



Tepelná čerpadla + solární soustavy

= konkurence nebo spolupráce ?



Tomáš Matuška, Bořivoj Šourek

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze



Zdroje tepla pro tepelná čerpadla

- **energie pocházející ze slunečního záření = energie okolního prostředí**

sluneční záření: až 1000 W/m^2

vzduch

srážky, povrchová voda, studniční voda

země: tok z povrchu 10 až 40 W/m^2 (v nejchladnějších dnech)

tok ze zemské kůry $0,04$ až $0,06 \text{ W/m}^2$

- **geotermální voda** v několika oblastech (KV, Teplice, jižní Morava)
- **odpadní energie**

technologické procesy, prádelny, mycí linky, větrání budov



Tepelné čerpadlo + solární soustava

paralelní (oddělené) řešení

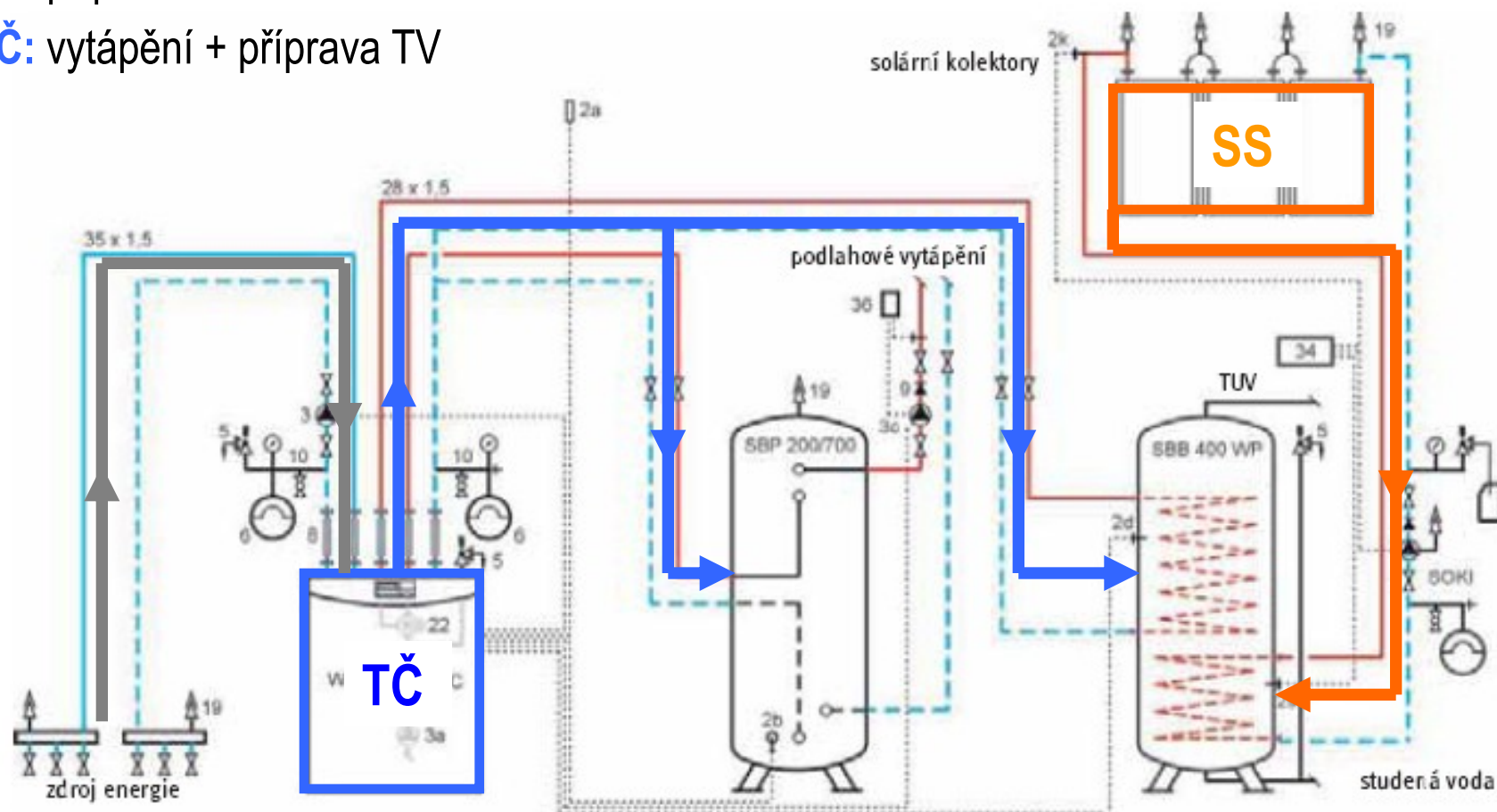
- jedna aplikace, jeden regulátor, jeden výrobce, jeden zásobník tepla
- **dva vzájemně nezávislé zdroje tepla**
- solární soustava prioritní pro dodávku tepla
 - menší spotřeba el. energie
- tepelné čerpadlo
 - ve funkci záložního zdroje tepla (země-voda, voda-voda)
 - ve funkci dalšího zdroje, záložním zdrojem je elektrovložka



Tepelné čerpadlo + solární soustava

SS: příprava TV

TČ: vytápění + příprava TV



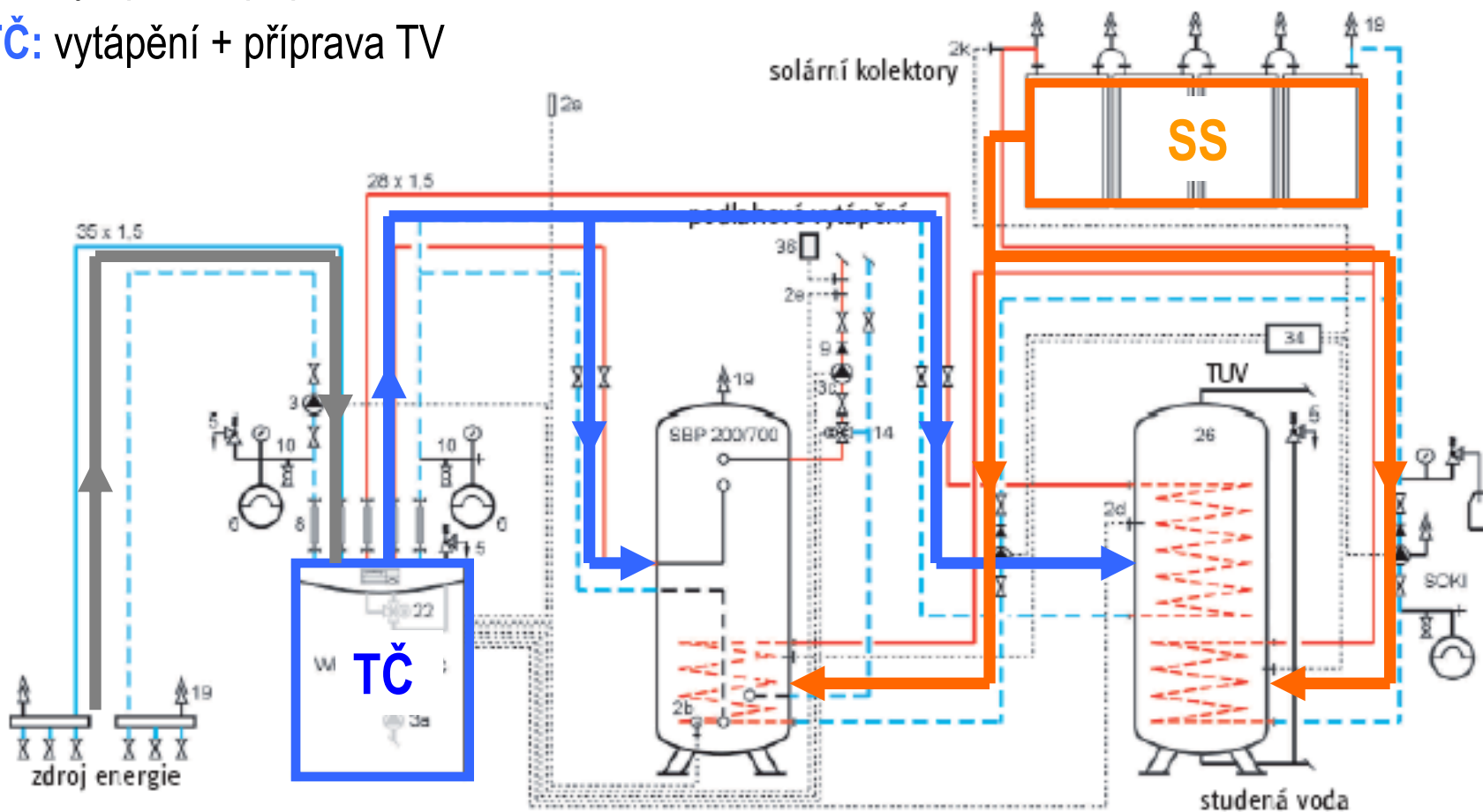
NPZT: 0 °C



Tepelné čerpadlo + solární soustava

SS: vytápění + příprava TV

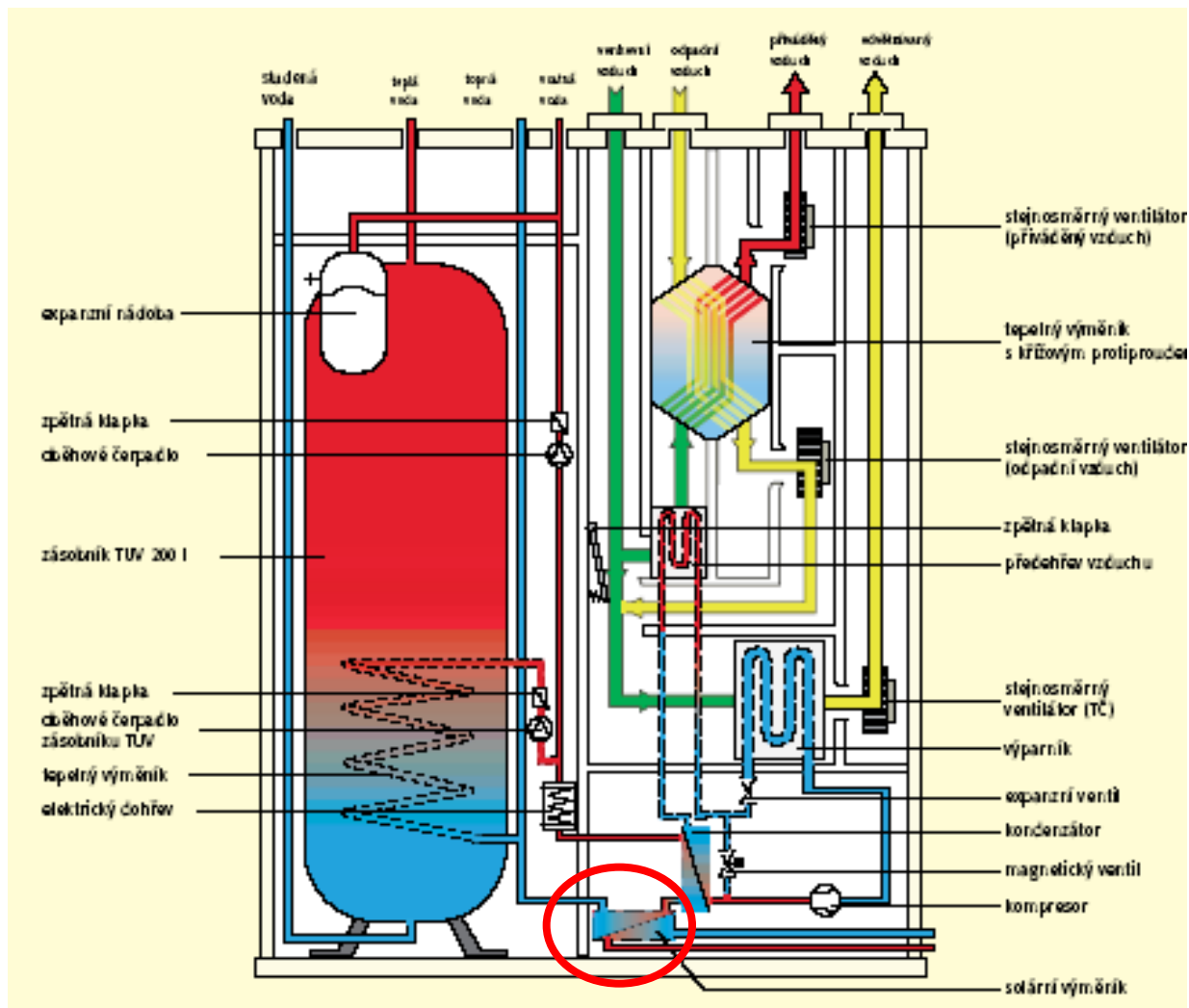
TČ: vytápění + příprava TV



NPZT: 0 °C



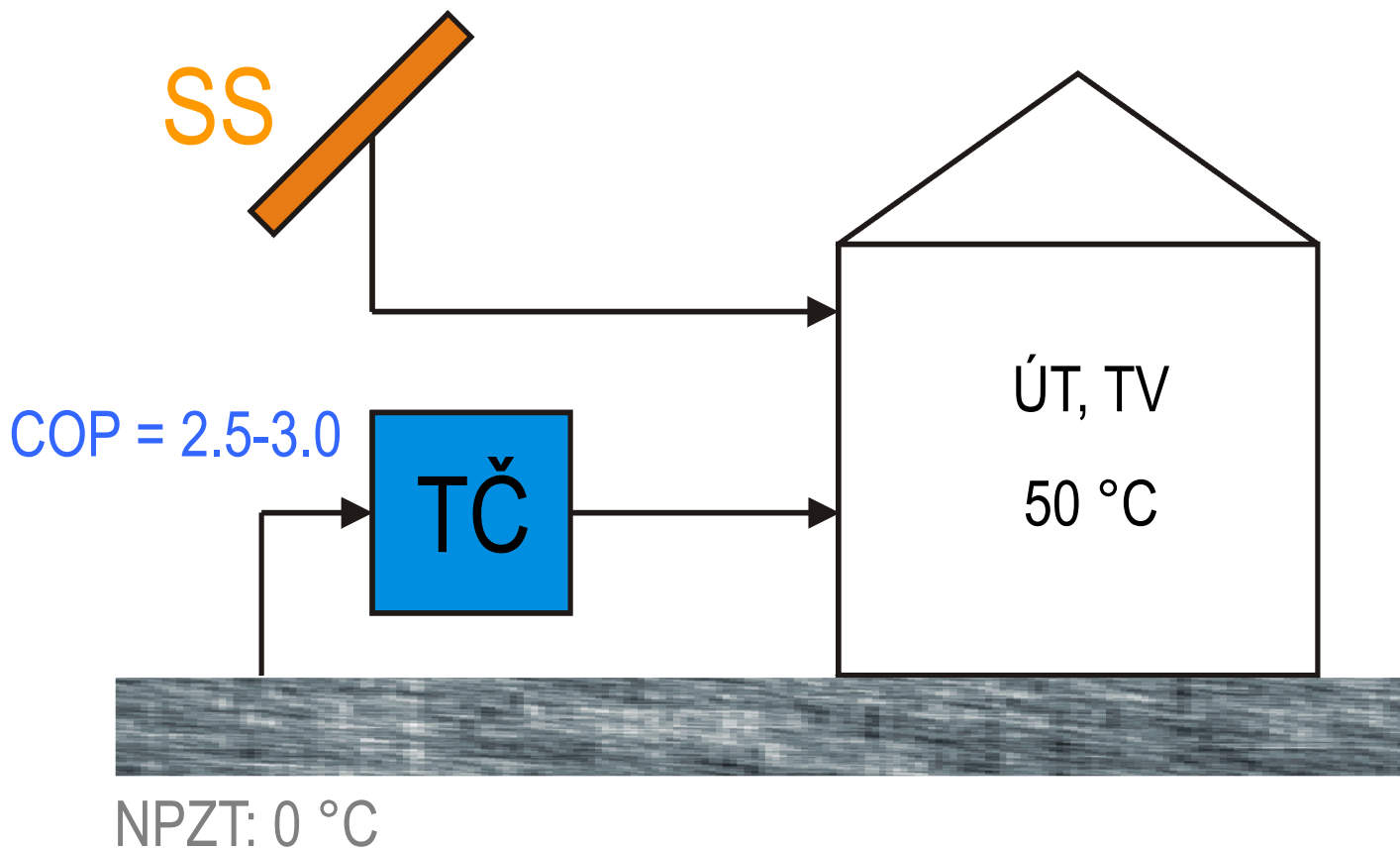
Kompaktní jednotky SS-TČ





Tepelné čerpadlo + solární soustava

TV + UT $\longleftrightarrow$ TV
300 až 400 kWh/m²





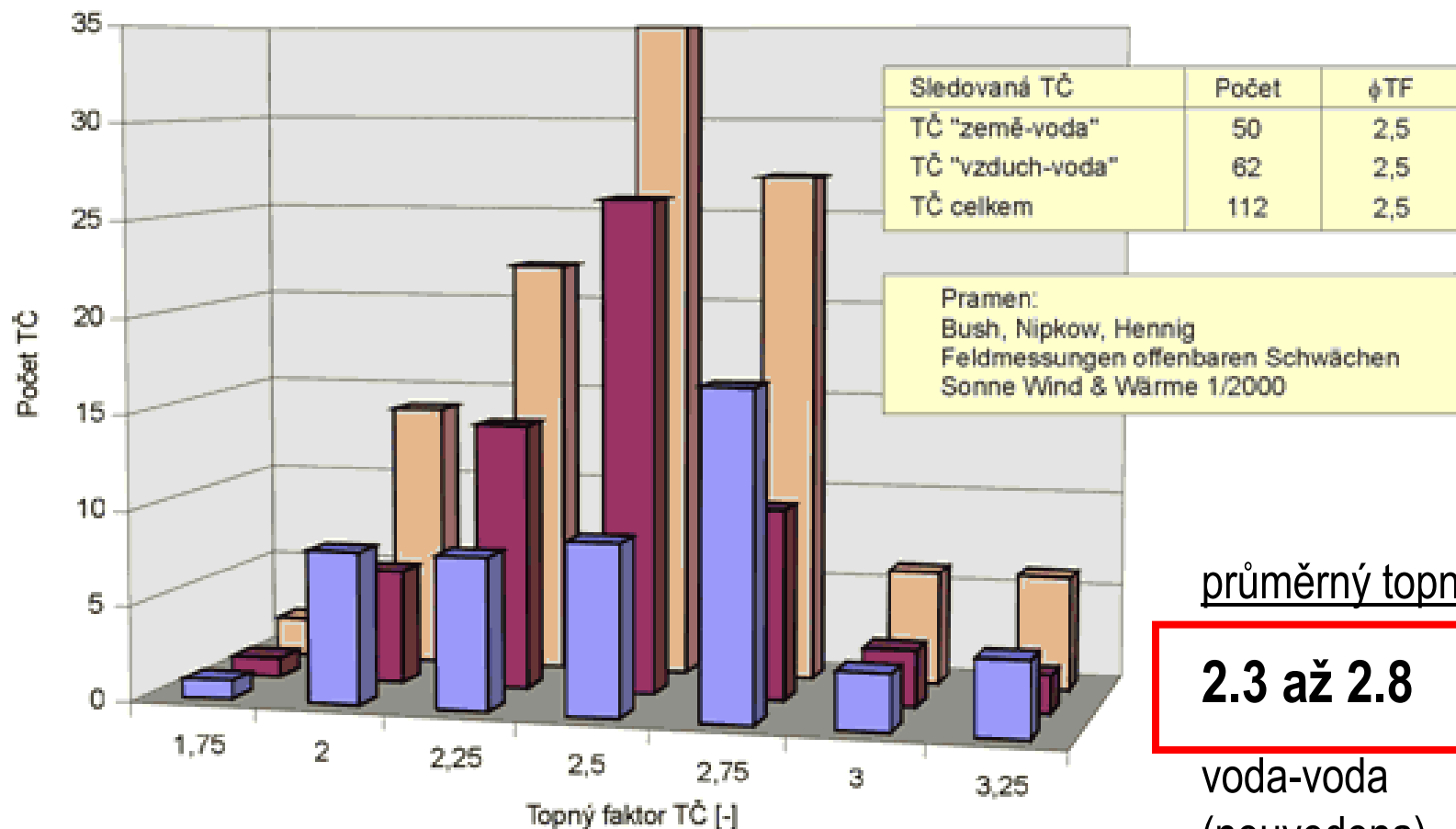
Tepelné čerpadlo + solární soustava

paralelní (oddělené) řešení

- (-) navzájem energeticky nespolupracují – kombinací nezvyšují svou účinnost (naopak)
- (-) navzájem si „kradou“ úspory (**konkurenční provoz**)
 - např. vzduch-voda x solár: oba maxima výkonu a účinnosti v létě
oba minima výkonu a účinnosti v zimě
- (-) kombinace dvou úsporných opatření pro jeden účel
- (-) neekonomická varianta (viz rozbor Klazar: tzb-info)
- (-) zhoršení návratnosti obou opatření
- (+) dotační bonus za kombinaci opatření v programu **Zelená úsporám**



Reálný provoz tepelných čerpadel



průměrný topný faktor:

2.3 až 2.8

voda-voda
(neuvedena)

až **3.3** (minimum
instalací)

	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25
■ TČ "země-voda"	1	8	8	9	17	3	4
■ TČ "vzduch-voda"	1	6	14	26	10	3	2
■ Všechna sledovaná TČ	2	14	22	35	27	6	6



Minimální provozní topný faktor TČ

minimální topný faktor tepelného čerpadla s el. pohonem pro nahrazení primárního paliva

- **konvenční zdroj tepla:** přeměna primárního paliva na teplo s účinností η_k
(např. plynový kotel)

$$Q_{p1} = \frac{Q_d}{\eta_k}$$

- **tepelné čerpadlo:** přeměna primárního paliva na elektrickou energii s účinností η_e
– přeměna elektrické energie (mechanická práce) na teplo z tepelného čerpadla
(využití **obnovitelné** části z prostředí) s topný faktorem ε

$$Q_{p2} = \frac{P_e}{\eta_e} = \frac{Q_d}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\eta_e}$$



Minimální provozní topný faktor TČ

- minimální topný faktor tepelného čerpadla pro nahrazení primárního paliva (včetně ztrát akumulace)

$$Q_{p2} < Q_{p1}$$

$$\varepsilon > \frac{\eta_k}{\eta_e}$$

- **plynový kotel** $\eta_k = 0.92$, účinnost elektrárny (0.35) + ztráty v rozvodech $\eta_e = 0.30$
minimální průměrný topný faktor $\varepsilon > 3.1$
- **plynový kondenzační kotel** $\eta_k = 1.04$, účinnost produkce el. energie $\eta_e = 0.30$
minimální průměrný topný faktor $\varepsilon > 3.5$

uspoří tepelná čerpadla primární energii konvenčních paliv ?

jsou ekologickými zdroji tepla ? ... jak situaci zlepšit ?



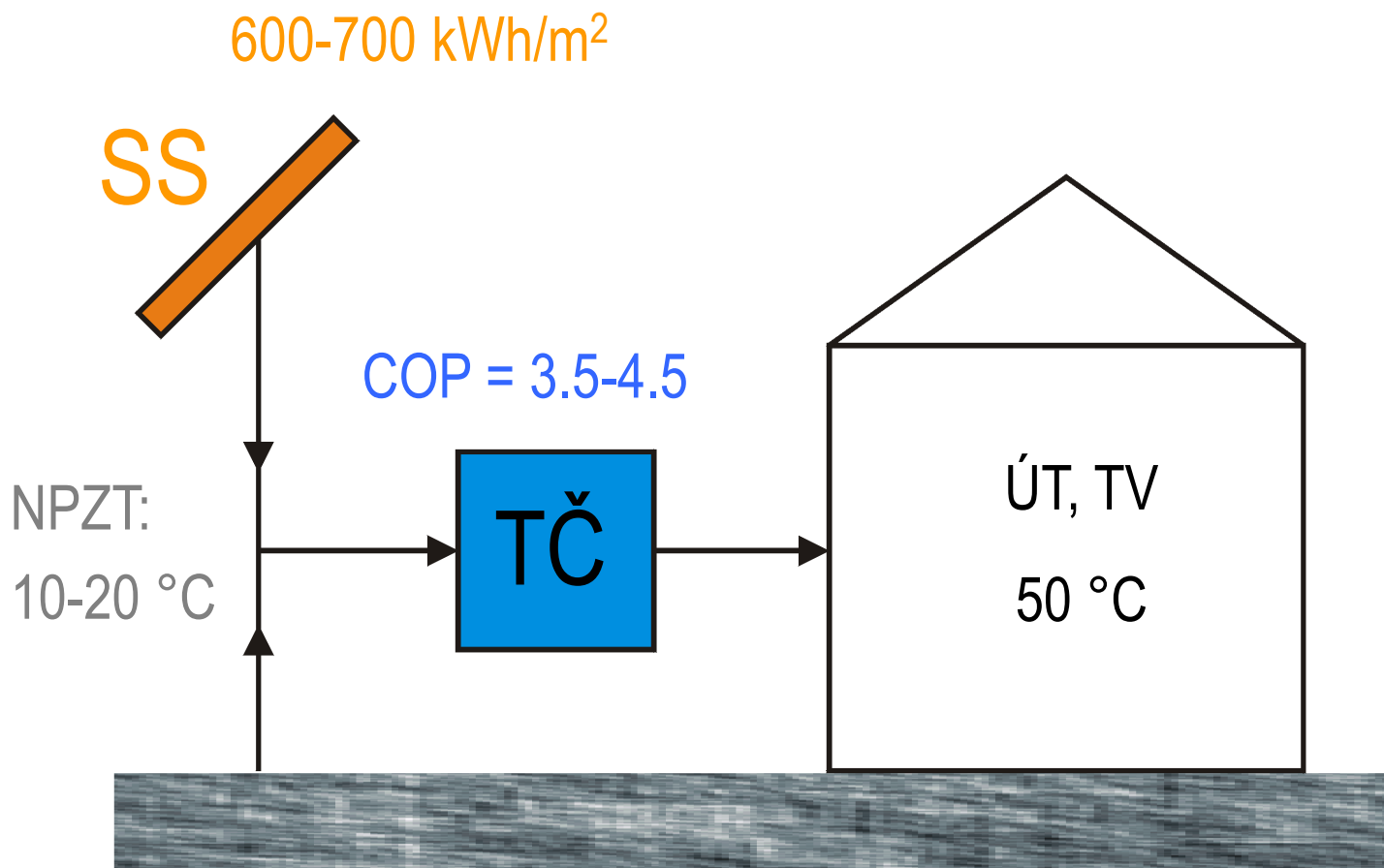
Tepelné čerpadlo + solární soustava

sériové (synergetické) řešení

- jedna aplikace, jeden regulátor, jeden výrobce, jeden zásobník tepla
- solární soustava jako primární okruh tepelného čerpadla = **solárně podpořené tepelné čerpadlo**, přečerpávání solárních zisků (a energie venkovního prostředí)
- dva vzájemně se ovlivňující zdroje tepla za účelem dosažení vyšší účinnosti
- **solární soustava:** provoz za nízkých teplot = vysoké zisky i při nízké úrovni slunečního záření
- **tepelné čerpadlo:** provoz za vyšších teplot primárního zdroje tepla = vyšší topný faktor

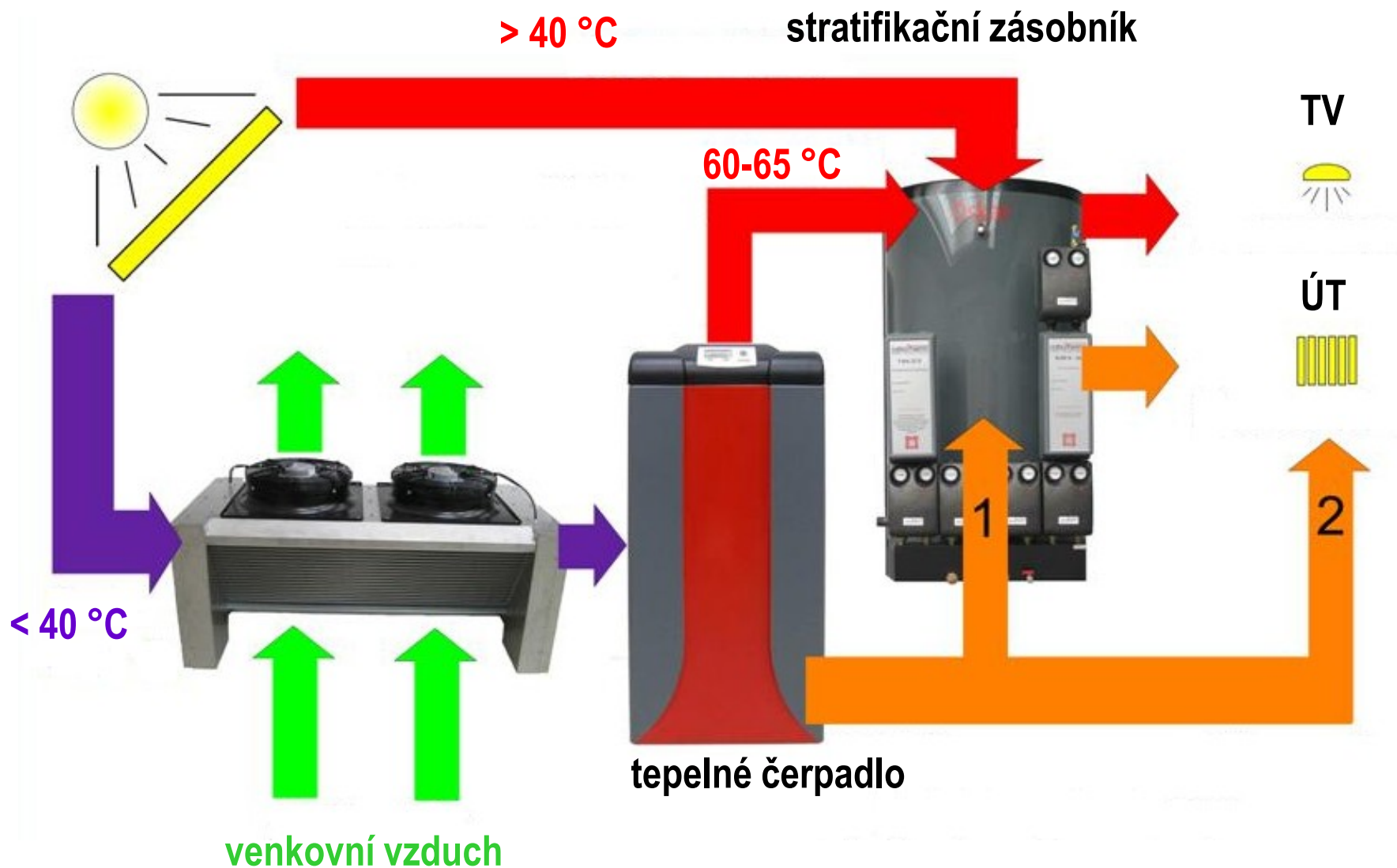


Tepelné čerpadlo + solární soustava





Tepelné čerpadlo s hybridním výparníkem





Tepelné čerpadlo s hybridním výparníkem

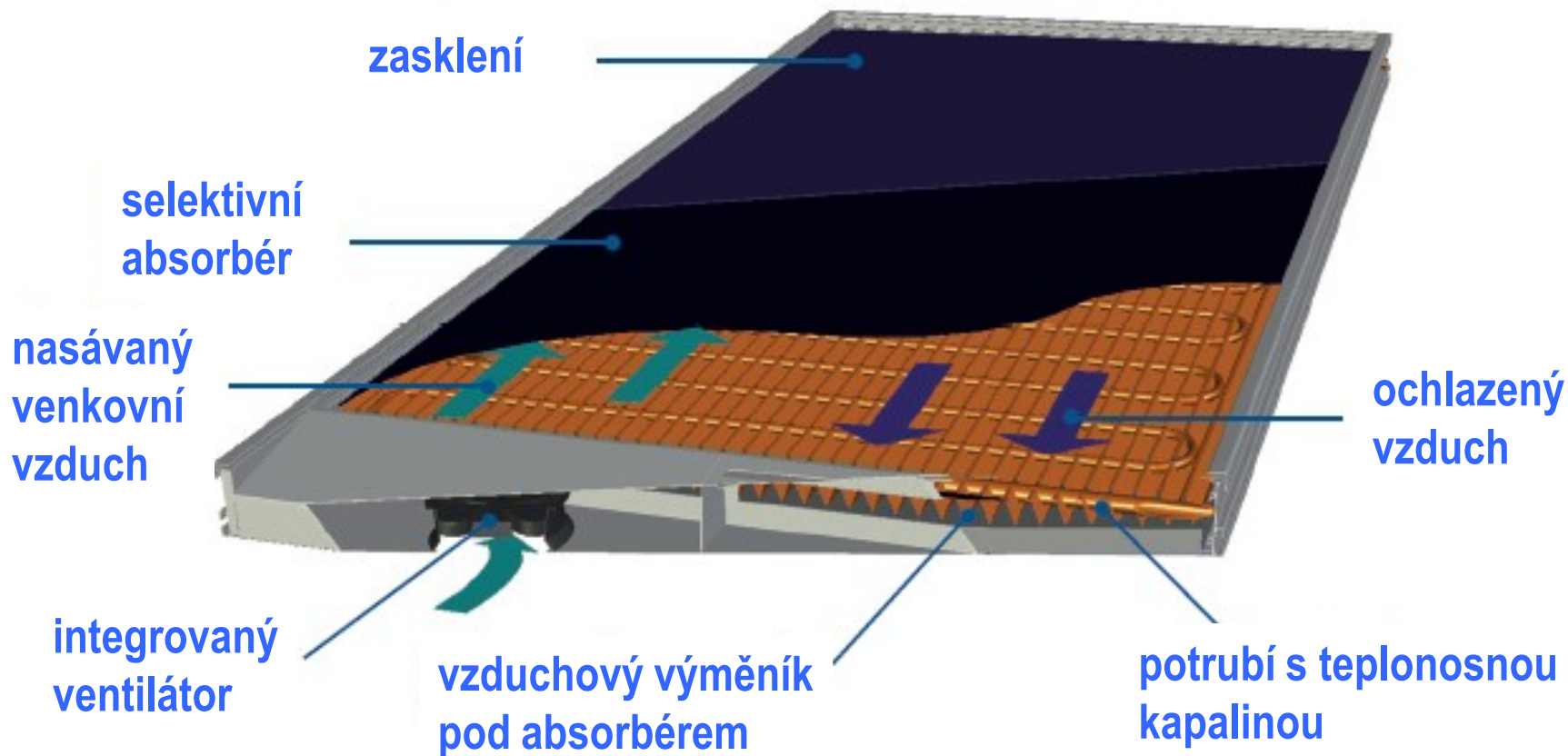
- **solární kapalinová soustava**
 - teploty $> 40\text{ }^{\circ}\text{C}$: přímé předání tepla do zásobníku pro přípravu TV a vytápění
 - teploty $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $40\text{ }^{\circ}\text{C}$: hybridní výparník
 - tepelné zisky solární soustavy $600\text{ kWh/m}^2\text{.rok}$

- **tepelné čerpadlo**
 - zvýšení vypařovací teploty
 - zvýšení topného faktoru



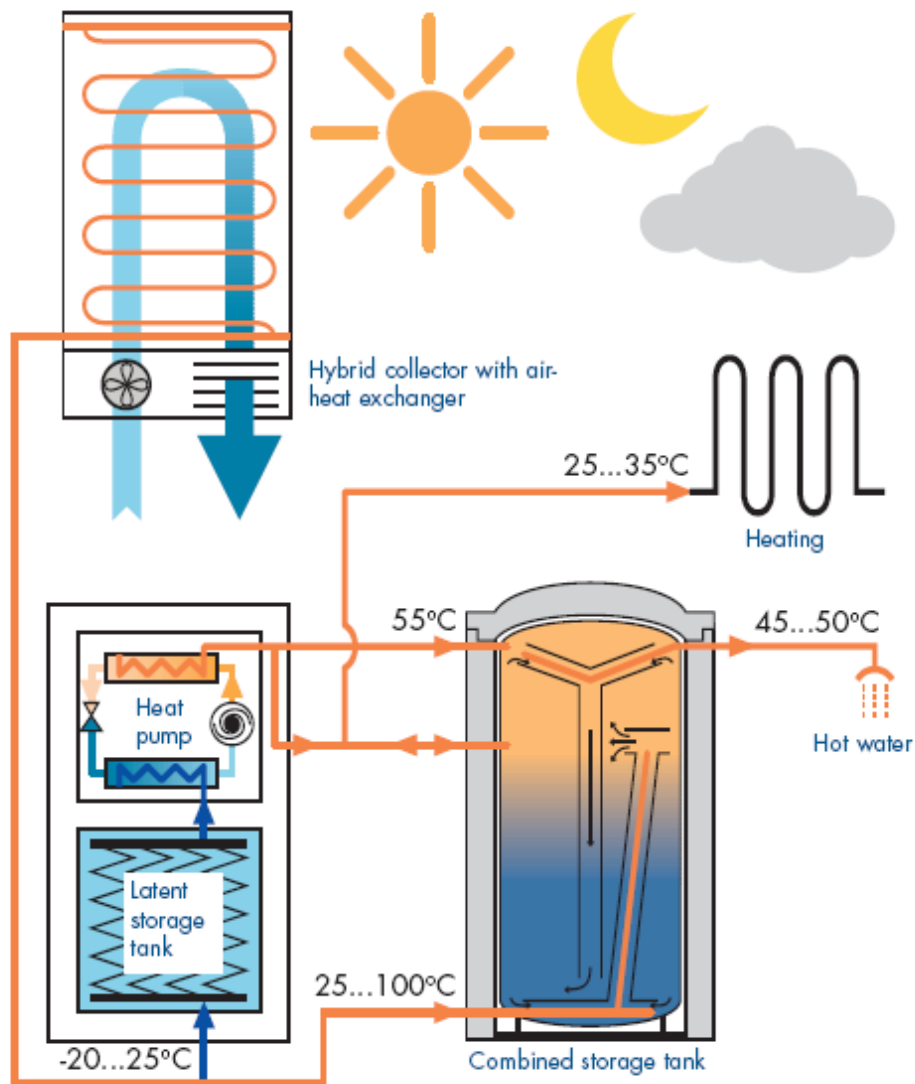
Hybridní tepelný kolektor vzduch-kapalina

sluneční energie + energie vnějšího prostředí (vzduch)





... v kombinaci s akumulací do ledu



- teplo z kolektoru podle teploty z kolektorů
 - do kombinovaného zásobníku pro přímé využití
 - do zásobníku skupenského tepla (led) pro nepřímé využití tepelným čerpadlem

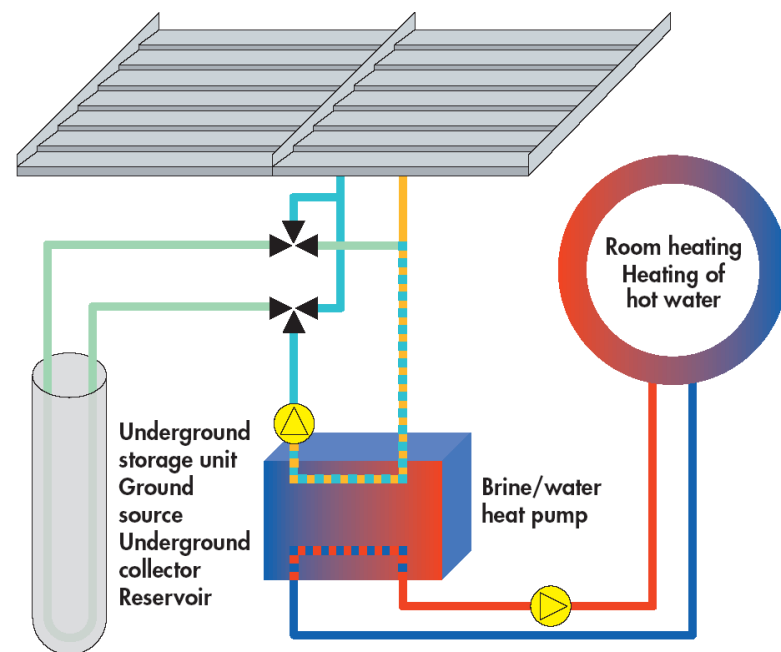
tepelné čerpadlo 5-7 kW

hybridní kolektor 20-25 m²



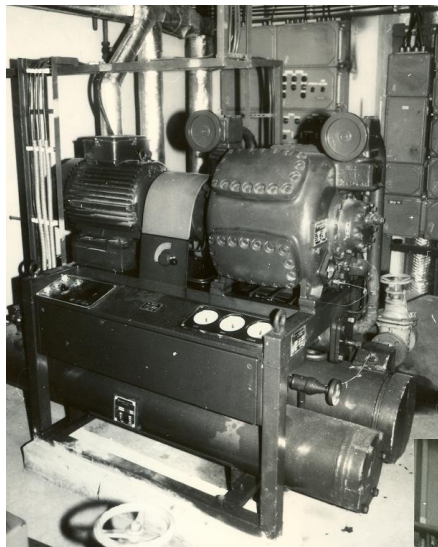
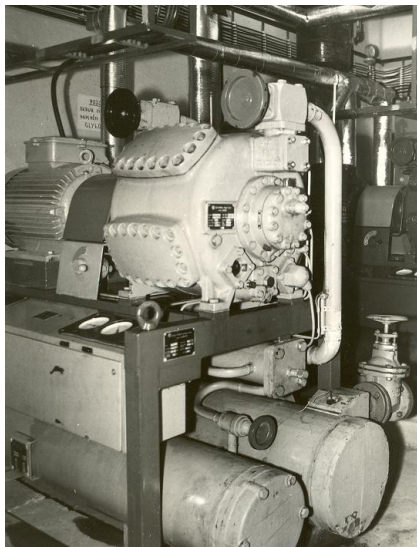
TČ + absorpční stěna/střecha

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





Herbertov – původní stav



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

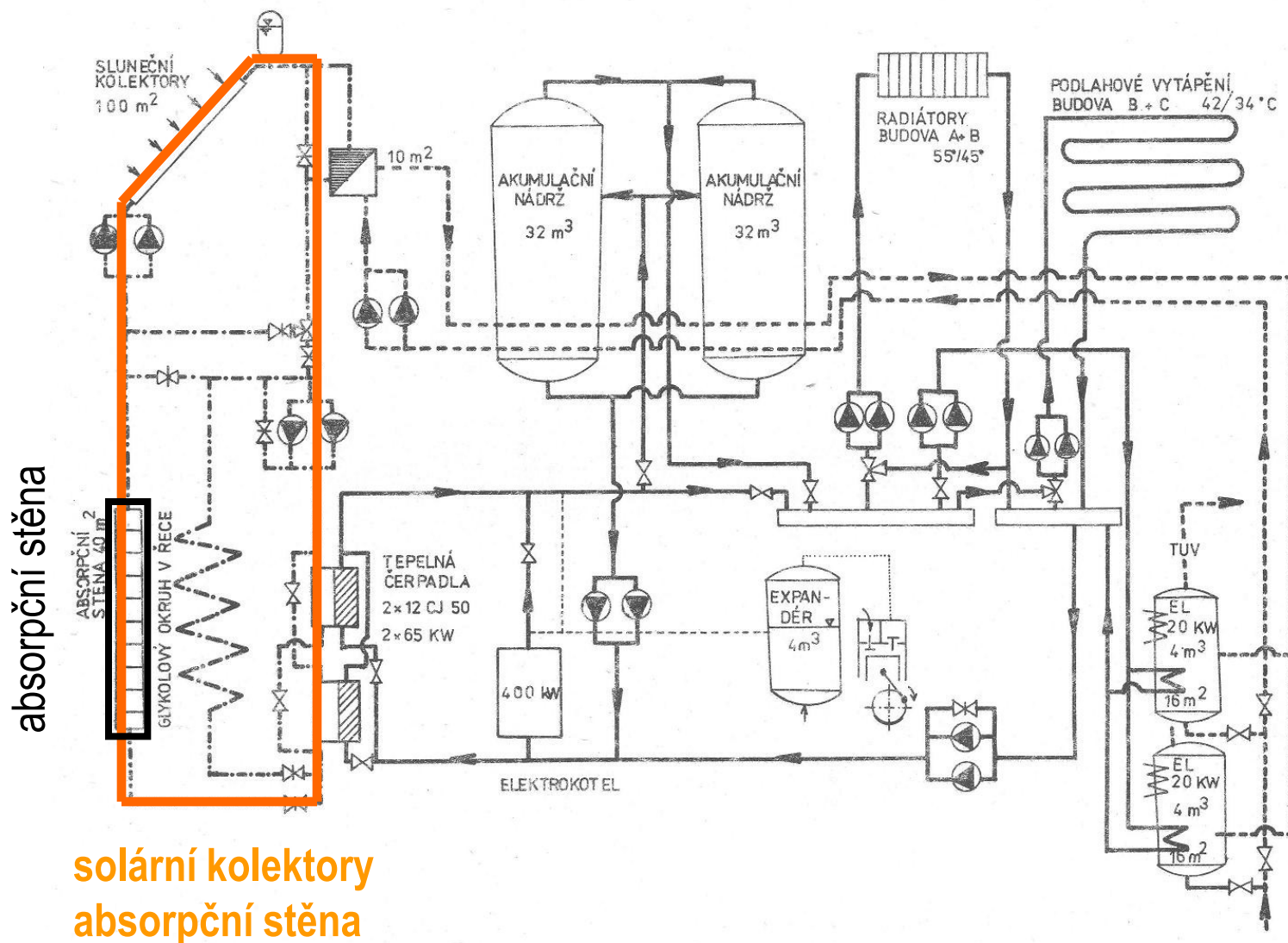
výměník v náhonu - ocelový chladič z
lihovaru

absorpční stěna 40 m²





Herbertov – schéma





Herbertov – současnost



TČ: 68 + 50 kW

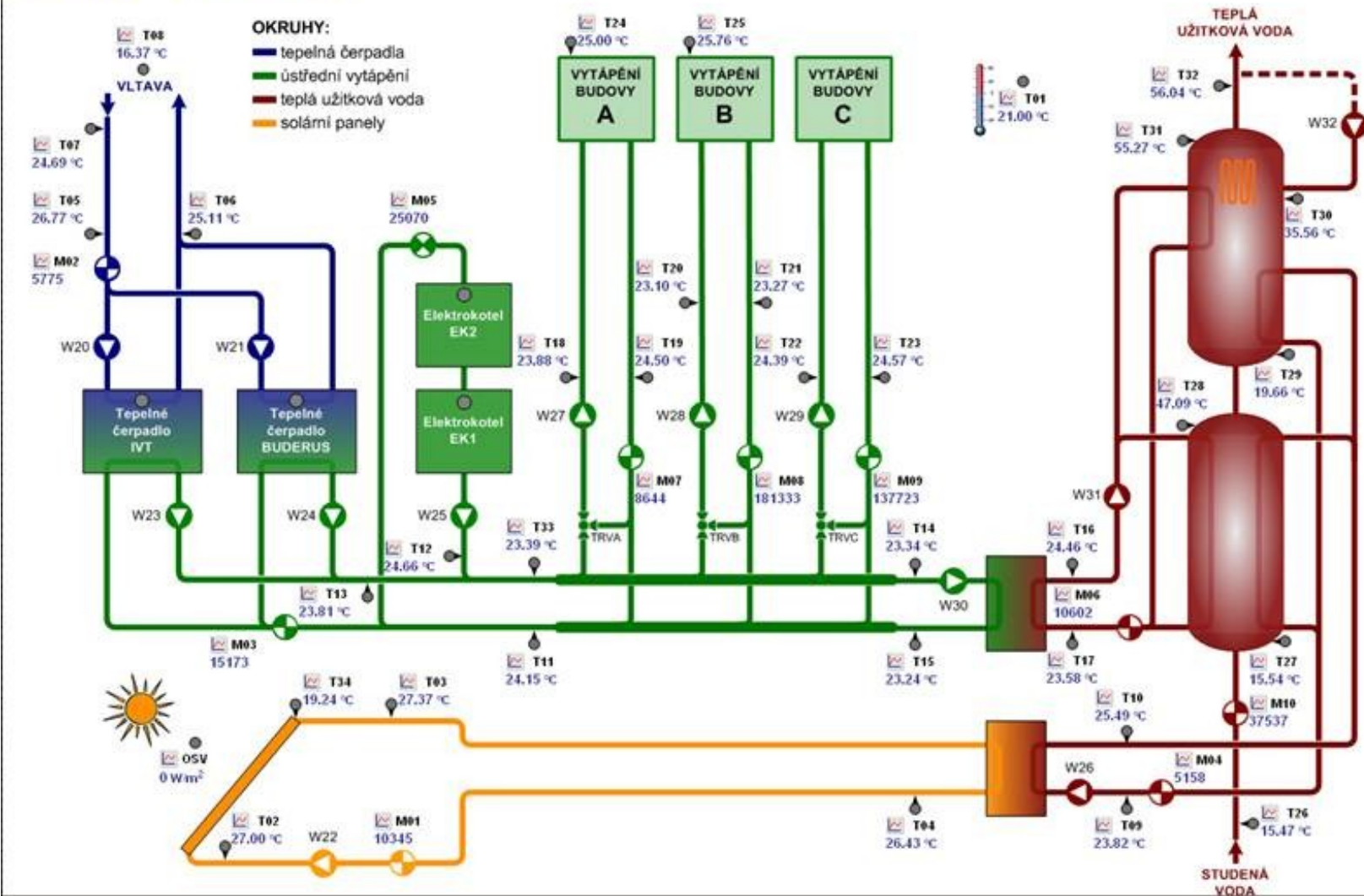
výměník: 1600 m HDPE





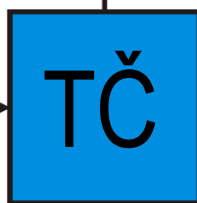
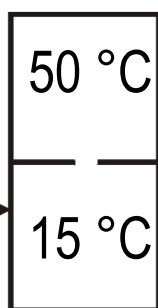
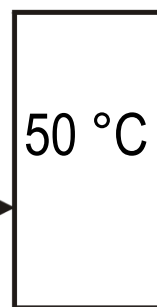
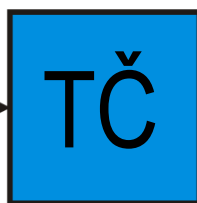
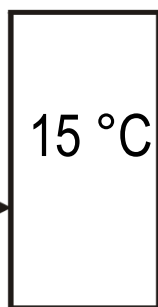
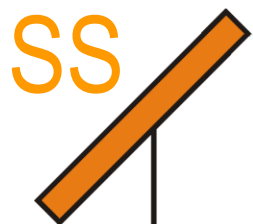
Herbertov – schéma po rekonstrukci

Schéma - vizualizace





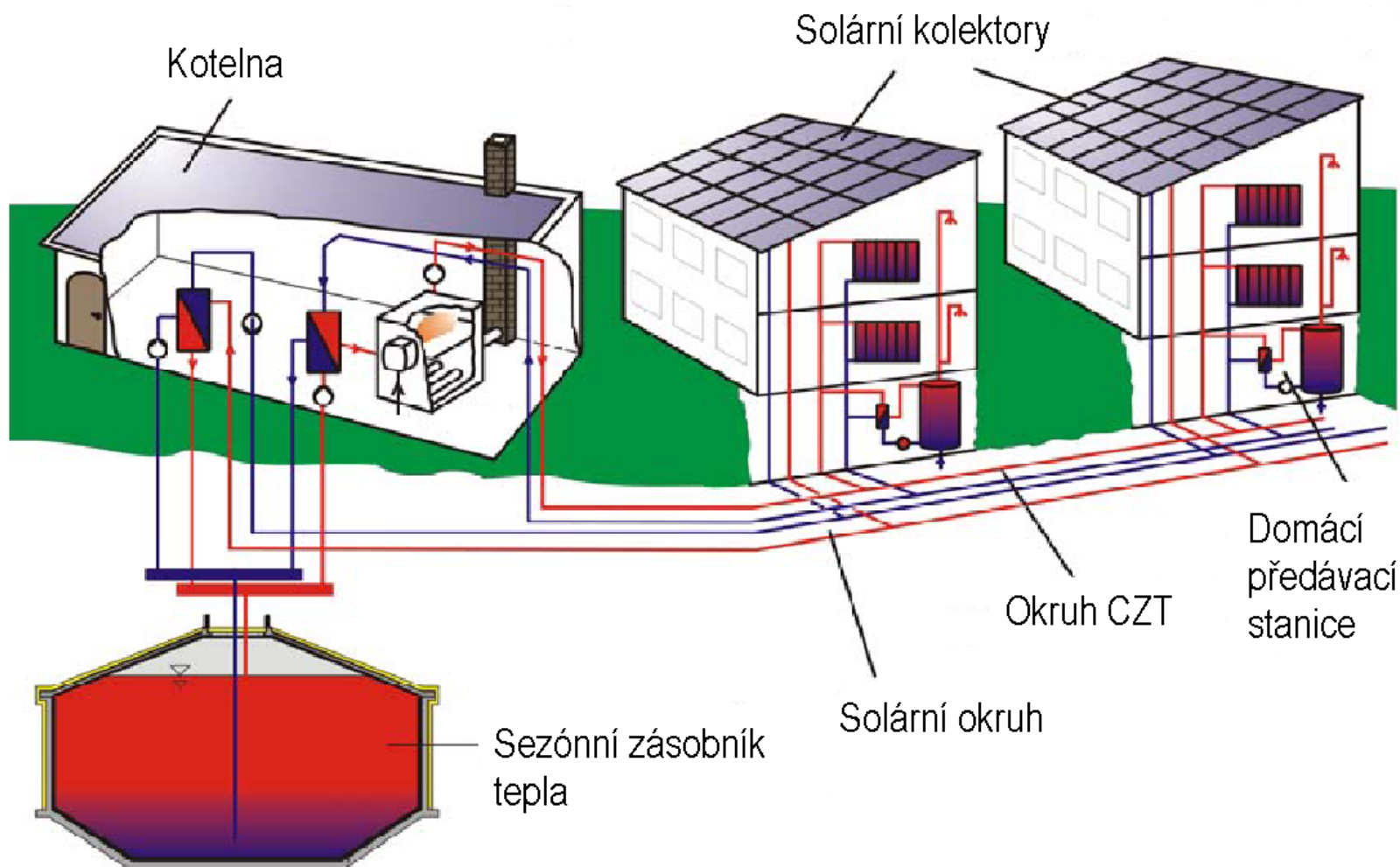
TČ + sol. zásobník na primární straně



- nárazový zásobník primárního tepla
 - výstup solární soustavy
 - vstup tepelného čerpadla
- nárazový zásobník sekundárního tepla
 - výstup tepelného čerpadla)
- kombinovaný zásobník



Solární soustavy se sezónní akumulací





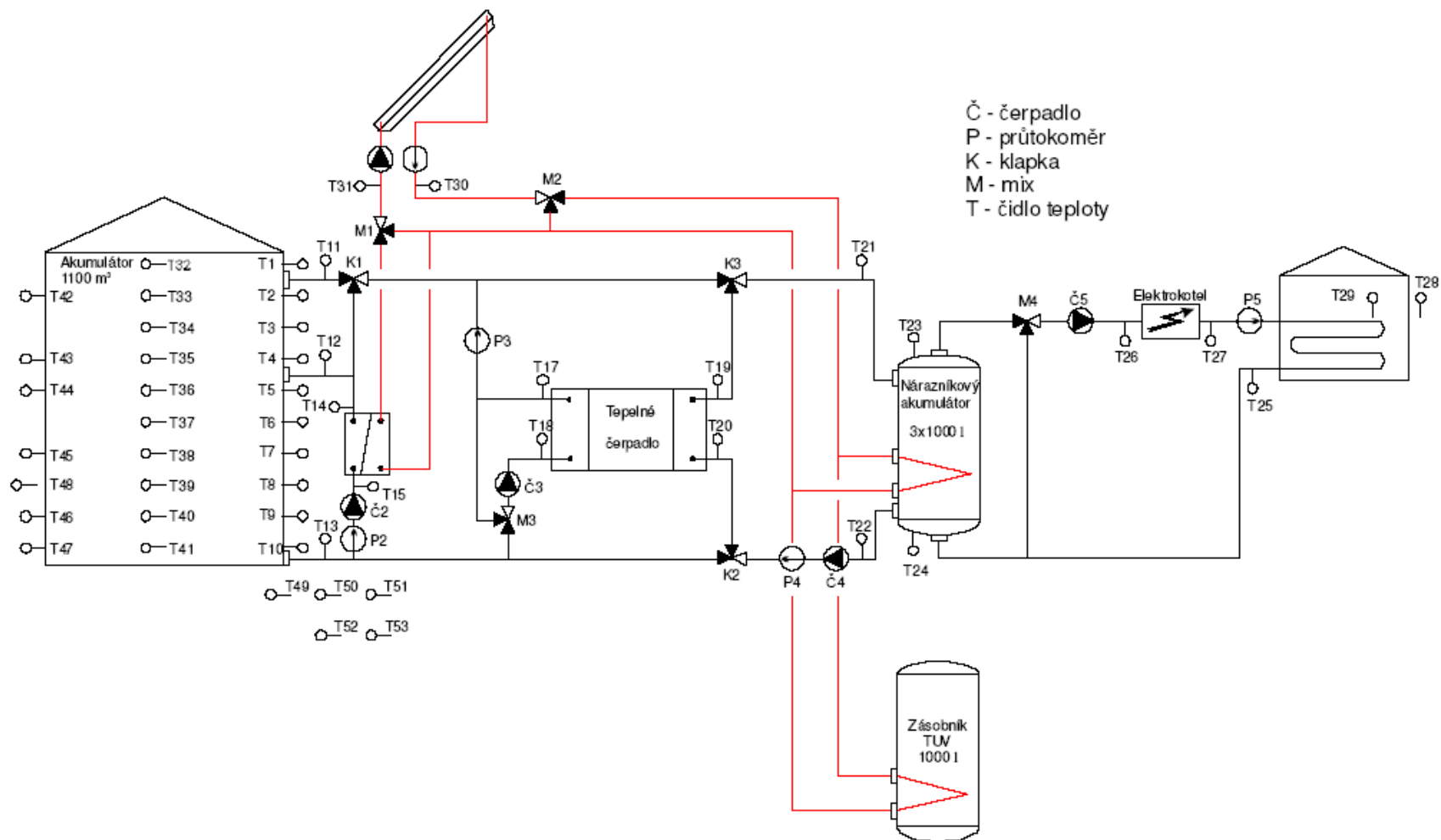
DSP Slatiňany: TČ + solární soustava

- solární kolektory: **148 m²**
- sezónní zásobník: **1100 m³**
- tepelné čerpadlo **37 kW**,
záloha **5 x 7,5 kW**



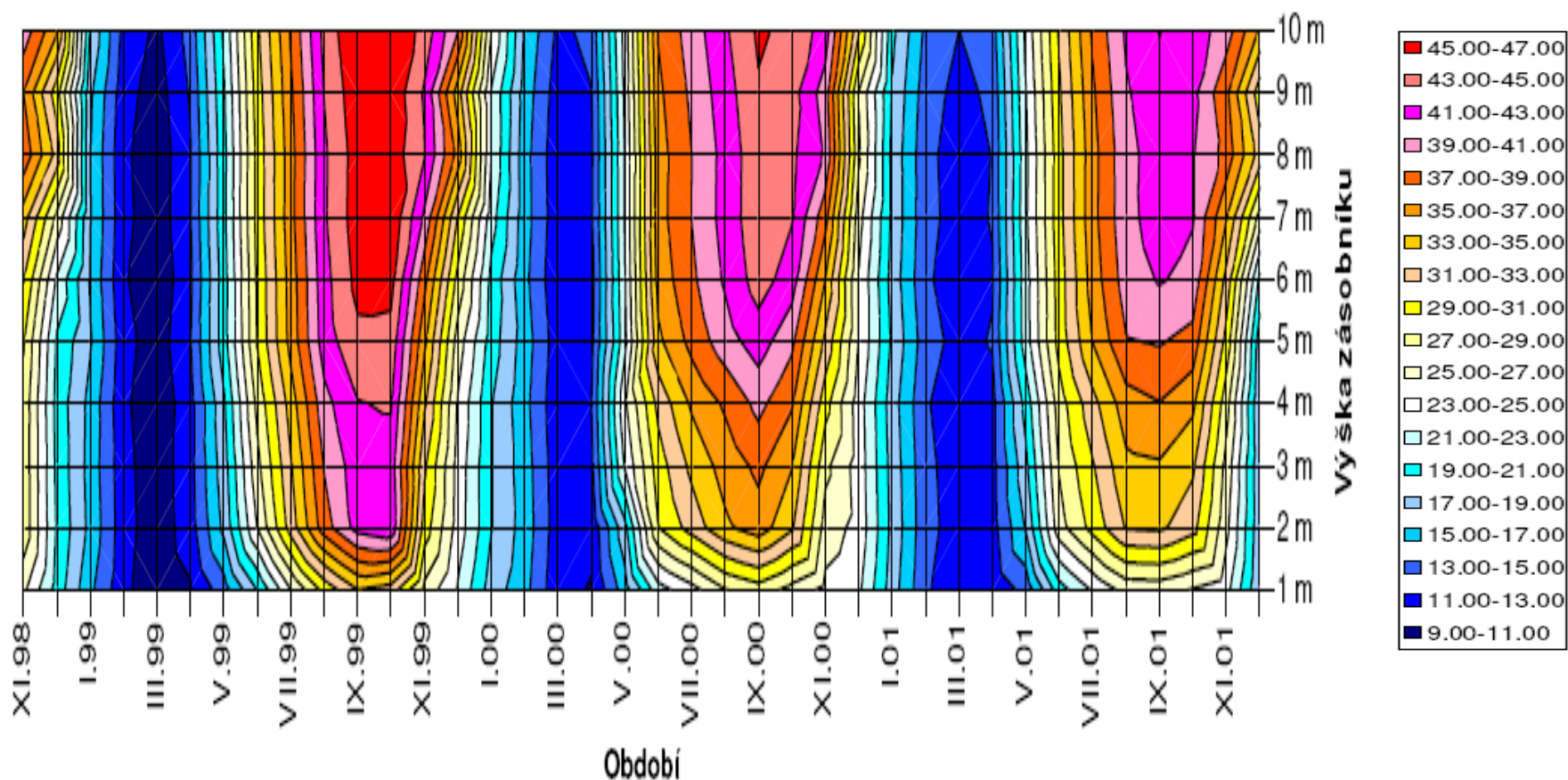


DSP Slatiňany: schéma zapojení





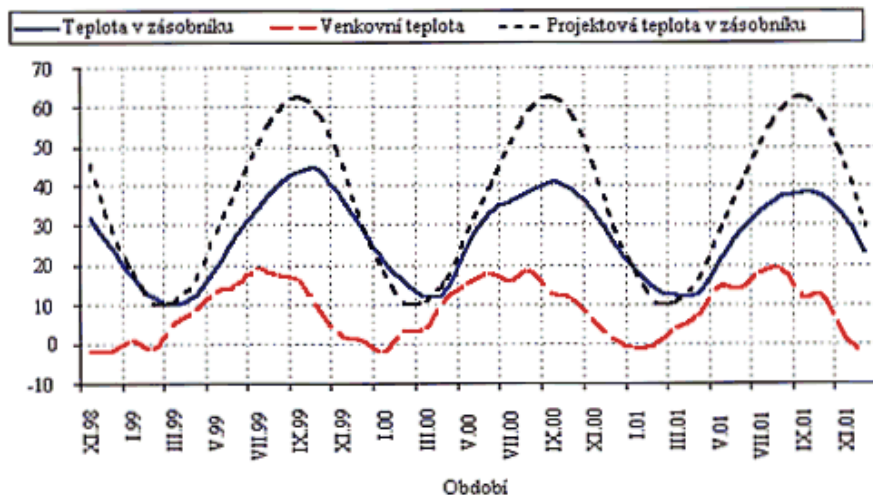
DSP Slatiňany: sezónní akumulace



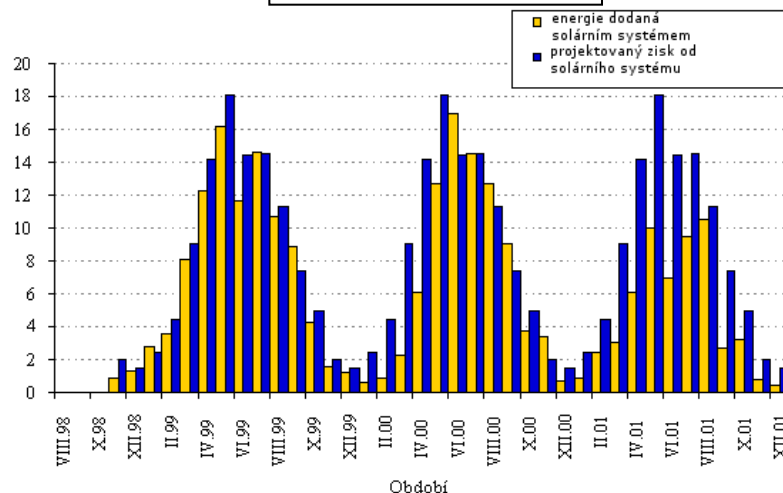


DSP Slatiňany: monitoring

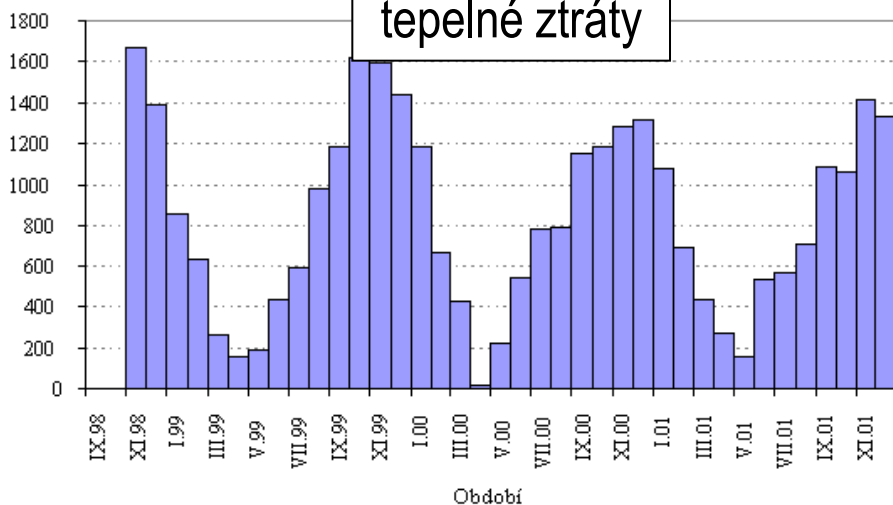
teplota v AKU



solární zisky



tepelné ztráty



solární zisky: 600-700 kWh/m²

tepelné ztráty AKU: 10-15 %

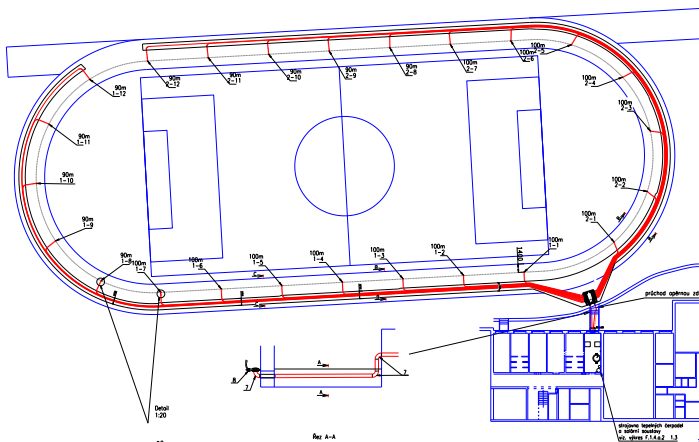
topný faktor: ???

bez TČ: objem AKU 2,5xvětší



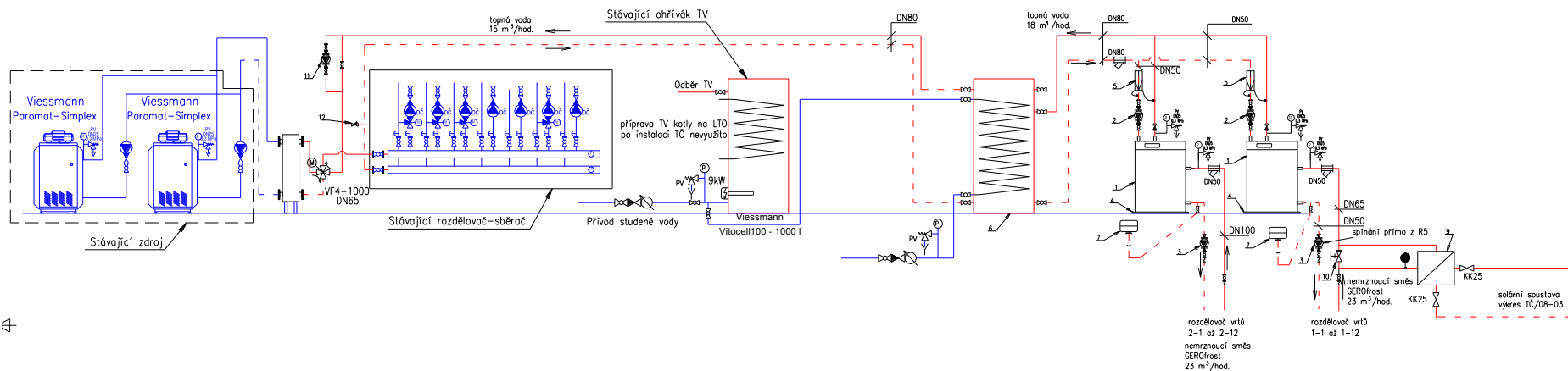
Tepelná čerpadla a solární soustava v ZŠ Lukavec

- dvě tepelná čerpadla Alpha Innotec SWP 670
- 24 suchých sond – 14x 100 m, 10x 90 m
- 20 ks kolektorů Regulus KPS 11 ALP
- příprava teplé vody a přitápění
- regenerace 12 vrtů

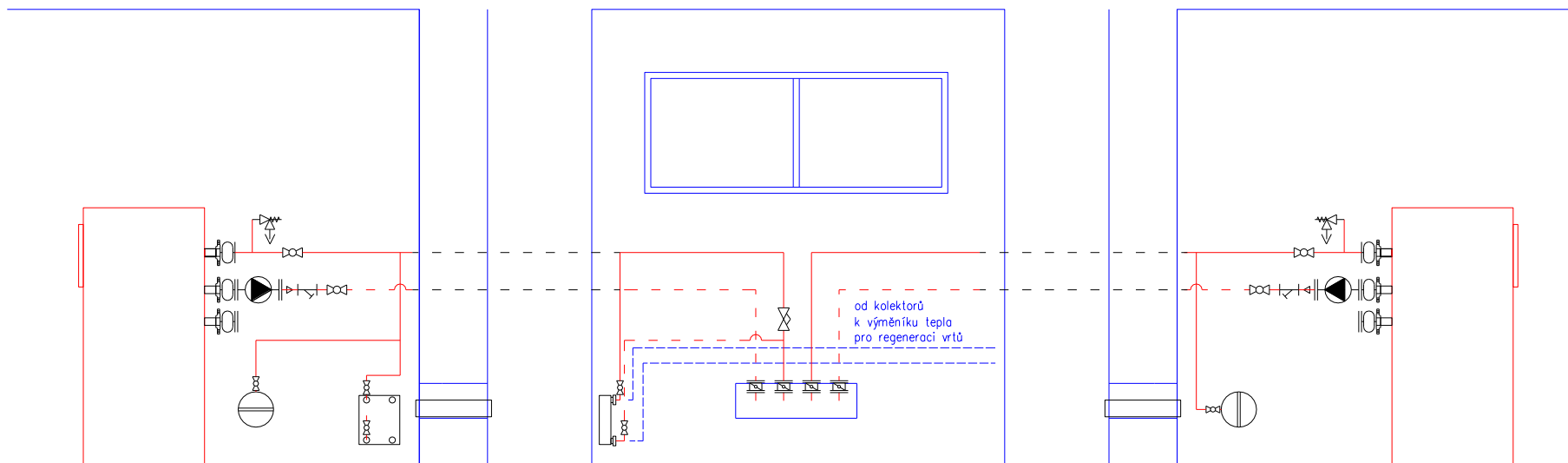




Tepelná čerpadla a solární soustava v ZŠ Lukavec

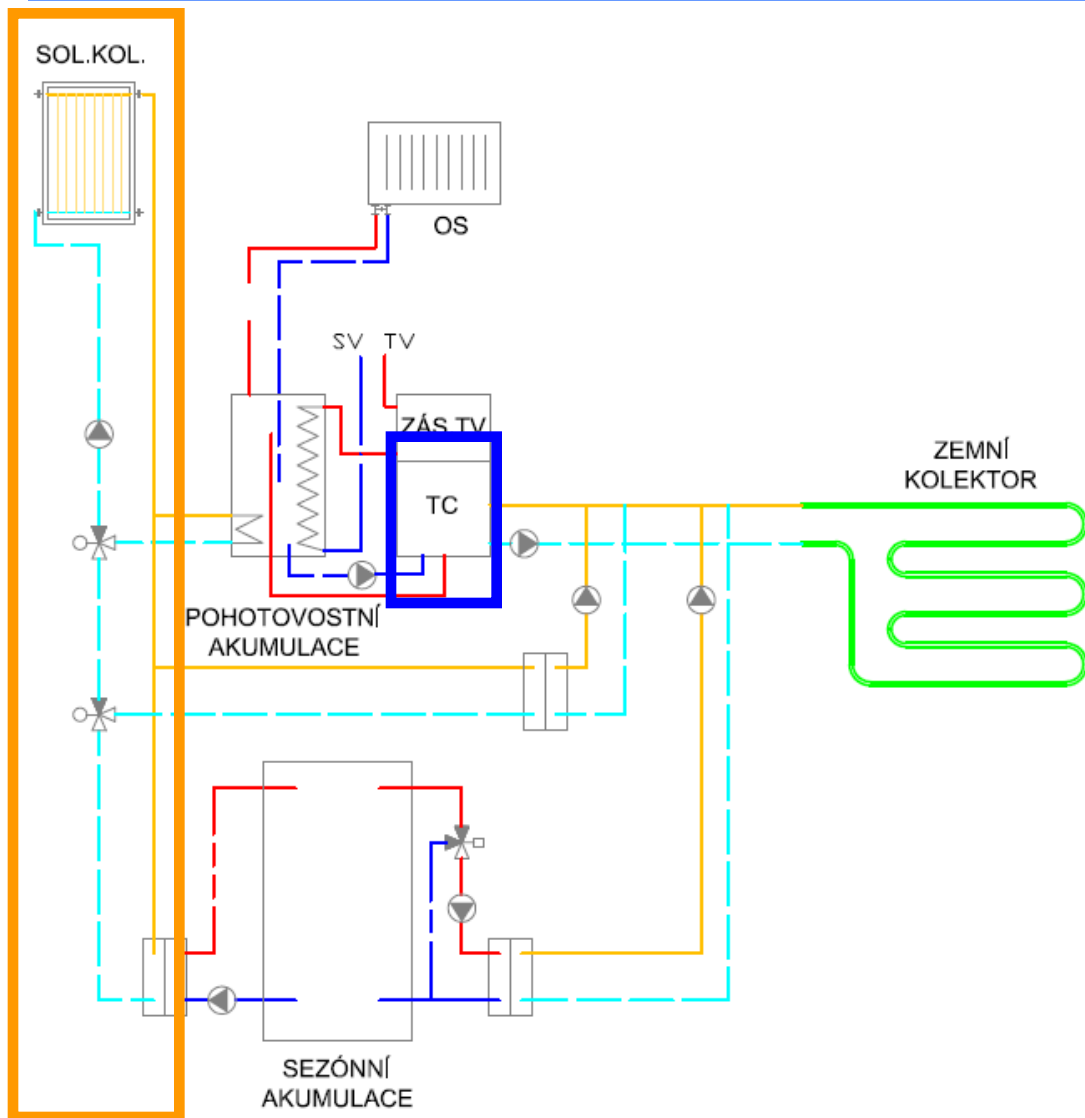


Primární stana TČ





Sezónní akumulace v RD



- **tepelné čerpadlo** pro vytápění a přípravu TV
- primární zdroj TČ:
 - zemní kolektor
 - sezónní akumulátor 28 m³
- **solární soustava**
 - solární kolektory 20 m²
 - příprava teplé vody a vytápění
 - sezónní akumulace
 - regenerace zemního výměníku



RD Moravský Krumlov



září 2009



sklolaminátový zásobník



výkop



podkladní beton



tepelné čerpadlo



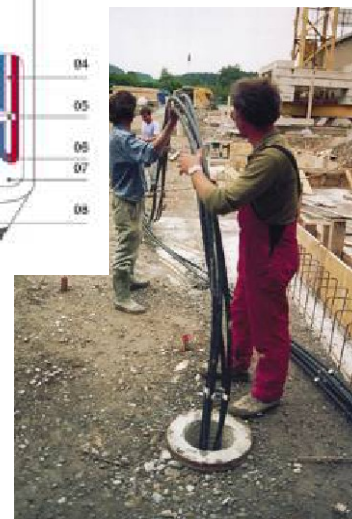
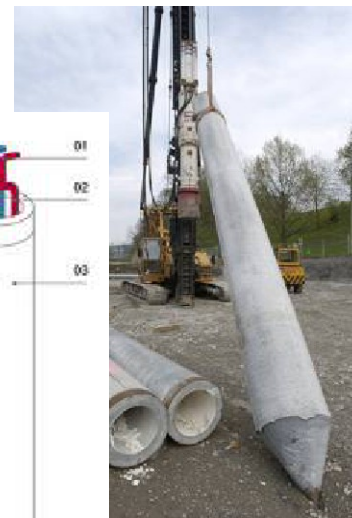
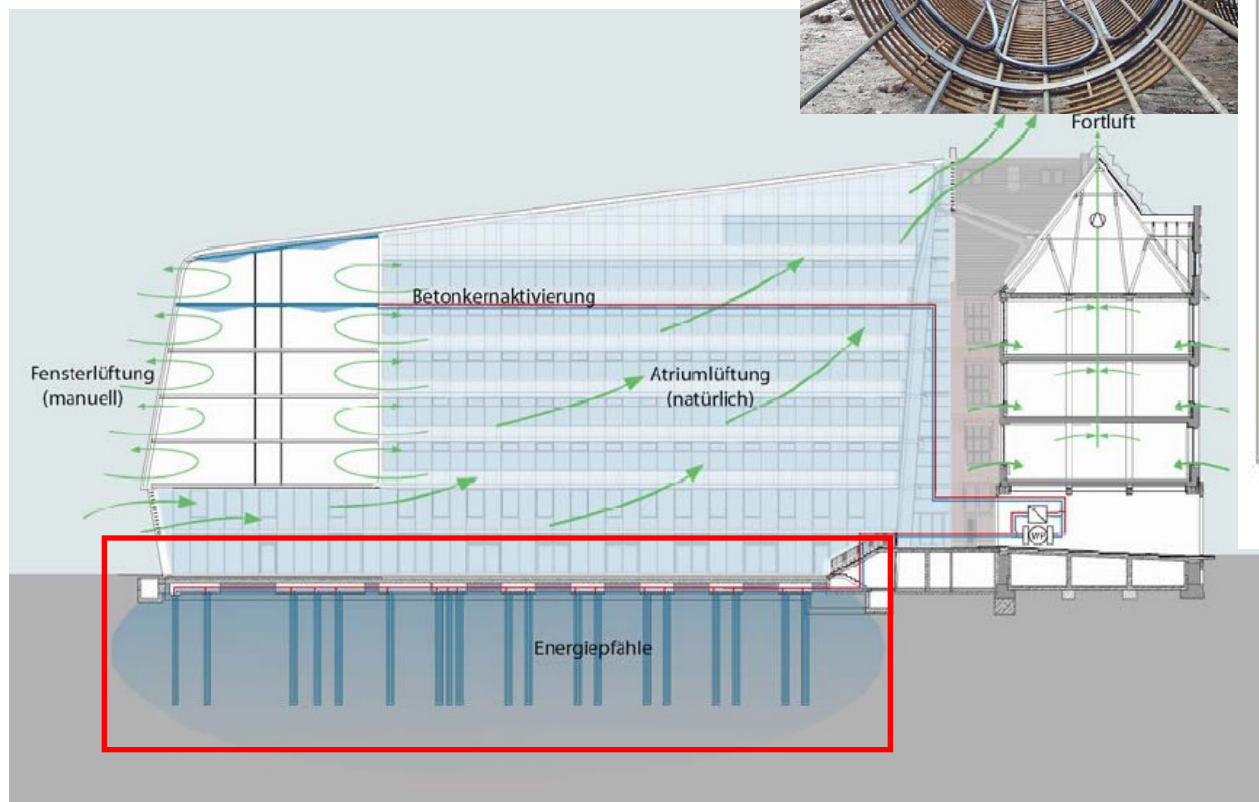
Budova jako solární kolektor

- **odpadní teplo z budovy**
 - solární zisky
 - vnitřní zisky (osoby, počítače)
- **tepelné čerpadlo (reverzní chod)**
 - letní období – chlazení budovy, ukládání tepla do zemského masívu (regenerace)
 - zimní období – vytápění budovy, čerpání tepla ze zemského masívu
 - celoročně – příprava TV



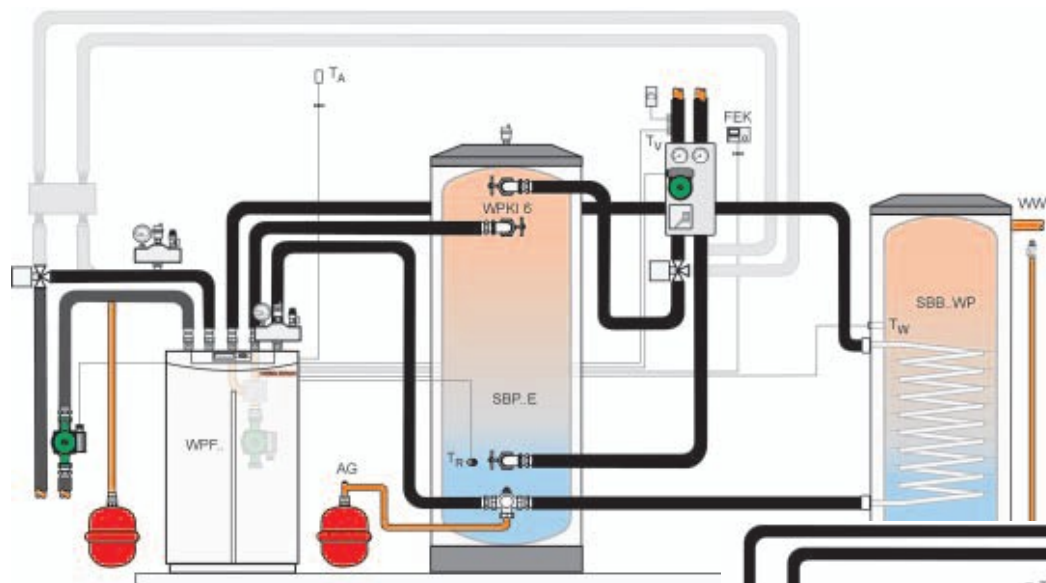
Energetické piloty

- využití energie zemského masivu
- využití solárních zisků – odpadní teplo z chlazení budovy



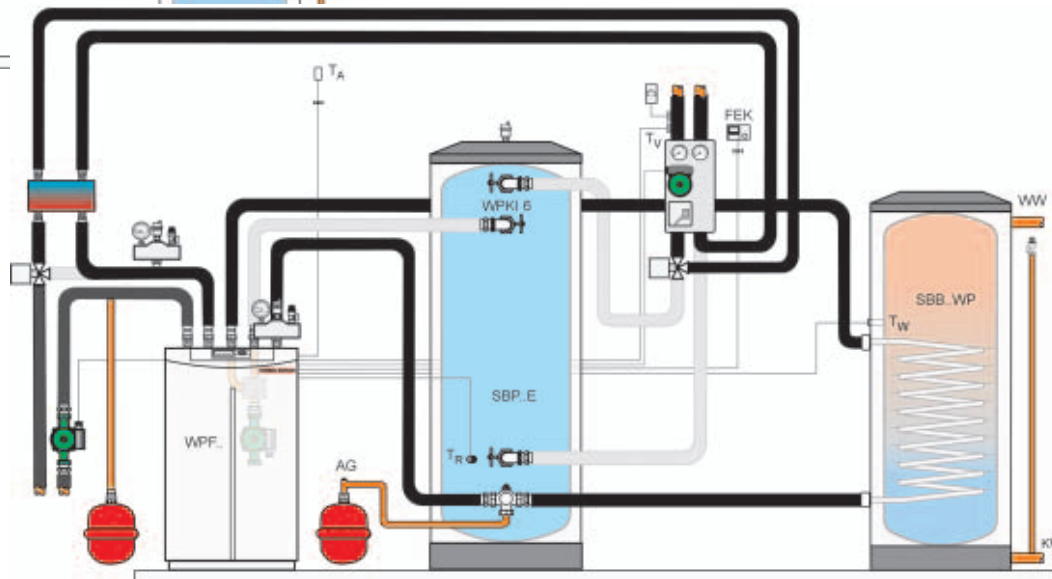


Pasivní chlazení vrty – oběhové čerpadlo



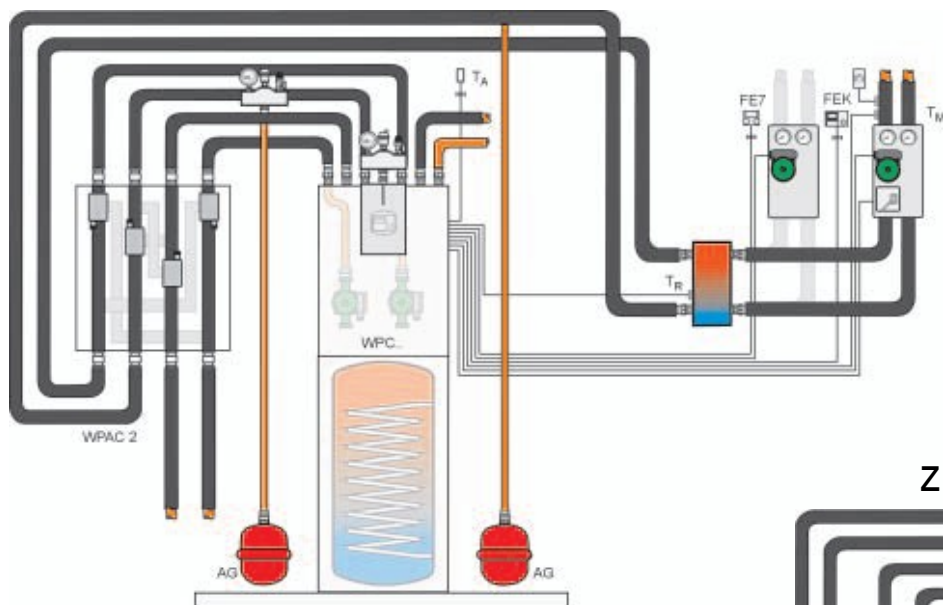
topný režim

chladičí režim

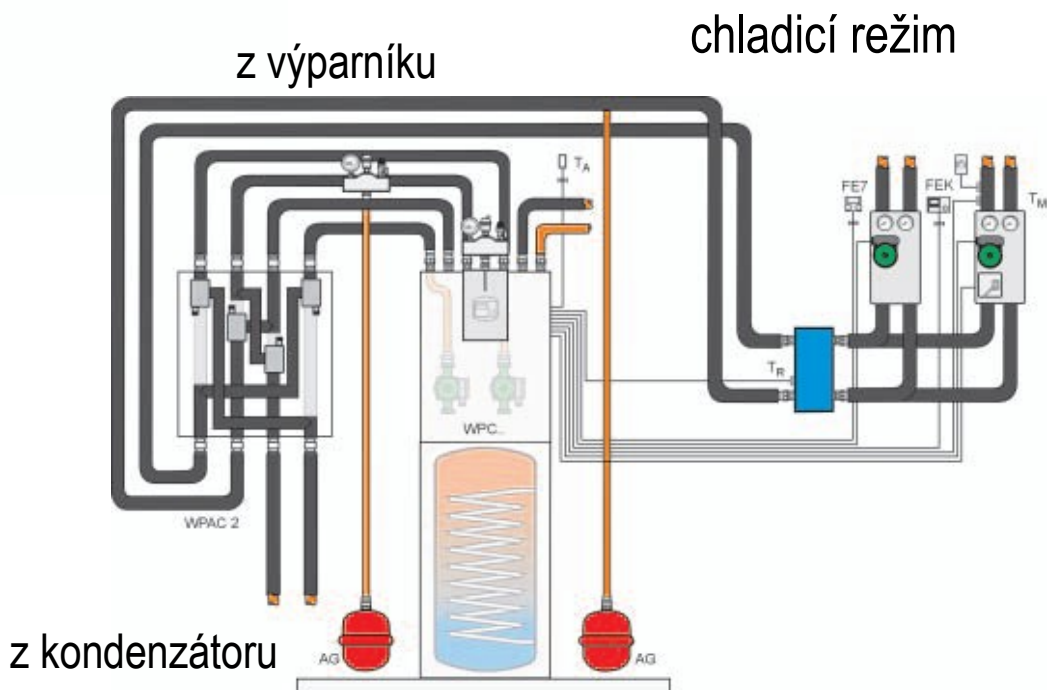




Aktivní chlazení vrty – tepelné čerpadlo



topný režim





Experimentální rodinný dům Zápy

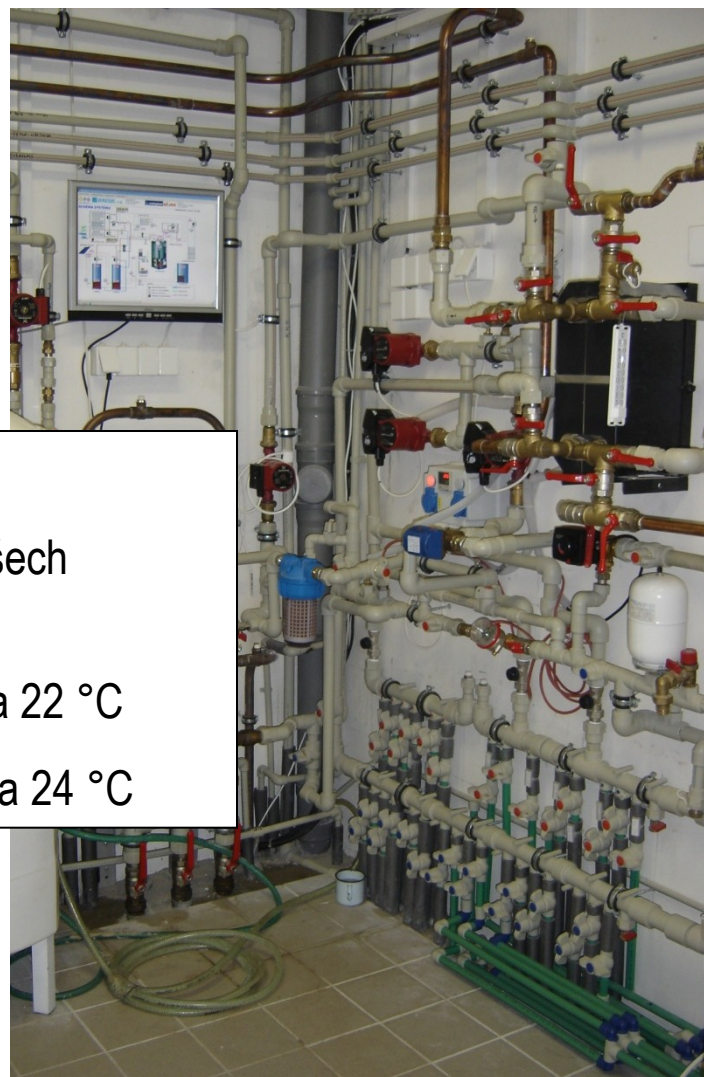


nízkoenergetický RD

kapilární rohože ve všech
vnitřních konstrukcích

vytápění: otopná voda 22 °C

chlazení: chladicí voda 24 °C



[illegible]

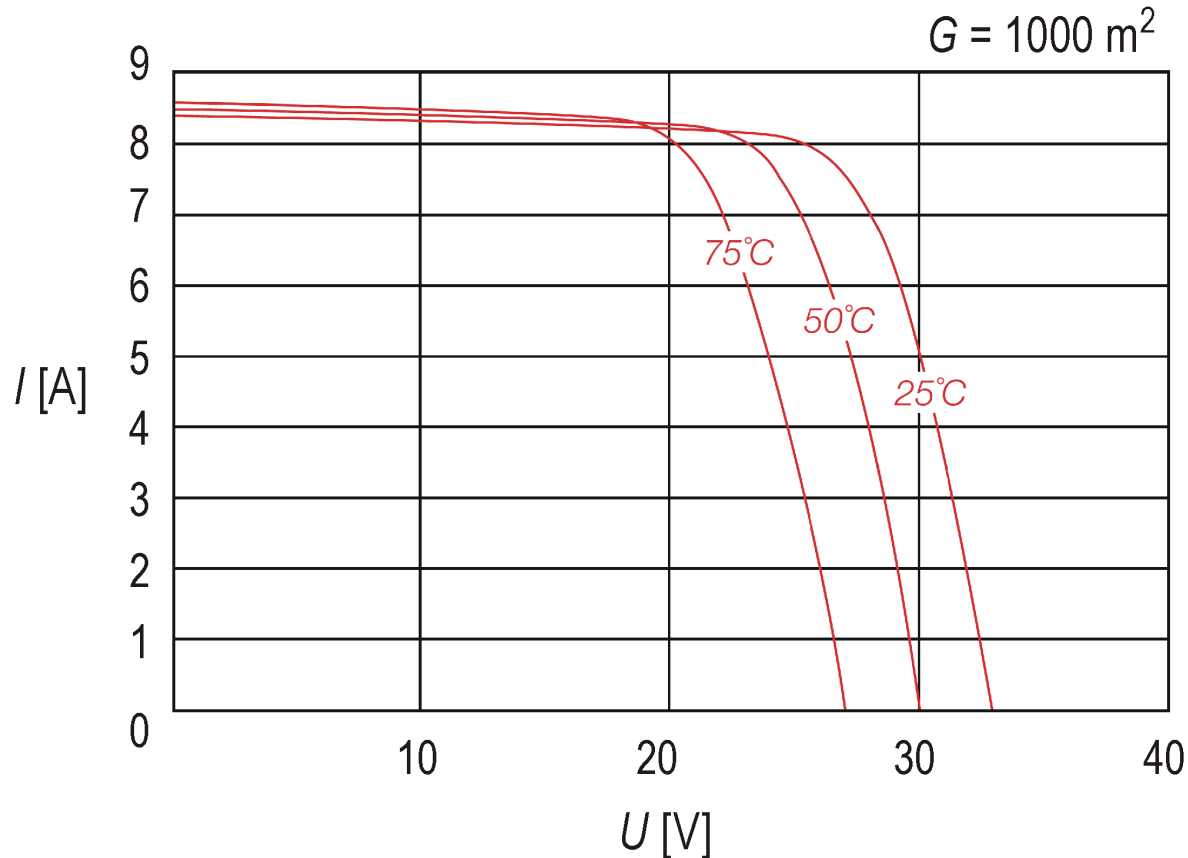
primár pro TČ, pasivní chlazení pro (3)



Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory

vliv teploty na účinnost FV článku

- pokles účinnosti s teplotou vzhledem k nominální $\eta_e = \eta_r [1 - \beta(t - t_r)]$



Typ modulu	β [%/K]
Krystalické Si	0,35 ... 0,52
Amorfní Si	0,10 ... 0,30
CIS	0,33 ... 0,60
CdTe	0,18 ... 0,36



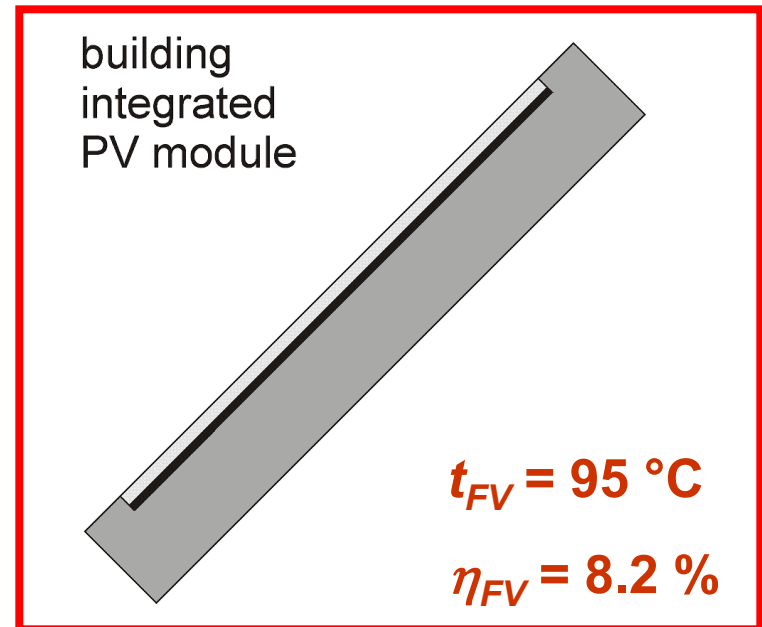
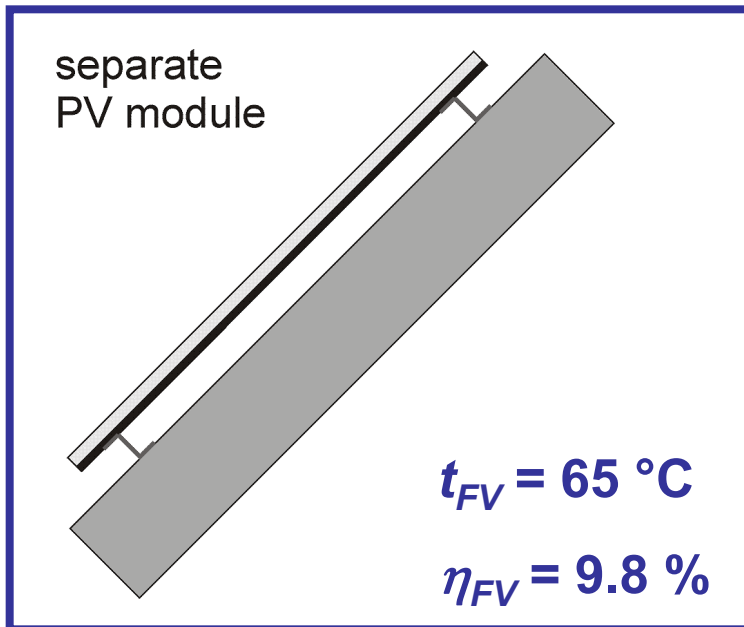
Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory

vliv teploty na účinnost FV článku

- potřeba účinného chlazení, zvláště u integrace do budov (**BIPV**)

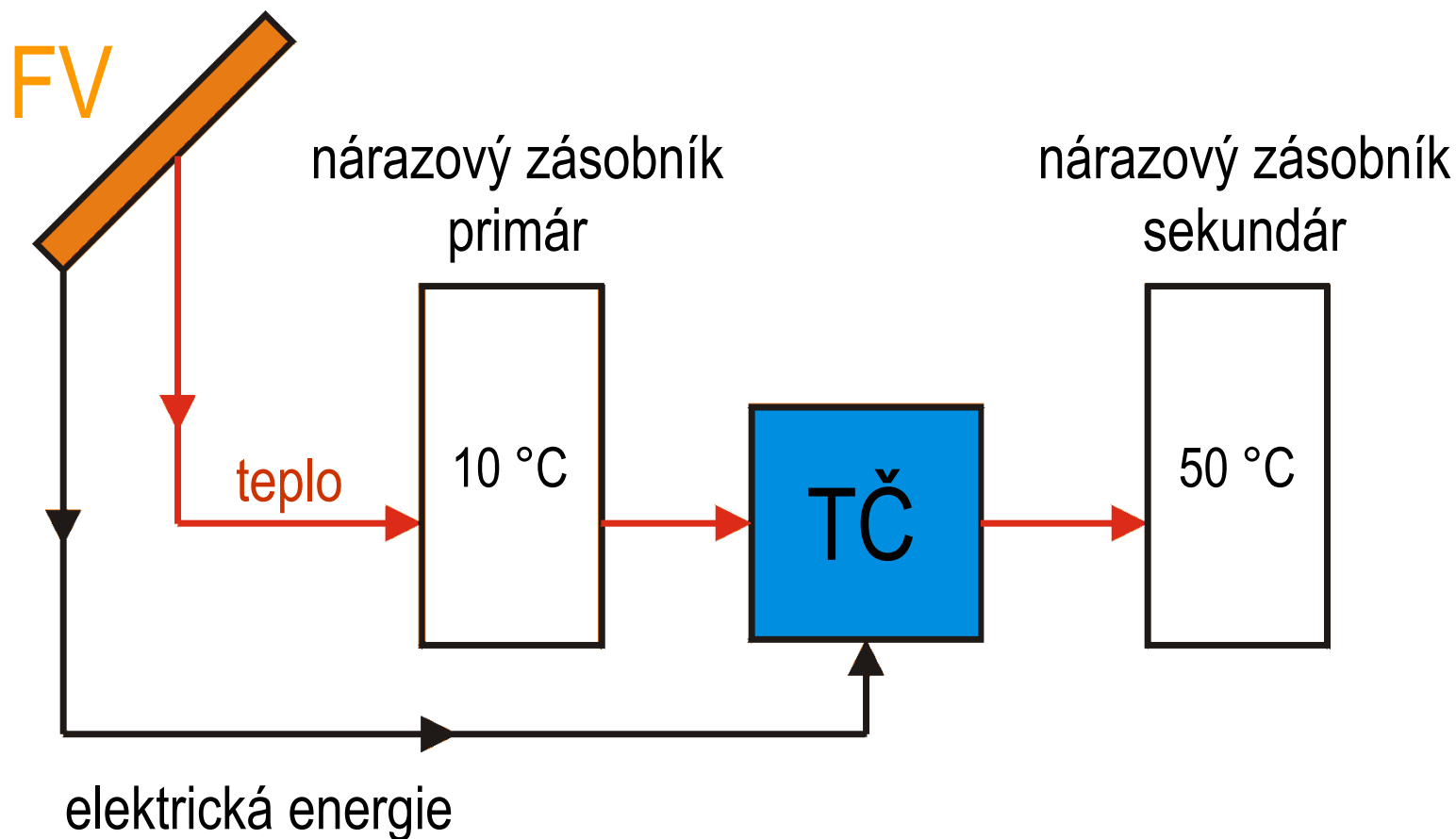
podmínky: $G = 1000 \text{ W/m}^2$, $t_a = 30 \text{ °C}$, $w = 0 \text{ m/s}$

referenční účinnost $\eta_{PV} = 12 \text{ %}$ at 25 °C





Chlazení FV článku tepelným čerpadlem





Chlazení FV článku (modulu)

Odvod tepla z FV článků:

- snižuje teplotu článků, chrání je před tepelnou zátěží a **prodlužuje životnost FV článků**
- zvyšuje elektrickou účinnost FV článku a produkci elektrické energie při chlazení na 10 °C celoročně **cca o 10 %**
- odvedené teplo je využitelné pro nízkoteplotní aplikace až **700 kWh/m²** při teplotě primárního okruhu 10 °C
- zvyšuje celkové využití sluneční energie z 1 m² obálky budovy
- **multifunkční prvek** – kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (solární kogenerace)



Děkuji za pozornost