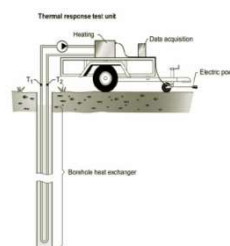




1/64

Nízkopotenciální zdroje tepla

- zemský masiv – vrty, kolektory
- voda – spodní, povrchová
- vzduch – venkovní, odpadní
- sluneční záření



2/64

Přírodní a druhotné zdroje tepla

- **energie pocházející ze slunečního záření = energie okolního prostředí**
 sluneční záření: 200 až 1000 W/m²
 vzduch
 srážky, povrchová voda, studniční voda
 země
- **geotermální voda** v několika oblastech (KV, Teplice, jižní Morava)
- **odpadní energie**
 technologické procesy, prádelny, mycí linky, větrání budov



3/64

Zdroje tepla pro tepelná čerpadla

- **země**
energie zemského masivu
- **voda**
energie spodní, povrchové nebo odpadní vody
- **vzduch**
energie okolního nebo odpadního vzduchu
reverzní klimatizační jednotky – vytápění/chlazení



4/64

Energie zemského masivu

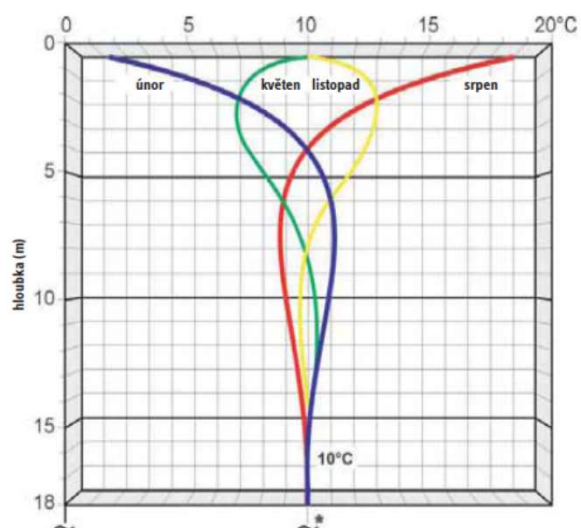
- **měrný výkon**
tok z povrchu 10 až 40 W/m² (průměr v roce)
tok ze zemské kůry 0,04 až 0,06 W/m²
- **teplota**
pod 2-5 m trvalá teplota > 10 °C
geotermální teplotní gradient 3 K/100 m
- **tepelná vodivost**

suchá písčité půda	1,1 W/m.K	průměr 2 W/m.K
mokrý žula	3,3 W/m.K	



Teplota zeminy

5/64



od cca 15-20 m

geotermální teplotní
gradient 3 K/100 m

relativně stálá teplota

podpovrchová vrstva
výrazně ovlivňována
klimatickými
podmínkami



Energie zemského masivu

6/64

- **svislé zemní sondy**
suché vrty – sondy
- **horizontální zemní kolektory**
podpovrchové výměníky
- **studny**
čerpání spodní vody – odlišná technologie využití



7/64

Svislé zemní sondy



- čerpání tepla ze zemského masivu suchými vrty běžně do 100 m
- nenáročné na prostor
- 1-2 smyčky PE hadic
- teploty primárního okruhu: od -4 °C do +4 °C



8/64

Znalost geologie !

- **návrh hloubky a počtu sond**

znalost tepelných vlastností masivu

riziko poddimenzování – pozná se po několika letech

klesá výkon a topný faktor, sonda se nestačí zregenerovat

- **ekologie**

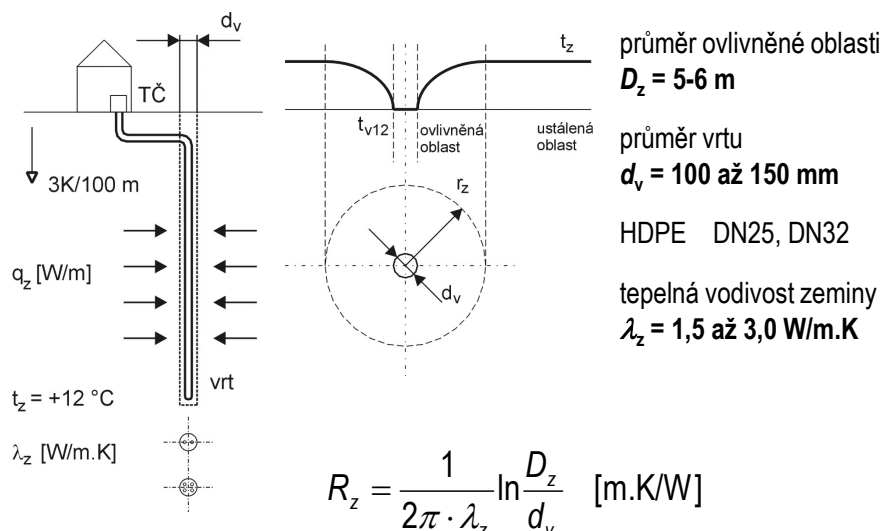
narušení a propojení zvodní

spojení hlubokých vrstev s kvalitní vodou s méně hlubokými znečištěnými



9/64

Zemní sondy – tepelný odpor



10/64

Zemní sondy – měrný výkon

$$q_{z,l} = \frac{t_z - t_{v12}}{R_z} \quad [\text{W/m}]$$

teplota v sondě
 $t_{v12} = \text{okolo } 0 \text{ °C} \quad (+4 \text{ až } -4 \text{ °C})$

teplota zeminy v neovlivněné oblasti
 $t_z = 12 \text{ °C} \quad (+3 \text{ K/100 m})$

Vlastnosti podloží	měrný tepelný tok $q_{z,l} [\text{W/m}]$
hornina s velkým výskytem spodních vod	100
pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí	80
normální pevná hornina, průměr	55
vrt v suchých nánosích, nízká tepelná vodivost	30



11/64

Měrné tepelné toky EN 15 450 (VDI 4640)

Druh zemského masivu	Měrný odběrový tepelný tok	
	doba provozu 1 800 h	doba provozu 2 400 h
Obecné směrné hodnoty:		
špatné podloží (suchý sediment a $\lambda < 1,5 \text{ W/(m·K)}$)	25 W/m	20 W/m
běžné podloží a vodou nasycený sediment $1,5 < \lambda < 3,0 \text{ W/(m·K)}$	60 W/m	50 W/m
pevná skála s vysokou tepelnou vodivostí $\lambda > 3,0 \text{ W/(m·K)}$	84 W/m	70 W/m
Jednotlivé druhy zemského masivu:		
suchý štěrč nebo písek	< 25 W/m	< 20 W/m
štěrč nebo písek nasycený vodou	65 W/m až 80 W/m	55 W/m až 65 W/m
štěrč nebo písek se silným prouděním spodní vody	80 W/m až 100 W/m	80 W/m až 100 W/m
vlhký jíl	35 W/m až 50 W/m	30 W/m až 40 W/m
vápencový masiv	55 W/m až 70 W/m	45 W/m až 60 W/m
pískovec	65 W/m až 80 W/m	55 W/m až 65 W/m
křemičitý magmatit (např. granit)	65 W/m až 85 W/m	55 W/m až 70 W/m
bazální magmatit (např. basalt)	40 W/m až 65 W/m	35 W/m až 55 W/m
diorit	70 W/m až 85 W/m	60 W/m až 70 W/m

hodnota odebraného tepla by měla ležet mezi 100 až 150 kWh/m



12/64

Délka sondy

- pro jmenovité podmínky se stanoví výkon a COP (B0/W35)

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_k \left(1 - \frac{1}{COP} \right)$$

$$l_v = \frac{\dot{Q}_v}{q_z} \quad [\text{m}]$$

q_z se uvažuje podle uvažované doby provozu TČ (1800, 2400 h)

- hloubka podle možnosti vrtné soupravy - vrtací technologie běžná pro studny, max. 100 m
- více sond = rozdělení průtoků = nižší tlakové ztráty



13/64

Alternativní návrh

- stanovení roční dodávky tepla Q_{del} do budovy TČ, roční COP_{rok}
- stanovení roční odebrané energie ze zemského masivu Q_v

$$Q_v = Q_{del} \left(1 - \frac{1}{COP_{rok}} \right)$$

- určení doby provozu TČ $\Delta \tau_{TC}$: 1800 (vytápění), 2400 (vytápění + teplá voda)
- stanovení středního chladicího výkonu (výparník)

$$\dot{Q}_v = \frac{Q_v}{\Delta \tau_{TC}} \longrightarrow \text{návrhový výkon pro určení délky sondy}$$



14/64

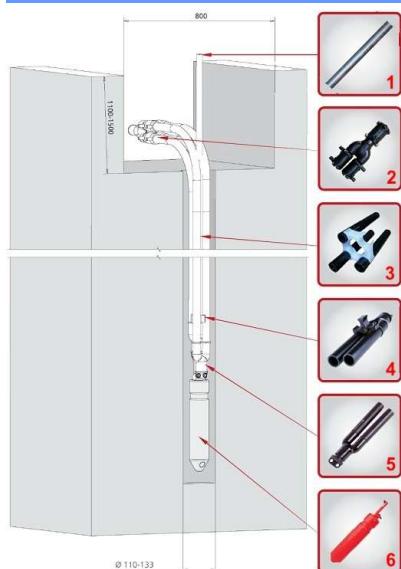
Provedení sond

- vhodné potrubí: HD-PE, PE-RC (crack resistant), PN16 (100m)
- minimální vzdálenost > 5 m, aby nedocházelo k propojení ovlivněných oblastí
- > 10 m: **vrtání nemusí být zcela svislé** (výchylka až 2 m), 10% hloubky sondy
- pohyb spodních vod: vhodná poloha sond (eliminace ochlazení jednoho vrtu druhým), liniové uspořádání
- výplň sondy bentonitem (tekutá cementová směs)
nelze vytěženou půdou ! = izolant
- pažení, utěsnění sondy - **oddělení** dvou úrovní spodní vody s různou kvalitou, zabránit **průniku** povrchových vod do spodních vod



15/64

Provedení sond



injekční trubka – tlakové vyplnění sondy tepelně vodivou směsí (bentonit), kontakt podloží se sondou



redukce – snížení počtu větví přivedených na rozdělovač při větším počtu sond



vymezovací vložka – vymezení rozteče trubek ve vrtu pro správné zatečení směsi a rovnoměrné rozložení teploty



pevný bod – ve zhoršených geologických poměrech jako opěrný bod pro zatlačování potrubí do vrtu injekční trubkou



vratné koleno – spojení přívodního a vratného potrubí v nejnižší části vrtu

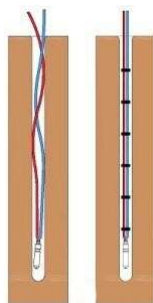
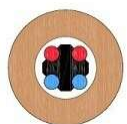
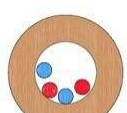


závaží – pro snadnější zavádění potrubí do vrtu a jako ochrana vratného kolena



16/64

Provedení sond

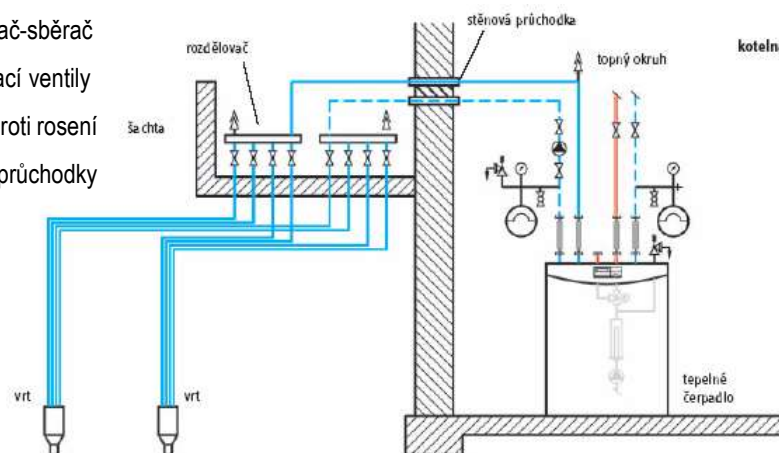




Zemní sondy – zapojení

17/64

rozdělovač-sběrač
vyvažovací ventily
izolace proti rosení
stěnové průchodky



nemrznoucí směs ($t_f < -10^\circ\text{C}$):

propylenglykol-voda (30 / 70 %): **viskozita (!)**
líh-voda (40 / 60 %)



Zemní sondy – zapojení, rozdělovač

18/64



umístění rozdělovače ve
venkovním prostoru:

v plastové šachtě

v betonové skruži



Připojení

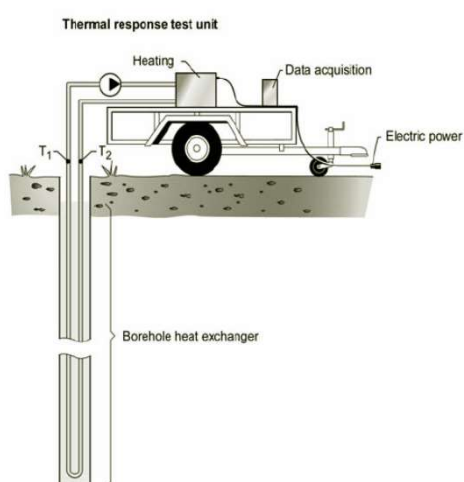
19/64

- rozvod sond se spádem od rozdělovače – snadné **odvzdušnění**
- rovnoměrné délky sond – hydraulické **zaregulování**
- **prostupy** do budovy v nenasákavé izolaci a chrániče
- bezpečnostní **odstupy** od konstrukcí budovy (rozvody pod bodem mrazu)
- pozornost při **křížení** rozvodů sond s jinými rozvody (studená voda)
- rozvody v izolaci – **kondenzace a namrzání**



Zkouška tepelné odezvy

20/64



mobilní měřicí aparatura

vystrojená sonda napojený na zdroj tepla (elektrokotel)

cirkulace vody, měření příkonu a teplot

nepřetržité snímání cca 2,5 dne

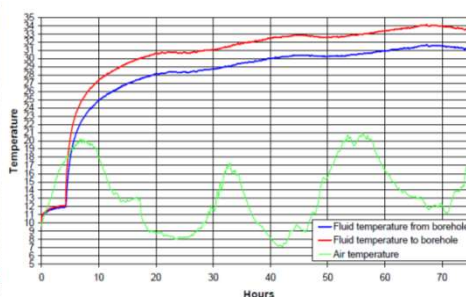
odpojení, vyhodnocení:

- tepelná vodivost
- tepelný odpor sondy
- teplota neovlivněného masivu



21/64

Zkouška tepelné odezvy – VŠB Ostrava

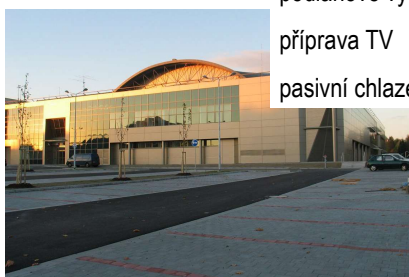


Parametr	Vrt č. 1	Vrt č. 2
Topný výkon do vrtu	8,2 kW	7,6 kW
Průměr, litráž čerpadla při testu	0,83 l/s	0,87 l/s
Doba vytápění vrtu elektrokotlem	71,5 hodin	93,3 hodin
Teplota T_{ug}	10,8°C	10,8°C
Tepelná vodivost hornin λ	2,2 W/mK	2,1 W/mK
Tepelný odpor R_s	0,16 K/Wm	0,12 K/Wm
Injektážní směs	cement + bentonit	Stüwatherm 2000Z



22/64

Pole sond – VŠB Ostrava



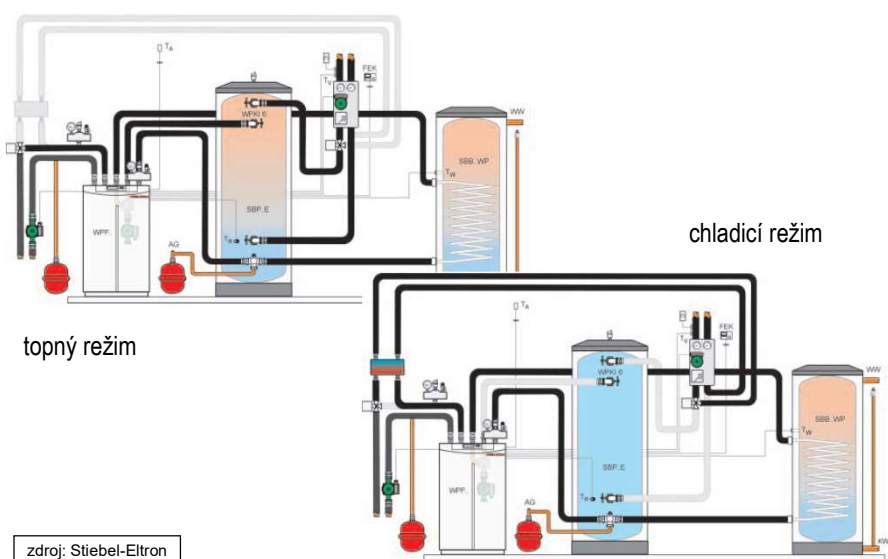
700 kW (10 TČ)
 110 sond, hloubka 140 m
 podlahové vytápění, VZT
 příprava TV
 pasivní chlazení v létě

zdroj: IVT



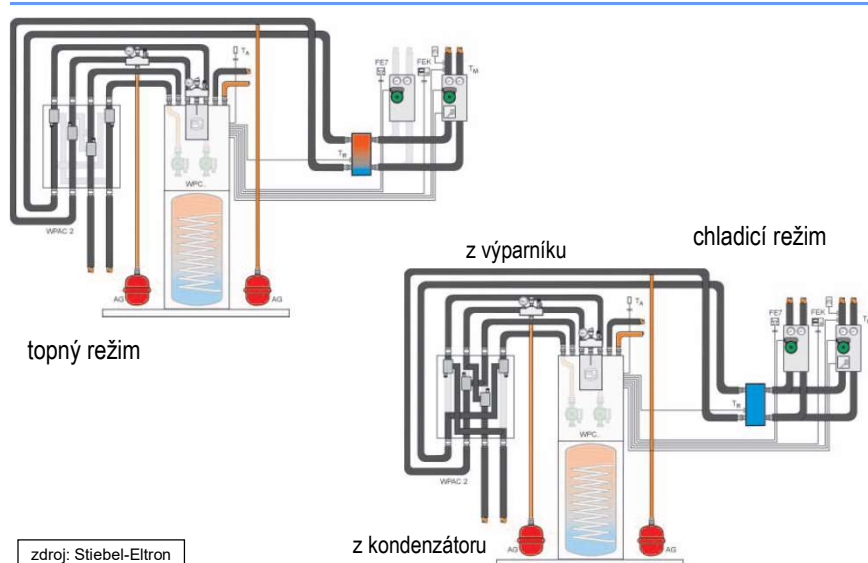
23/64

Pasivní chlazení zemními sondami



24/64

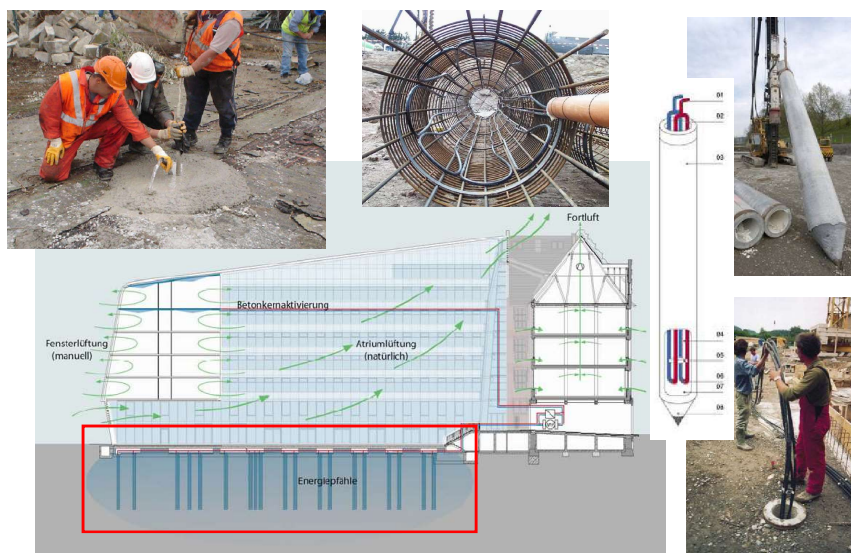
Aktivní chlazení sondami





Energetické piloty

25/64



Zemní podpovrchové kolektory

26/64

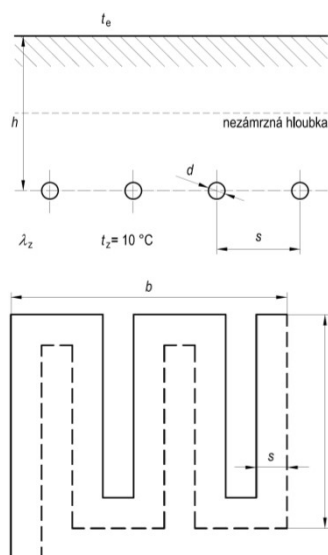


- čerpání tepla z podpovrchové vrstvy (do 1,5 m hloubky)
- možnost ovlivnění vegetace
- rozsáhlé výkopové práce
- nutná velká plocha pozemku
- teploty v kolektoru okolo 0 °C



Zemní podpovrchové kolektory

27/64



hloubka uložení min. 0,2 m pod
nezámrznou hloubkou
 $h = 0,4$ až $1,5$ m

rozteč trubek
 $s = \text{min. } 0,8$ m až $1,1$ m

HDPE trubky 25 – 40 mm

tepelná vodivost zeminy
 $\lambda_z = 1,5$ až $3,0$ W/m.K

$$R_z = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_z} \ln \left[\frac{2 \cdot s}{\pi \cdot d} \sinh \left(2\pi \frac{h}{s} \right) \right] \quad [\text{m.K/W}]$$



Zemní podpovrchové kolektory

28/64

$$q_{z,l} = \frac{t_z - t_{v12}}{R_z} \quad [\text{W/m}]$$

teplota ve výměníku

$t_{v12} = \text{okolo } 0^\circ\text{C}$ (+4 až -4°C)

teplota zeminy

$t_z = 10^\circ\text{C}$

Vlastnosti podloží	měrný tepelný tok $q_{z,l}$ [W/m]
suché nesoudržné půdy	10 – 15
vlhké soudržné půdy	15 – 20
velmi vlhké, soudržné půdy	20 – 25
půdy pod hladinou spodní vody nebo značně vlhké	25 – 30
půdy s pohybem spodní vody	35 – 40



29/64

Délka a plocha zemního kolektoru

$$l_v = \frac{\dot{Q}_v}{q_z} = \frac{\dot{Q}_k - P_{el}}{q_z} \quad [\text{m}]$$

$$S = \frac{\dot{Q}_v \cdot s}{q_{z,l}} = \frac{\dot{Q}_v}{q_{z,A}} \quad [\text{m}^2]$$

Vlastnosti podloží	měrný tepelný tok $q_{z,A} \text{ [W/m}^2\text{]}$
suché nesoudržné půdy	10 – 15
vlhké soudržné půdy	15 – 20
velmi vlhké, soudržné půdy	20 – 25
půdy pod hladinou spodní vody nebo značně vlhké	25 – 30
půdy s pohybem spodní vody	35 – 40



30/64

Měrné tepelné toky EN 15 450 (VDI 4650)

Kvalita zemského masivu	Měrný odběrový tepelný tok	
	dobu provozu 1 800 h za rok	dobu provozu 2 400 h za rok
suchá, nesoudržná půda	10 W/m ²	8 W/m ²
vlhká, soudržná půda	20 W/m ² až 30 W/m ²	16 W/m ² až 24 W/m ²
vodou nasycený písek nebo štěrky	40 W/m ²	32 W/m ²

hodnota odebraného tepla by měla ležet mezi 50 až 70 kWh/m²

- pro jmenovité podmínky se stanoví výkon a COP (B0/W35)

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_k \left(1 - \frac{1}{COP} \right)$$

$$S = \frac{\dot{Q}_v}{q_z} \quad [\text{m}^2]$$

q_z se uvažuje podle uvažované doby provozu TČ (1800, 2400 h)



31/64

Alternativní návrh

- stanovení roční dodávky tepla Q_{del} do budovy TČ, roční COP_{rok}
- stanovení roční odebrané energie ze zemského masivu Q_v

$$Q_v = Q_{del} \left(1 - \frac{1}{COP_{rok}} \right)$$

- určení doby provozu TČ $\Delta \tau_{TC}$: 1800 (vytápění), 2400 (vytápění + teplá voda)
- stanovení středního chladicího výkonu (výparník)

$$\dot{Q}_v = \frac{Q_v}{\Delta \tau_{TC}} \longrightarrow \text{návrhový výkon pro určení plochy výměníku}$$



32/64

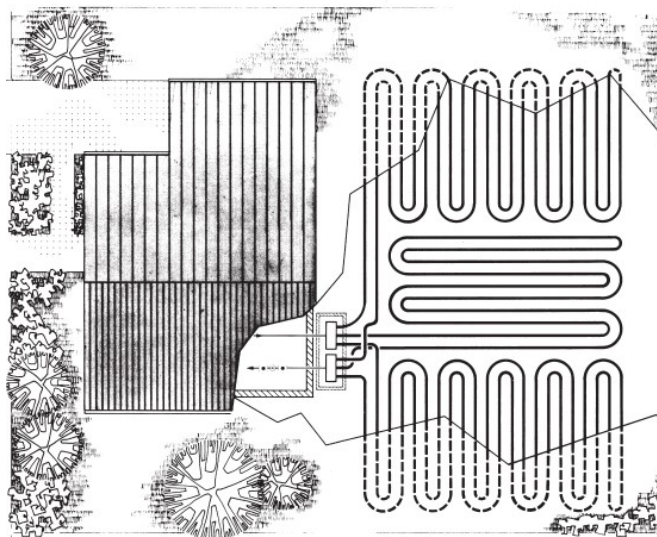
Provedení zemních kolektorů

- potrubí do rýhy výkopu, ne hlouběji než 2 m
- délka okruhů by neměla přesáhnout 100 m (DN25), resp. 400 m (DN40) z ohledem na tlakové ztráty
- rozdělení okruhů do více větví
- smyčka bez spojek, eliminace netěsností
- meandr se střídání trubek: přívod / vratná
- plocha nad kolektorem – propustná pro srážky (vyhnout se asfaltovým nebo betonovým plochám) – regenerace
- vyhnout se kořenovým systémům
- dokumentace polohy potrubí



33/64

Provedení zemních kolektorů



34/64

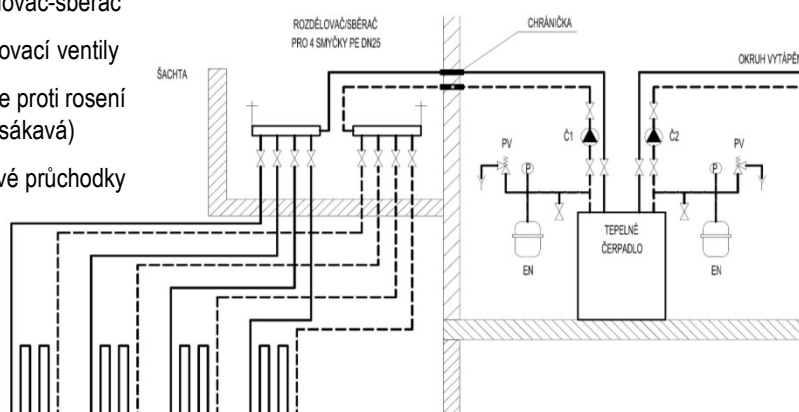
Zapojení zemních kolektorů

rozdělovač-sběrač

vyvažovací ventily

izolace proti rosení
(nenasákavá)

stěnové průchodky



nemrznoucí směs ($t_t < -10^\circ\text{C}$):

propylenglykol-voda (30 / 70 %): **viskozita (!)**
líh-voda (40 / 60 %)



35/64

Připojení zemních kolektorů

- rozvod kolektoru se spádem od rozdělovače – snadné **odvzdušnění**
- rovnoměrné délky větví – hydraulické **zaregulování**
- **prostupy** do budovy v nenasákavé izolaci a chrániče
- bezpečnostní **odstupy** od konstrukcí budovy (rozvody pod bodem mrazu)
- pozornost při **křížení** rozvodů kolektoru s jinými rozvody (studená voda)
- rozvody v izolaci – **kondenzace a namrzání**



36/64

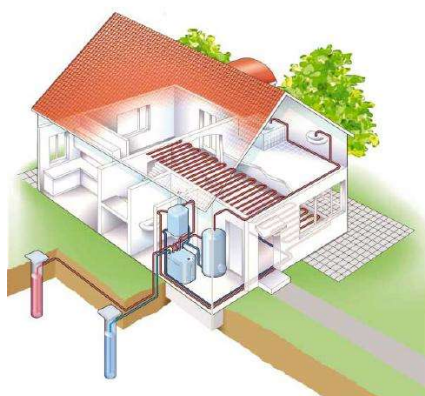
Voda

- **teplá odpadní voda**: čističky odpadních vod, chladičí procesy,
 $t = 20$ až 25 °C
- **povrchová voda**: říční toky, rybníky, jezera, nádrže
 $t = 0$ až 18 °C , teplota ovlivněna venkovními klimatickými podmínkami
- **podpovrchová voda**: studny, zvodněné vrty
 $t = 7$ až 10 °C , tzv. spodní voda, celoročně rovnoměrná teplota
- **hlubinná voda**: vrty,
 $t = 10$ až 13 °C , teplotní gradient 3 K/100 m
 $t > 25\text{ °C}$, geotermální voda



Spodní voda

37/64

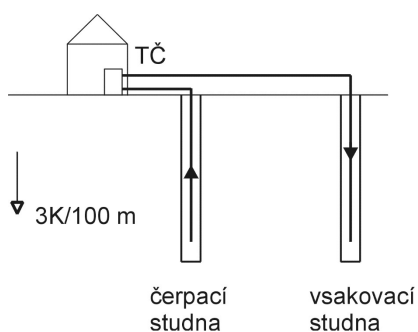


- chemická kvalita vody
- vydatnost čerpací studny
- stálá teplota vody =
průměrná roční teplota vzduchu
- podléhá povolení
vodohospodářského úřadu



Spodní voda

38/64



čerpací studna (max. 15 m
hluboká: příkon čerpadla)

vsakovací studna (15 m od sebe)
ochlazení cca o 3 až 4 K

pro $Q_v = 1 \text{ kW} \sim 200 \text{ l/h}$ (0,06 kg/s)

pro $Q_k = 1 \text{ kW} \sim 150 \text{ l/h}$ (0,04 kg/s)

Potřebná vydatnost studny

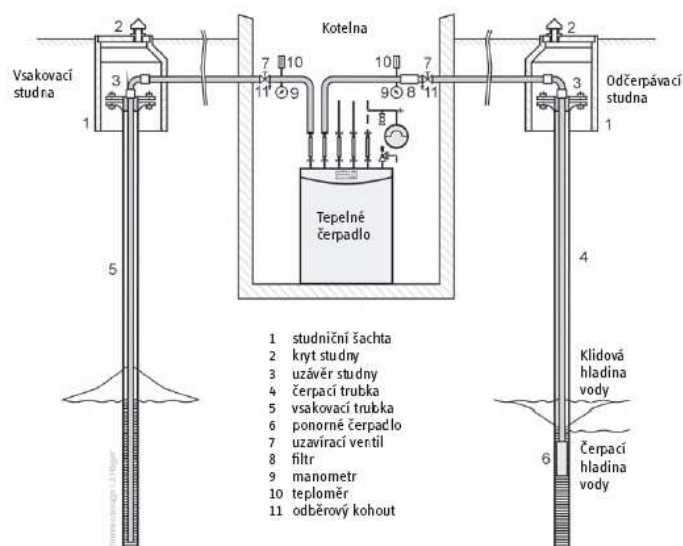
$$\dot{M}_v = \frac{\dot{Q}_v}{c_v (t_{v1} - t_{v2})} \quad [\text{kg/s}]$$

Nutné podložit dlouhodobou čerpací zkouškou: 30 dní, **a déle !**



Čerpací a vsakovací studna

39/64



Kvalita spodní vody

40/64

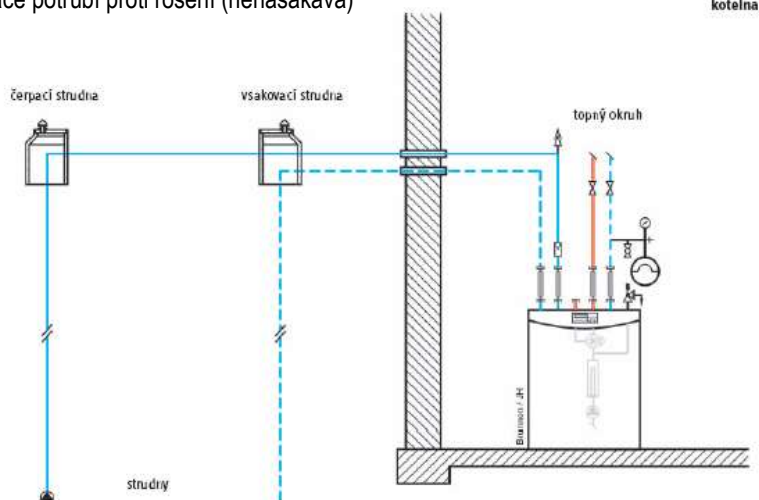
- **chemické složení vody**
 - koroze (nerezové oceli)
 - usazeniny (zanášení výměníku – výparník)
 - použití filtrů s automatickým čištěním
- **chemická analýza**
 - chloridy < 500 mg/l, volné chloridy < 0,5 mg/l
 - železo, mangan < 1,0 mg/l
 - kyslík, sírany



Spodní voda – zapojení

41/64

izolace potrubí proti rosení (nenasákavá)



Geotermální voda

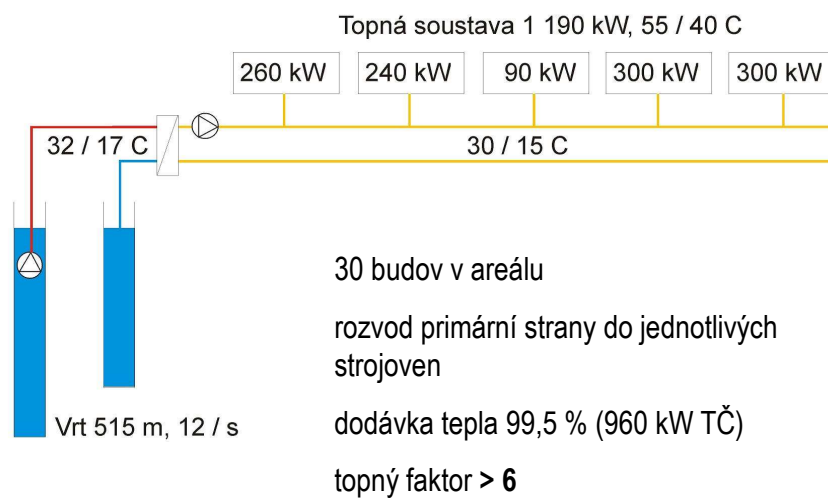
42/64

- Karlovy Vary: 72 °C; Teplice 42°C; Jáchymov, Janské lázně, ... lázeňské oblasti – velmi problematické využití
- důlní vody – čerpané z uhelných či rudných dolů, využití geotermického stupně
- teplé vody: přímé využití rekuperací tepla
- značná mineralizace – předřazené čistitelné výměníky



43/64

Geotermální voda - ZOO Ústí nad Labem



zdroj: IVT



44/64

Geotermální voda - ZOO Ústí nad Labem

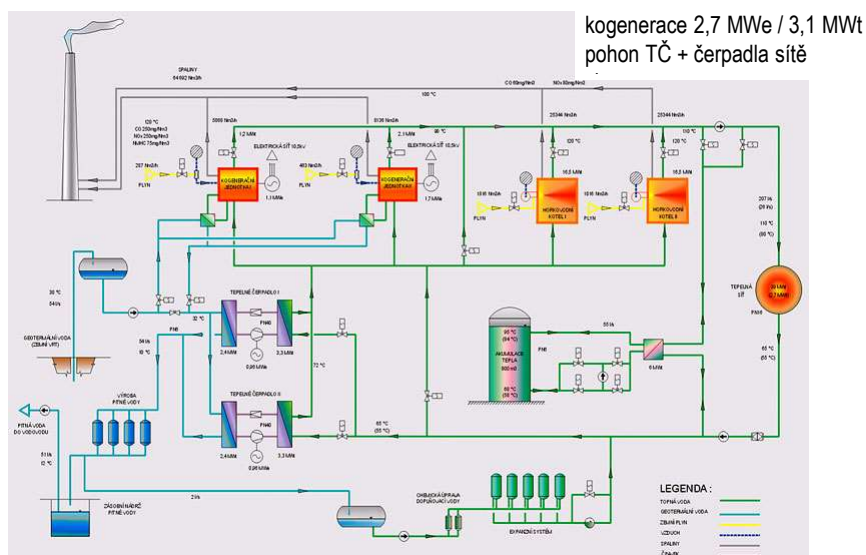


zdroj: IVT



Geotermální voda - CZT Děčín

45/64



Povrchová voda

46/64

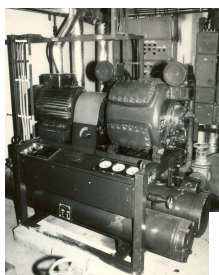
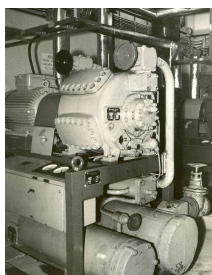


- jezera, rybníky, řeky = akumulace sluneční energie
- topný výkon závislý na vnějších klimatických podmínkách
- nízká teplota v otopném období
- 20 až 30 W/m při DN40
- omezené instalace - přístupnost
- uložení v dostatečné hloubce na dně jezera, řeky, náhonu
- kotvení (tvorba ledu – vztlak)



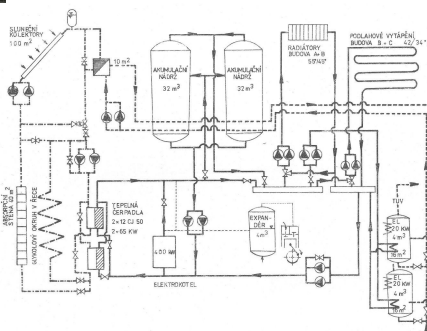
Herbertov – výukové a rekreační středisko

47/64



chladiče vody 12 CJ 50 a CJ 70 (ČKD
Choceň, 1982)

výměník - ocelový chladič z lihovaru

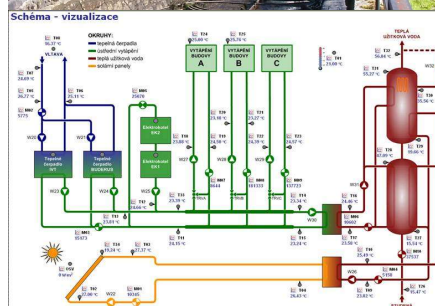


Herbertov – výukové a rekreační středisko

48/64



TČ: 68 + 50 kW
výměník: 1600 m HDPE





49/64

Odpadní voda

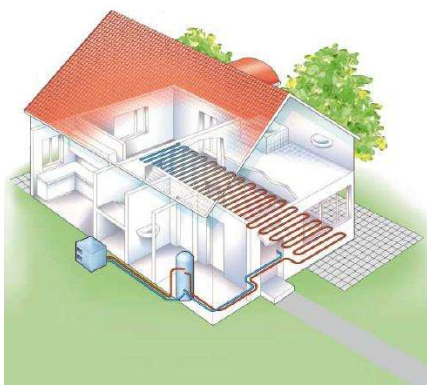
- z průmyslu, technologických zařízení, obytných budov, ...
- nestabilní dodávka – akumulace odpadní vody v jímkách
- využitelný výkon z ochlazení
 - trvale zajištěného průtoku
 - akumulovaného množství

$$\dot{Q}_v = \dot{V} \rho c (t_{v1} - t_{v2}) = \frac{V}{\tau} \rho c (t_{v1} - t_{v2})$$



50/64

Venkovní vzduch

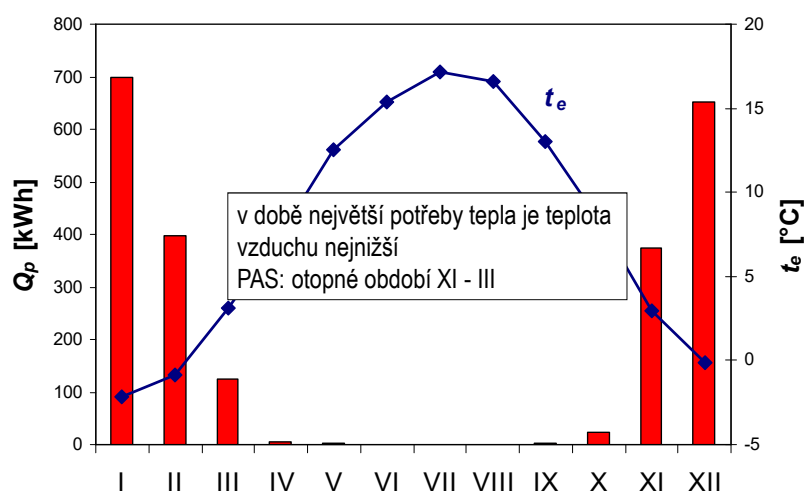


- využití tepla okolního vzduchu
- topný výkon závislý na vnějších **klimatických podmínkách**
 - zima:** topné faktory < 3
 - léto:** topné faktory > 4
- zásadně **bivalentní** provoz
- odvod **kondenzátu**
- **hlučnost** (velké průtoky)



Venkovní vzduch

51/64



Venkovní vzduch – entalpie, výkon

52/64

$$h = c_a \cdot t + (l_0 + c_D \cdot t) \cdot x = 1010 \cdot t + (2,5 \cdot 10^6 + 1840 \cdot t) \cdot x$$

c_a měrná tepelná kapacita suchého vzduchu, v J/(kg.K);

t teplota vzduchu, v °C;

l_0 výparné teplo vody, v J/kg;

c_D měrná tepelná kapacita vodní páry, v J/(kg.K);

x měrná vlhkost vzduchu, v kgvv/kgsv.

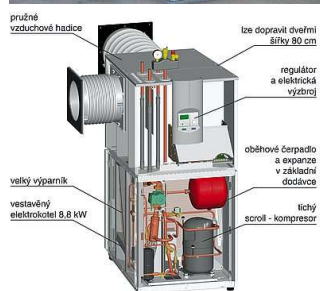
$$\dot{V}_v = \frac{\dot{Q}_v}{\rho \cdot (h_{v1} - h_{v2})}$$



Provedení

53/64

vnitřní provedení

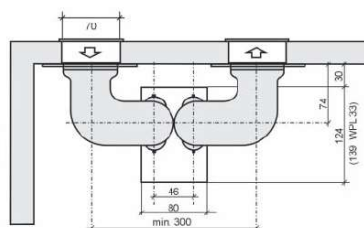
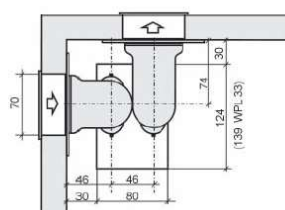
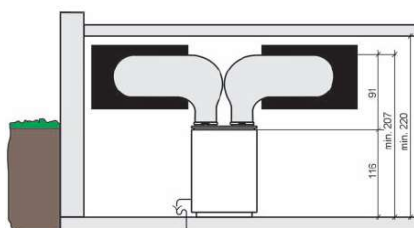
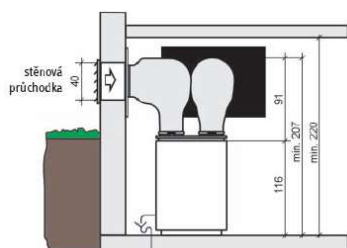


venkovní provedení



Vnitřní provedení

54/64





55/64

Vnitřní provedení

- **dostatečná vzájemná vzdálenost** otvorů pro nasávání venkovního vzduchu a výfuk ochlazeného vzduchu
... umístit ve směru převládajících větrů, přes roh, oddělit přepážkou
- strojovna pod úrovní terénu – anglické dvorky, VZT šachty
- umístování spolu se **spalovacími zařízeními** – odsávání vzduchu netěsnými vzduchovody – problémy s tahem
... větrací mřížka do venkovního prostoru
- dimenzování vzduchovodů a mřížek (zúžení průřezu) na $< 3 \text{ m/s}$
- **odvod kondenzátu** (sklepy – přečerpávání do kanalizace)



56/64

Venkovní provedení

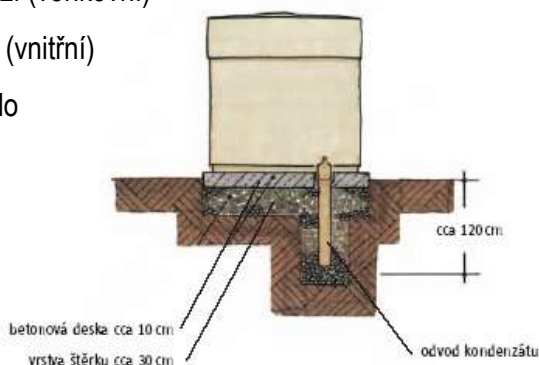




Kondenzát

57/64

- **kondenzace vlhkosti** obsažené ve vzduchu na výparníku TČ
- **odvod kondenzátu**
 - zasakování do podloží (venkovní)
 - odvod do kanalizace (vnitřní)
 - přečerpávací čerpadlo



Námraza

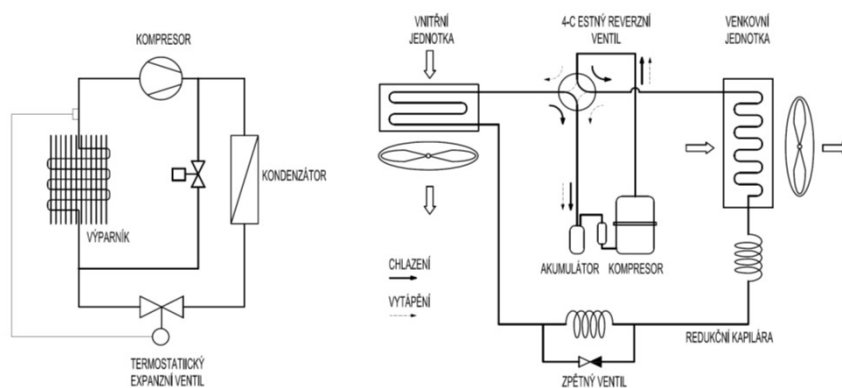
58/64

- **namrzání** plochy výparníku
 - snižování prostupu tepla
 - snižování vypařovacího tlaku a teploty, výkonu, topného faktoru
 - zmenšení průřezu výměníku, zvýšení tlakové ztráty, zvýšení příkonu ventilátoru, **omezení funkce TČ**
- **odtávání**
 - vnitřním chodem TČ (nejčastěji, nejúspornější): horkými parami, reverzní chod
 - vnějším ohřevem: elektrické topné tyče mezi výparníkovým potrubím
 - vnějším ohřevem: vzduchem nad +3 °C, TČ vypne, ventilátor běží



Vnitřní odmrazování

59/64



přepouštění horkých
par chladiva (EMV)

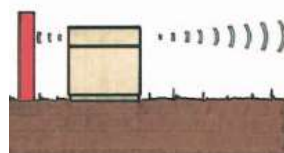
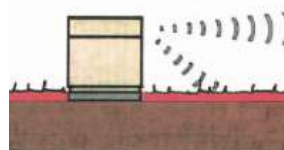
reverzní chod
čtyřcestný ventil



Ochrana proti hluku

60/64

- zohlednění hlučnosti zařízení (ventilátor, velké průtoky na výparníku)
 - trávniky, výsadba rostlin
 - **NE odrazové plochy – zvýšení hluku**
 - hlukové bariéry, přepážky (stěny, ohrady, oplocení)
 - ochrana vzdáleností
 - tlumicí základ pod tepelné čerpadlo
 - tlumiče na vedení (voda, vzduch)
 - návrh vzduchovodů, mřížek $< 3 \text{ m/s}$





Odpadní vzduch

61/64



- čerpání tepla z odpadního vzduchu z:
technologických procesů
větrání RD
20-25 °C
- ohřev čerstvého vzduchu
- rekuperace tepla
- ohřev vody



Odpadní vzduch – návrh průtoku

62/64

Objemový průtok vzduchu na
výparníku

$$\dot{V}_v = \frac{\dot{Q}_v}{\rho \cdot (h_{v1} - h_{v2})}$$

Příklad: TČ s výkonem $Q_k = 2 \text{ kW}$ pro RD běžné velikosti 150 m^2

výparník: $t_v = 5 \text{ °C}$, kondenzátor $t_k = 55 \text{ °C}$

odpadní vzduch: $t_1 = 24 \text{ °C}$, $\varphi_1 = 60 \%$, $x_1 = 11,2 \text{ g/kg s.v.}$

ochlazení v TČ: $t_2 = 12 \text{ °C}$, $\varphi_2 = 85 \%$, $x_2 = 7,3 \text{ g/kg s.v.}$

potřeba odpadního vzduchu: **230 m³/h**

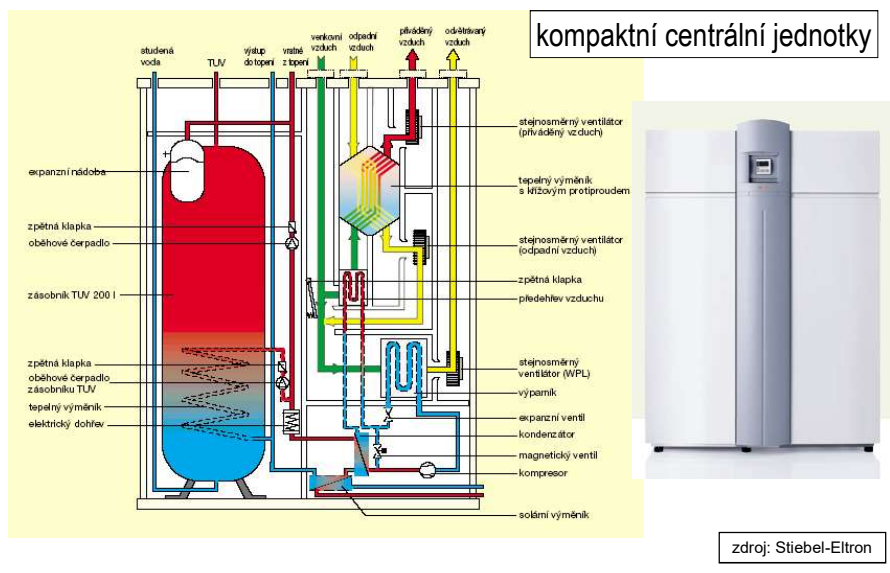
běžné nucené větrání v RD: **100 m³/h !**

problematika nízké vnitřní vlhkosti v zimním období **< 30 %**



Zdroje tepla – tepelné čerpadlo

63/64



Sluneční záření

64/64

- energetické stěny, střechy
- využití slunečního záření, energie vzduchu, kondenzace vlhkosti

