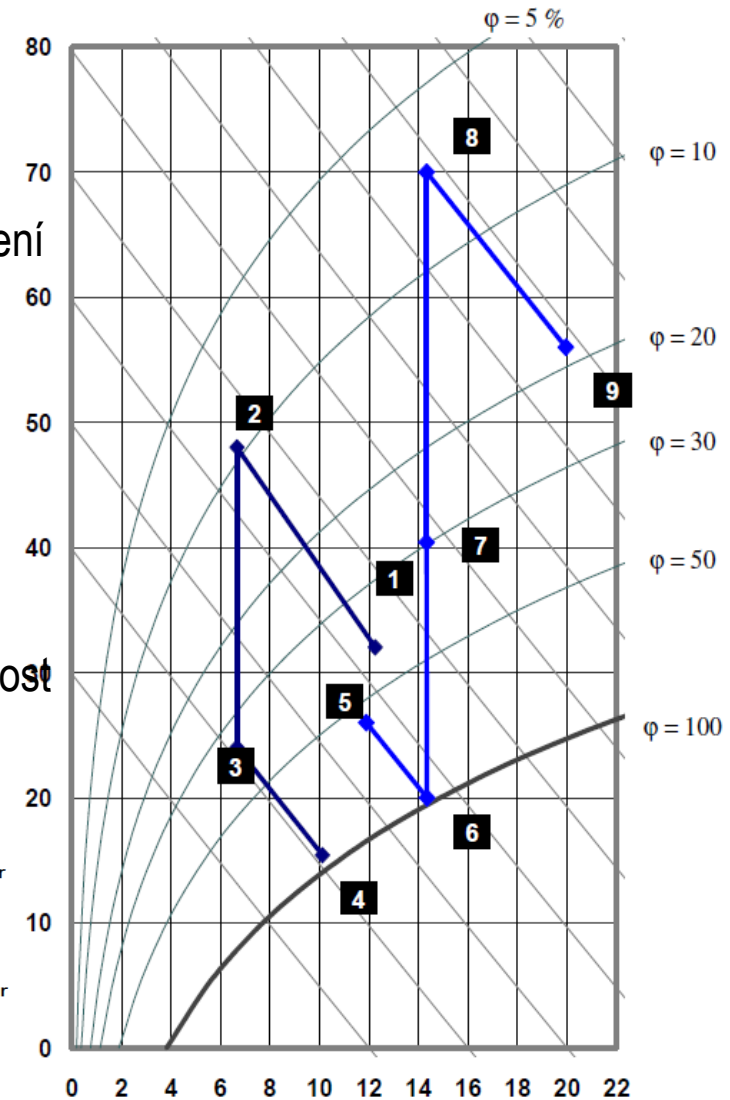
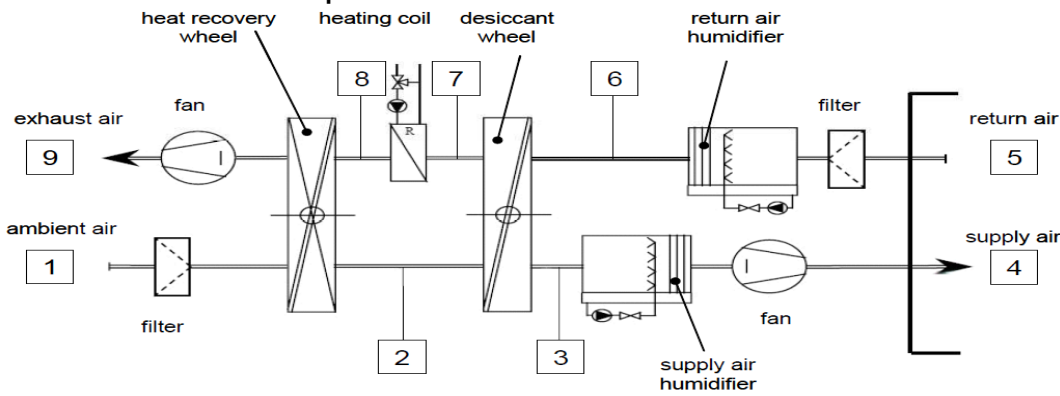
převzato z podkladů firmy Robatherm (zastoupení firmou OK-Puls s.r.o.)



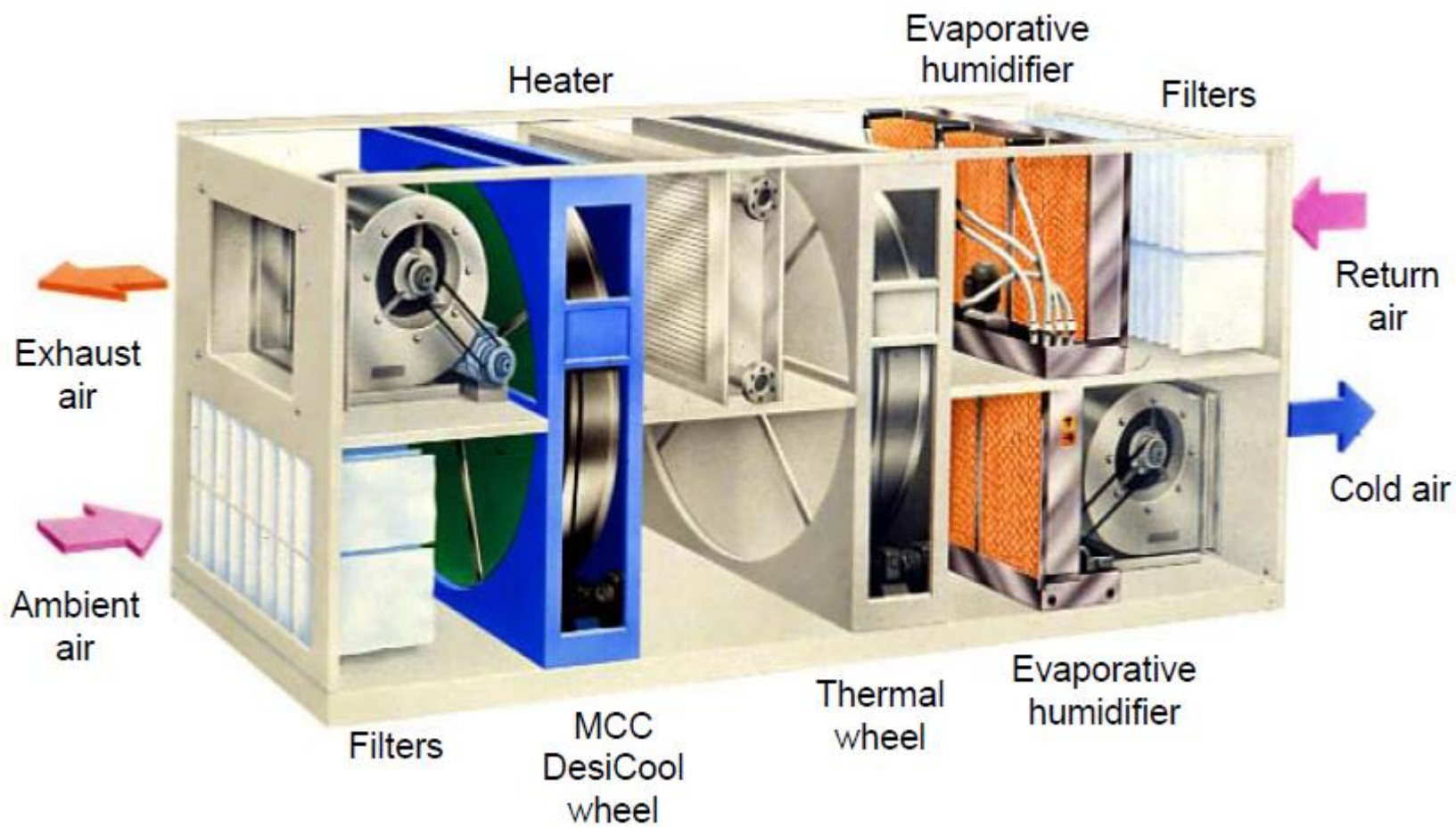
Chlazení sorpčním odvlhčováním – hx diagram

Desikační chlazení pro klimatizaci

- 1-2 sorpční odvlhčení přiváděného vzduchu, proces je většinou adiabatický
- 2-3 předchlazení přiváděného vzduchu (rotační ZZT)
- 3-4 adiabatické chlazení vzduchu pomocí vodního vlhčení
- 4-5 teplota přiváděného vzduchu a vlhkost je určena ve vztahu k vnitřním podmínkám
- 6-7 odváděný vzduch je adiabaticky ochlazen na mez nasycení
- 7-8 regenerace je provedena pomocí teplovodního ohříváče (napojení na solární systém)
- 8-9 proces regenerace pomocí desikačního rotoru, vlhkost navázána do póru desikačního rotoru



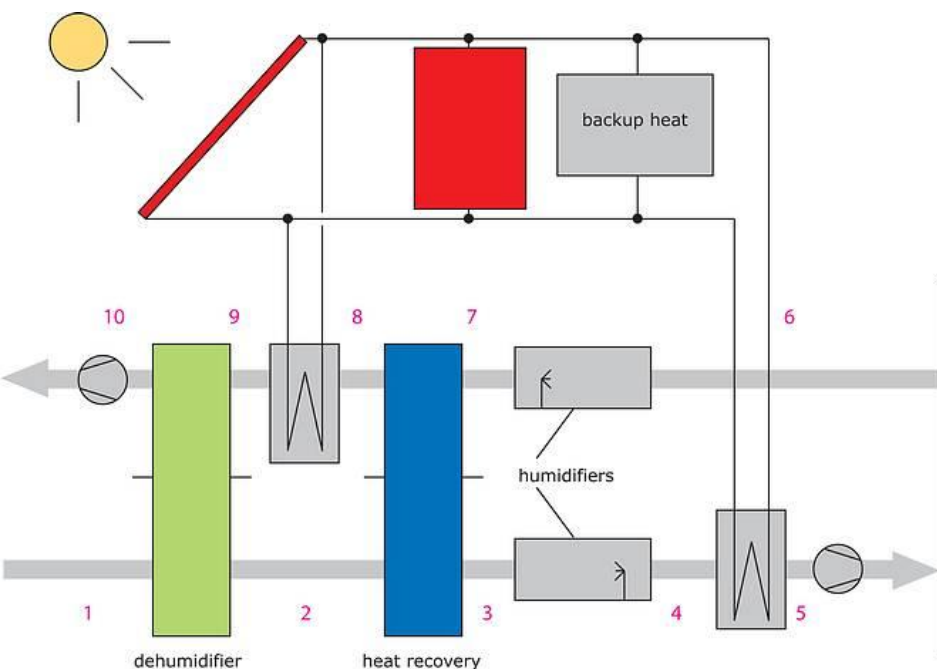
Desikační chlazení pro klimatizaci





Desikační chlazení pro klimatizaci

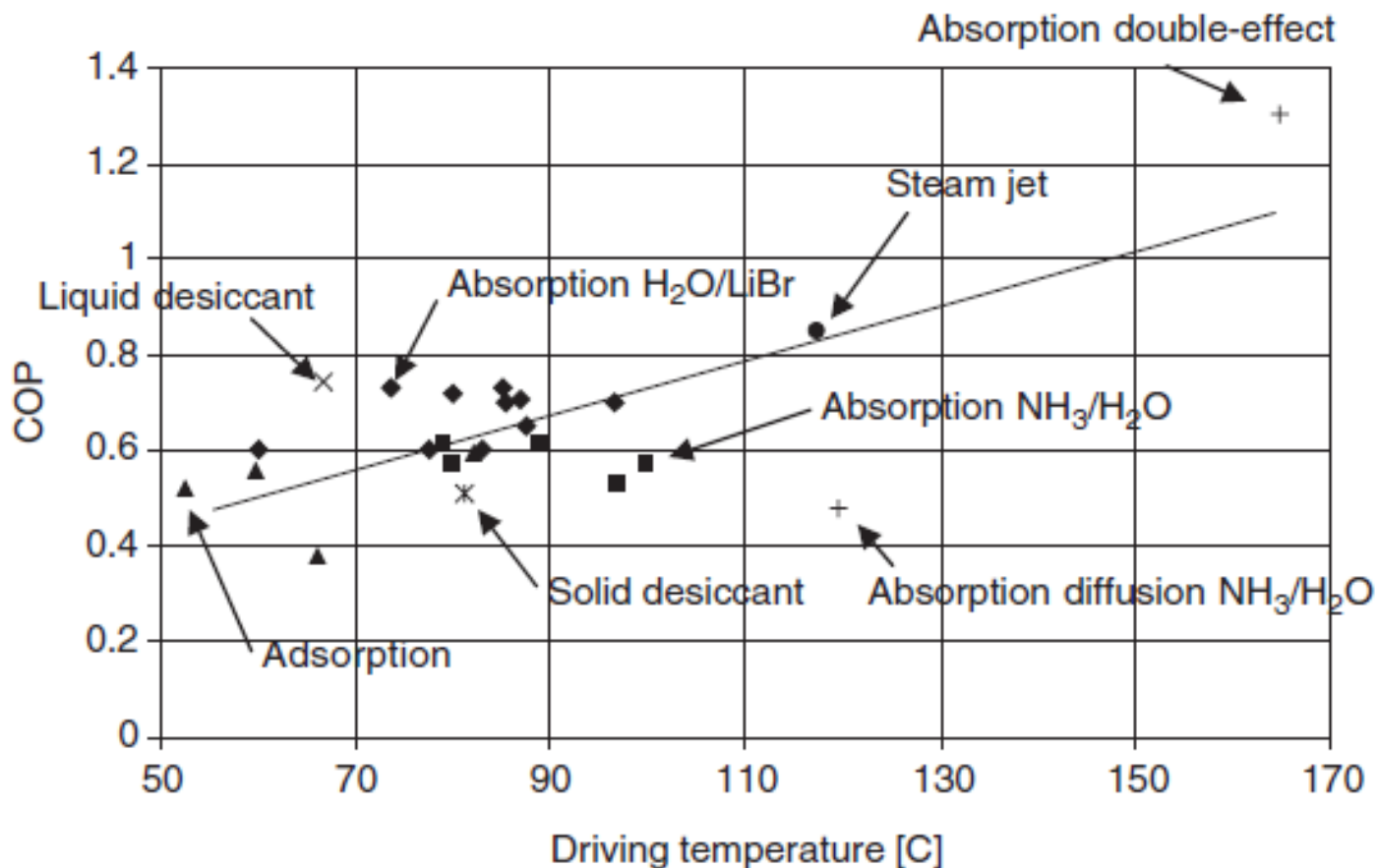
- Využití solární energie
 - Ekopark Hartberg (Štýrsko, Rak.)
 - Vakuové solární kolektory + PV





Solární chlazení – porovnání systémů

- Efektivita solárního chlazení
 - COP (chladicí faktor) závisí na teplotě media a systémovém řešení

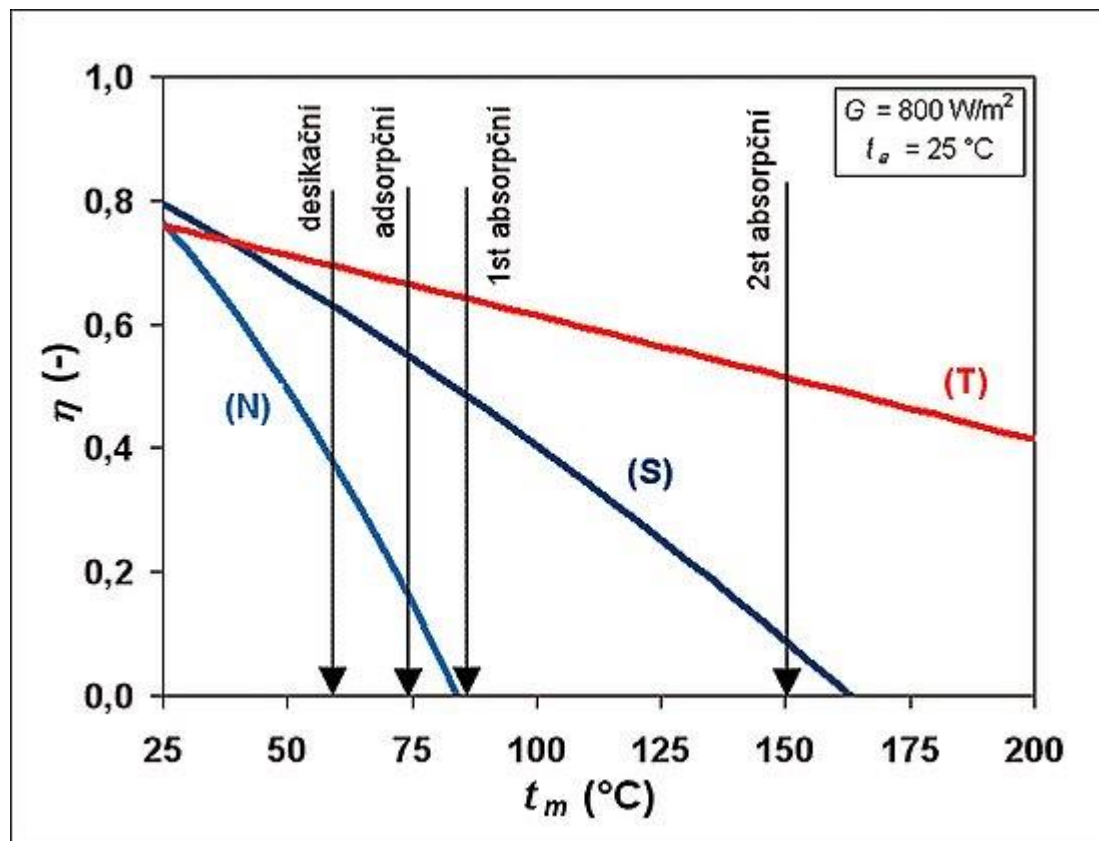




Solární chlazení a kolektory

- Pro daný typ solárního chlazení je důležitá volba typu solárních kolektorů

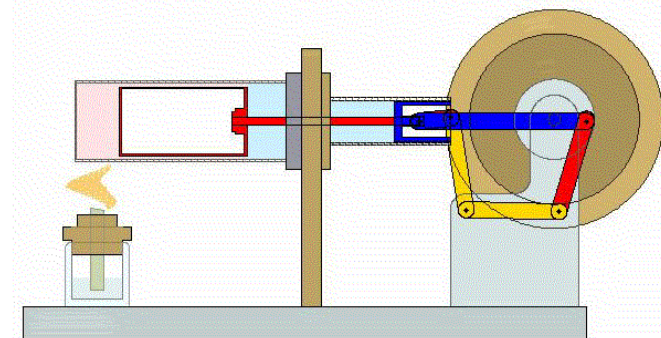
- N – neselektivní
- S – selektivní
- T – trubicový vak.





Alternativní chlazení – stirlinguv motor

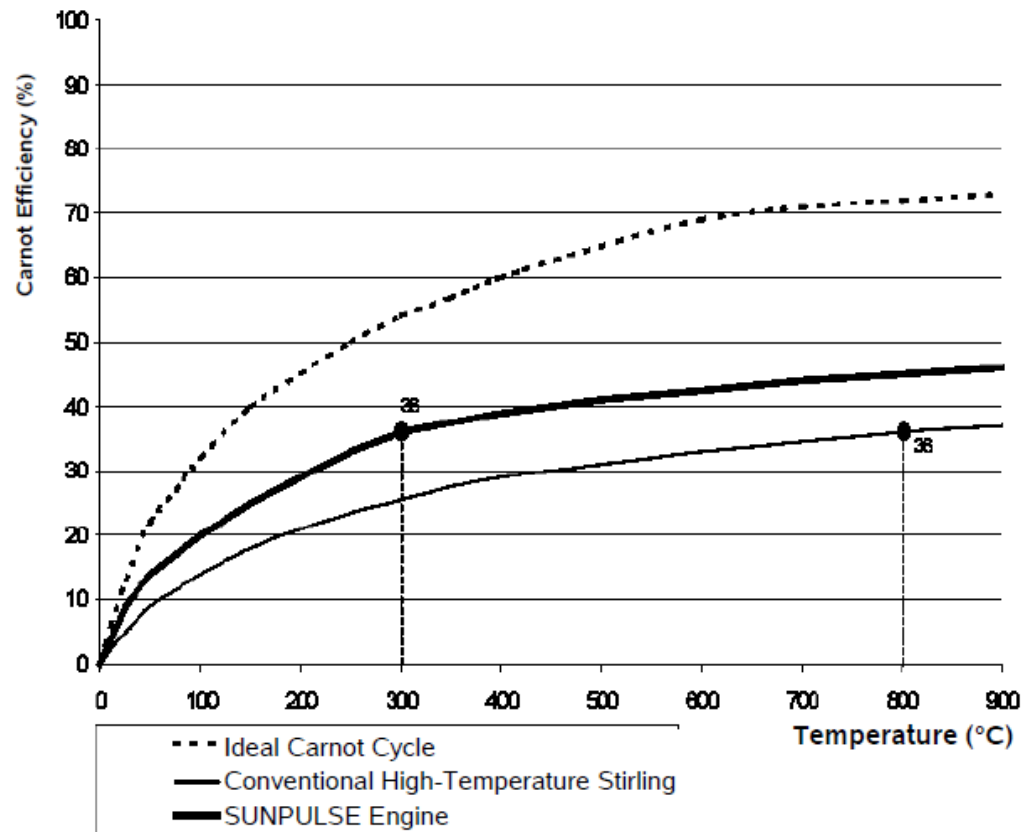
- Využití tepla pro pohon a výrobu elektrické energie pro kompresní chlazení





Alternativní chlazení – stirlinguv motor

- Nutné vysoké teploty ze solárního systému za předpokladu rozumné účinnosti
- Celkově nízká účinnost





Příklady – přednášková aula (Rakousko)

- Adsoprní chlazení, kombinace se sluneční energií, pasivní chlazení žaluziemi s PV prvky





Centrální zdroj tepla/chladu

- Kotelna na biomasu, PV panely, absorpční chladicí jednotka
 - Administrativní areál (Oekopark Hartberg)



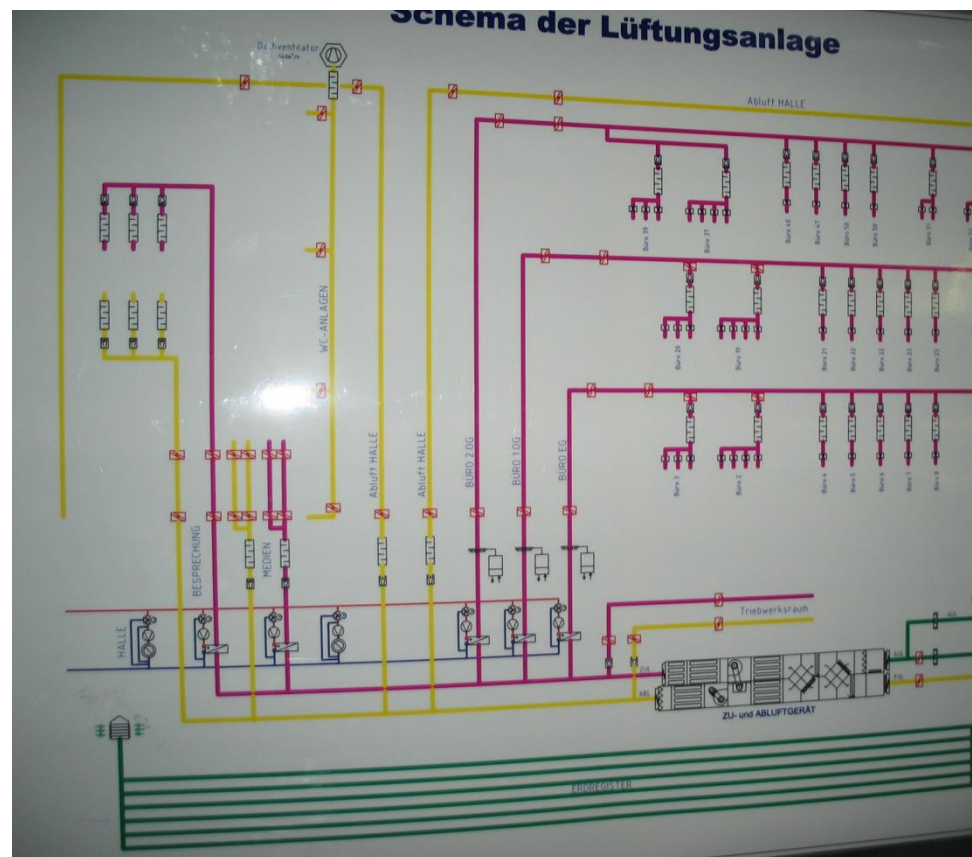


Centrální zdroj tepla/elektriny

- Freiburg, centrální výtopna pro městskou část
 - Sekundární výroba elektriny – Stirlingův motor

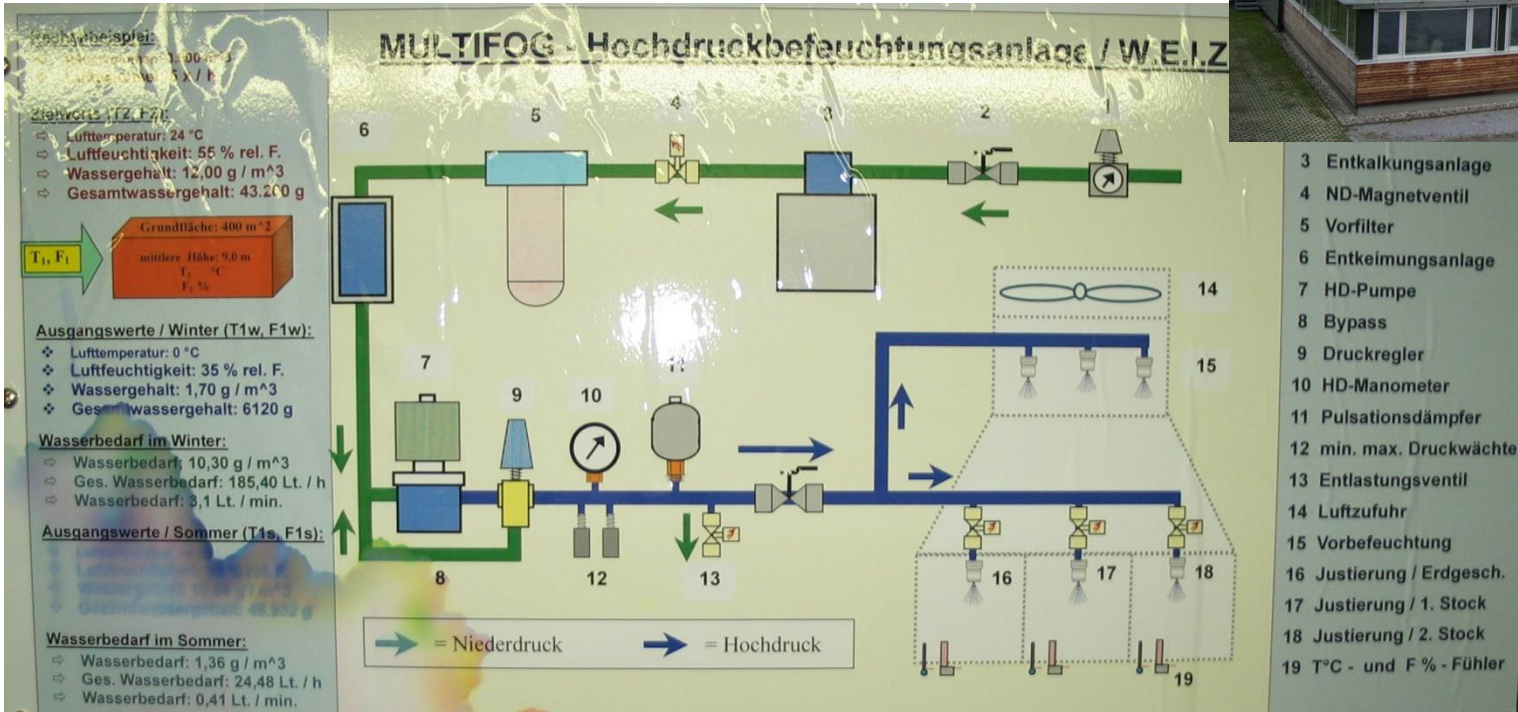


Administrativní budova (Weiz, Rakousko)



Administrativní budova (Weiz, Rakousko)

- Vlhčení/adiabatické chlazení vzduchu
 - Každá přívodní větev pro každé podlaží má vlastní adiabatické chlazení



- 3 Entkalkungsanlage
- 4 ND-Magnetventil
- 5 Vorfilter
- 6 Entkeimungsanlage
- 7 HD-Pumpe
- 8 Bypass
- 9 Druckregler
- 10 HD-Manometer
- 11 Pulsationsdämpfer
- 12 min. max. Druckwächter
- 13 Entlastungsventil
- 14 Luftzufuhr
- 15 Vorbefeuchtung
- 16 Justierung / Erdgesch.
- 17 Justierung / 1. Stock
- 18 Justierung / 2. Stock
- 19 T°C - und F% - Fühler



Závěr

- Není nutné vždy použít pouze kompresorové chlazení pro klimatizaci budovy
- Vhodná kombinace všech přístupů
 - Pasivní ochlazování budovy
 - Fyzikální principy chlazení/vlhčení vzduchu
 - Vhodná kombinace všech systémů
 - Integrace systémů využívající OZE





DĚKUJI ZA POZORNOST

Miroslav Urban

Katedra technických zařízení budov

Stavební fakulta, ČVUT v Praze

miroslav.urban@fsv.cvut.cz