



Solární soustavy s vysokým pokrytím

- soběstačnost
- průběh teplot v zásobníku
- návrh soustavy
- integrace solárních kolektorů do obálky budovy





Nulová x soběstačná budova

- **energeticky nulová budova**

- není budova bez potřeby vytápět
- není budova bez potřeby vnější energie
- bilančně nulová z hlediska potřeby primární energie
- **roční potřeba je kompenzována roční produkcí s využitím externí sítě**
– významná interakce s externí sítí

- **energeticky soběstačná budova**

- potřeba energie je kompenzována produkcí/akumulací
- **místním zdrojem v každém okamžiku / v každé hodině**
- **minimalizace interakce s externí sítí, zvýšení nezávislosti**



Co znamená „místní“?

vlastnické právo

- **budova**
obálka domu jako hranice
- **pozemek, zahrada**
plot jako hranice
- **správní území (distrikt)**
územní jednotka, čtvrť, obec, ...
- **ČR, Evropa**
...



Jaké zdroje energie jsou místní?

- **sluneční energie - solární zařízení**
 - **solární termické soustavy**
 - solární fotovoltaické systémy
- **energie okolního prostředí - tepelná čerpadla**
 - využití energie okolního vzduchu
 - využití energie zemského masivu, vč. spodní vody
 - využití sluneční energie
- **akumulace (tepla, elektřiny)**



Solární domy se 100% pokrytím

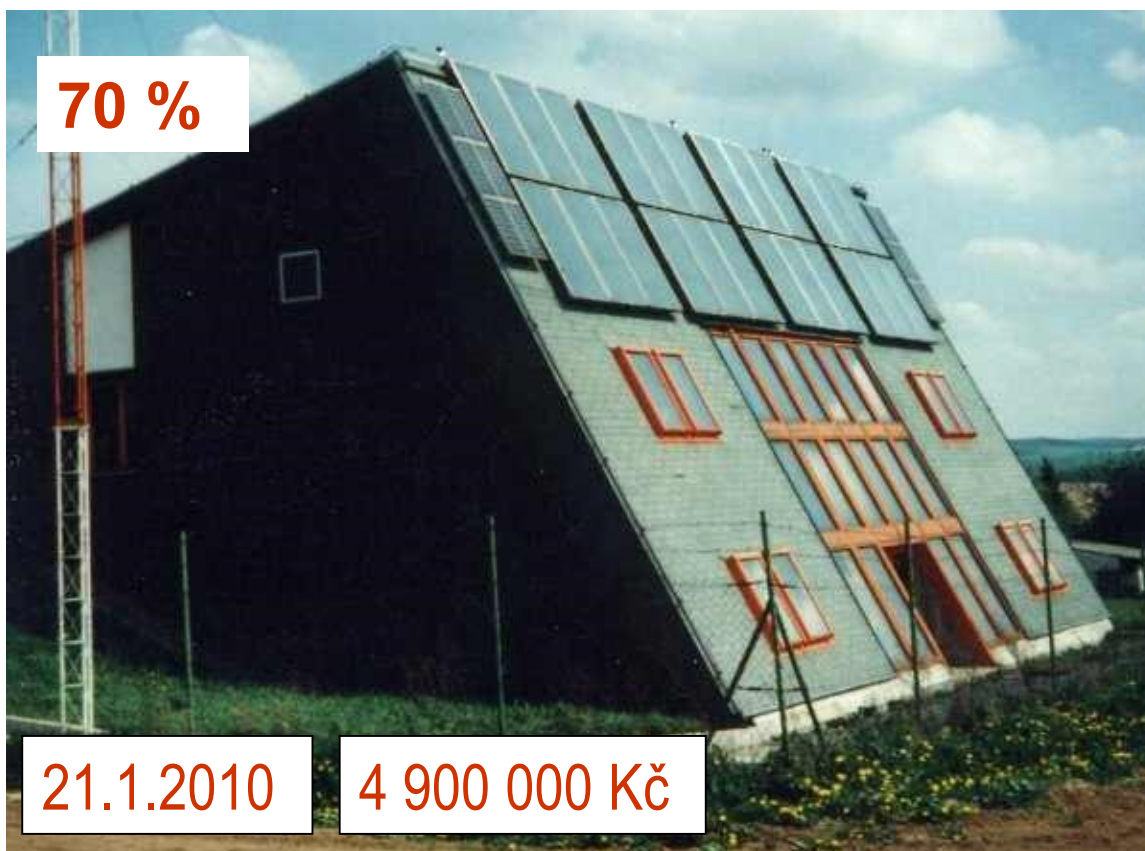
- pokusy a realizace 30. léta v USA
- nárůst experimentů v pol. 70. let
- IEA – Solar Heating and Cooling Programme:
 - 1989-1994: Task 13 – Advanced Solar Low Energy Buildings
 - 1998-2002: Task 26 – Solar Combisystems
 - 2003-2006: Task 32 – Advanced Storage Concepts for Solar and Low Energy Buildings
 - 2008-2013: Task 40 – Net Zero Energy Solar Buildings
 - 2009-2012: Task 41 - Solar Energy and Architecture



Prehistorie solárních domů v ČR

Experimentální nízkoenergetický dům VUES v Podolí u Brna

1994-1997



70 %

21.1.2010

4 900 000 Kč

330 m², 2300 m³

45 cm plná cihla, 20 cm izolace

tepelná ztráta 10 kW

vzduchový kolektor

24 ks kapalinových vakuových kolektorů Thermosolar

2 vodní zásobníky á 50 m³

pouze pro podlahové vytápění

přímo nebo přes TČ



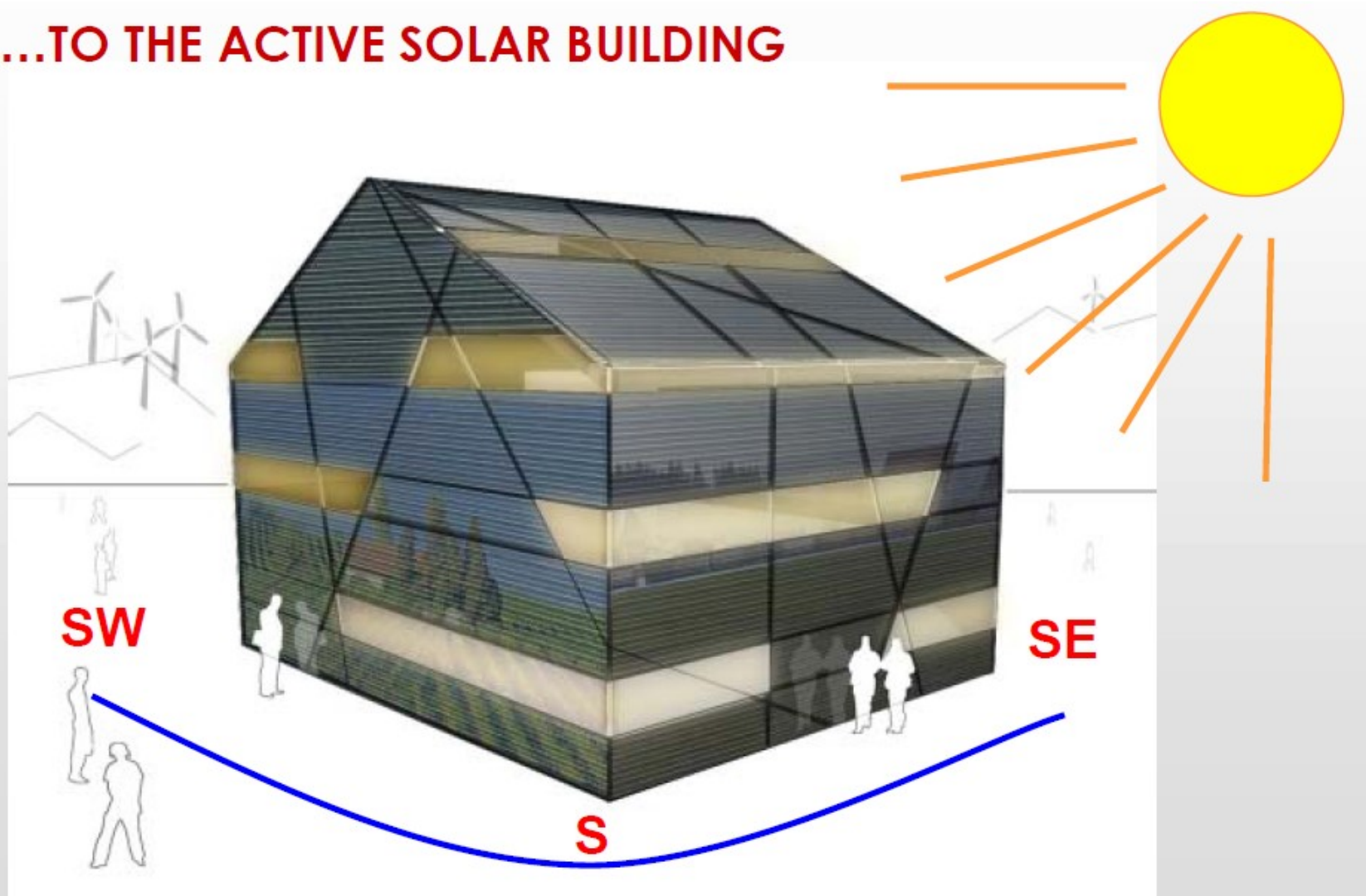
Solární aktivní domy

- **European Solar Thermal Technology Platform 2006**
 - ESTIF, EUREC <http://www.esttp.org>
 - solární tepelné soustavy jako hlavní OZT pro nízkoteplotní aplikace
 - podpora technologického vývoje, vytipování oblastí výzkumu
- **cíl do 2030:**
 - pokrýt 50 % nízkoteplotní potřeby tepla v Evropě
 - solární aktivní domy se **100% pokrytím potřeby** tepla a chladu jako stavební standard pro novostavby
 - solární rekonstrukce domů: **50% pokrytí potřeby** tepla a chladu



Solární aktivní dům

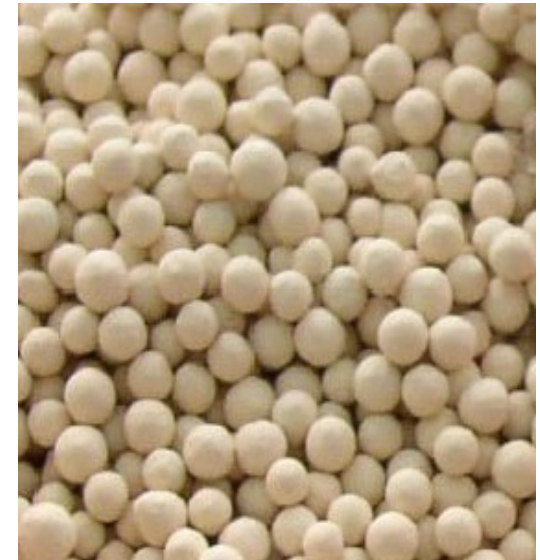
...TO THE ACTIVE SOLAR BUILDING





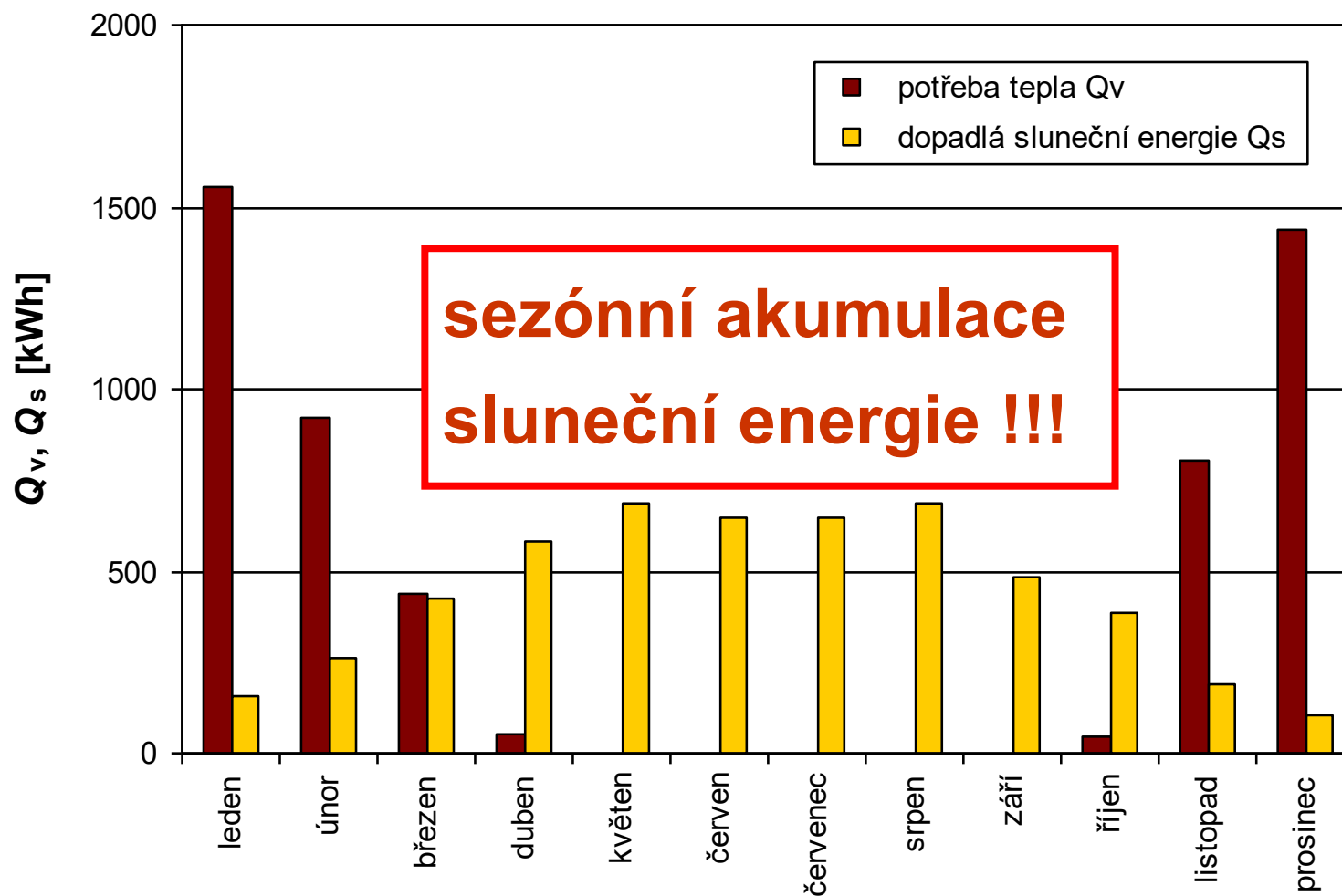
Akumulace tepla

- **akumulace tepla – klíčová otázka**
 - **potřeba vysoké hustoty akumulace, bezztrátové**
 - citelné teplo: 100 až 300 MJ/m^3
 - využití tepelné kapacity, změna teploty
 - latentní teplo: 200 až 500 MJ/m^3
 - skupenské teplo tání-tuhnutí
 - sorpční teplo: 500 až 1000 MJ/m^3
 - akumulace vodní páry: adsorpce, absorpce
 - chemické teplo: 1000 až 3000 MJ/m^3
 - vratné chemické reakce: jímání / uvolňování tepla





Základní problém





Solární tepelné soustavy

- **běžná konfigurace – spořič tepla**
 - úsporné opatření, částečné pokrytí potřeby tepla
 - snižuje energetickou náročnost přípravy teplé vody, případně vytápění

Druh solární soustavy	pokrytí	roční zisky
	[%]	[kWh/m ²]
Solární ohřev vody	40 až 60	350 až 500
Vytápění a ohřev vody	10 až 30	300 až 400

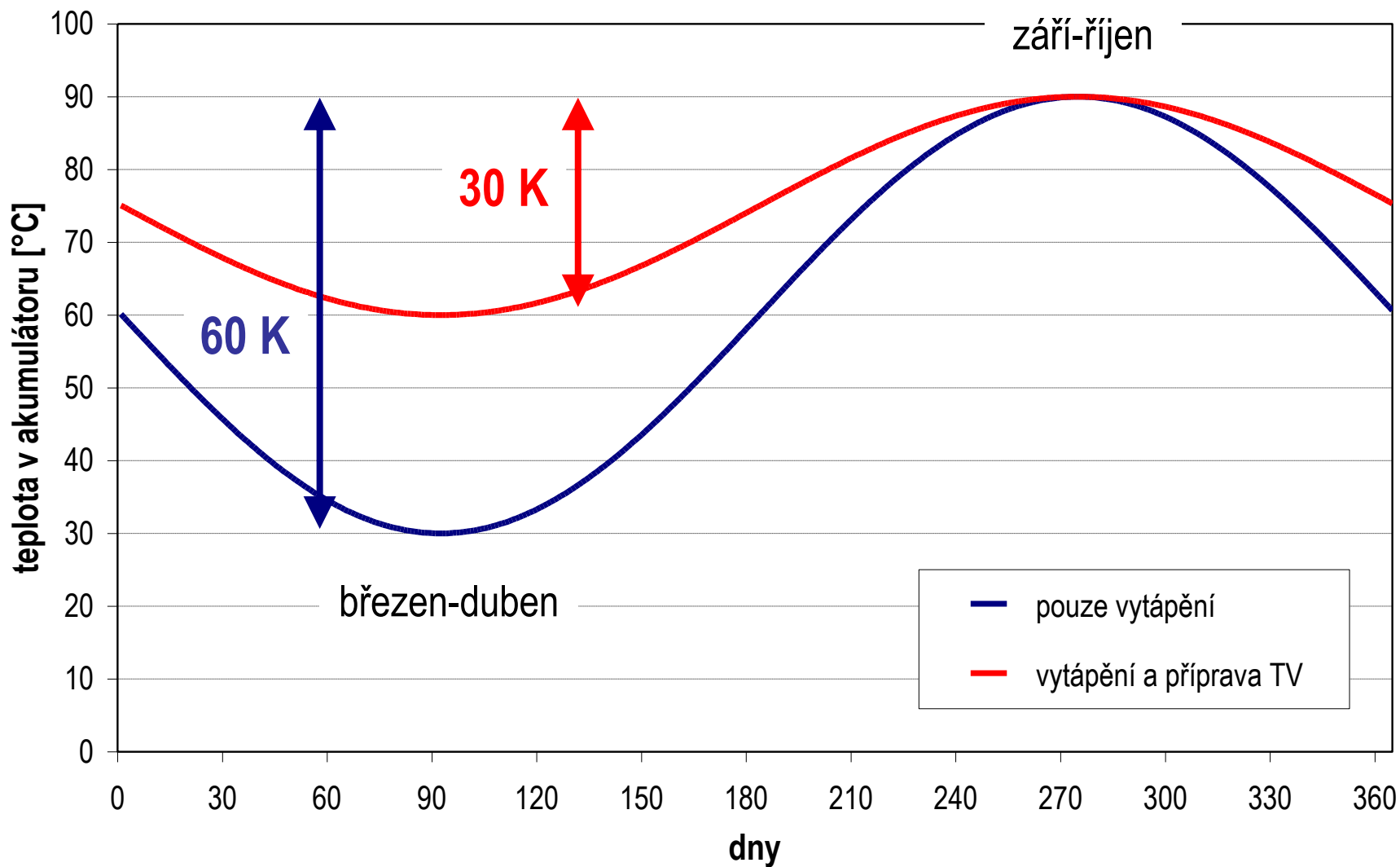


Solární tepelné soustavy

- **hlavní zdroj tepla – 100% pokrytí**
 - sezónní akumulace solárních zisků – přenesení z léta do zimy
 - výrazně předimenzovaná plocha kolektorů a objem zásobníku
 - ekonomicky problematické řešení, zvláště pro soustavy „vytápění a přípravy teplé vody“
- čím **vyšší pokrytí potřeby** energie solární soustavou (= vyšší úspora emisí)
- tím **nižší měrný energetický zisk** (= horší ekonomika)
- 100% pokrytí = měrné zisky **pod 200 kWh/m².rok**



100 % pokrytí





100% pokrytí vytápění a TV

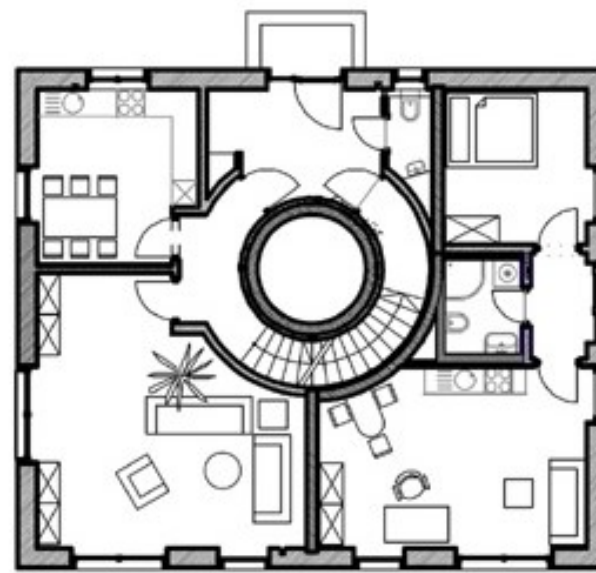
- v každém okamžiku je k dispozici dostatek energie o požadované teplotní úrovni
- nízká potřeba tepla na **vytápění**, nízkoteplotní otopná soustava, využití pasivních solárních zisků
- nízká potřeba tepla na **přípravu TV**, vysoce úsporné armatury, nízká teplota TV (35-37 °C)

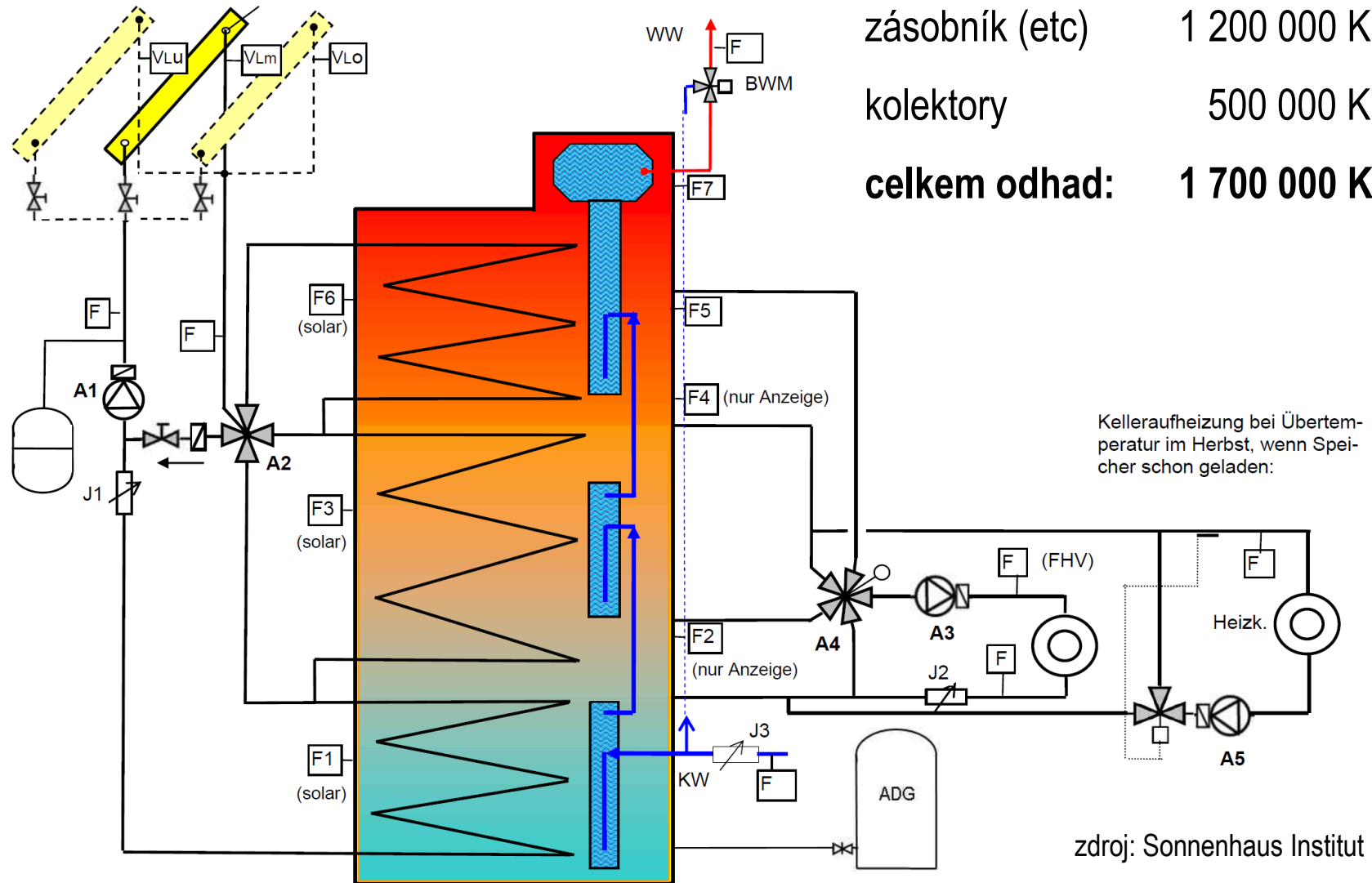


Sonnenhaus Diergardt



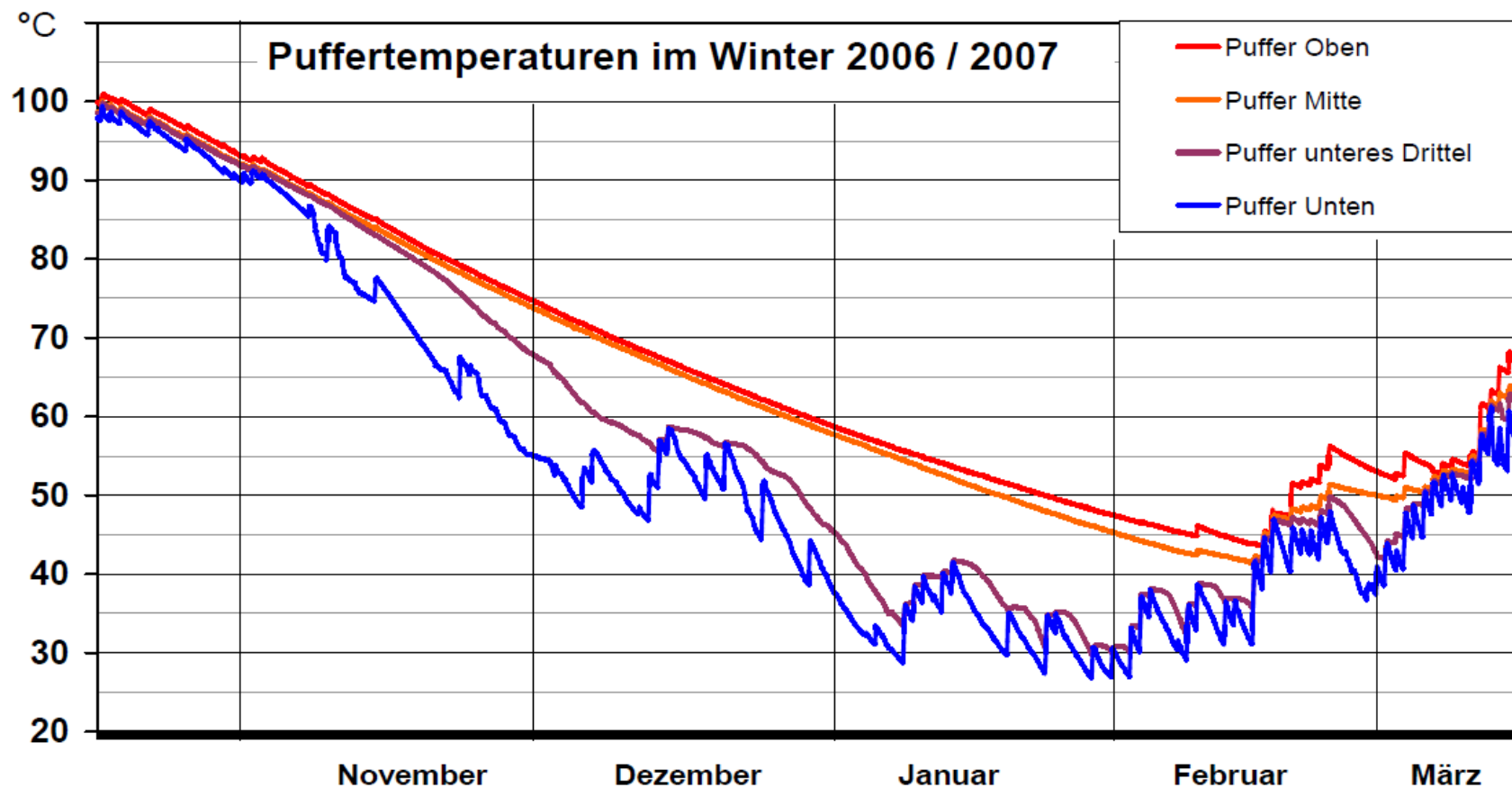
Rodinný dům Regensburg







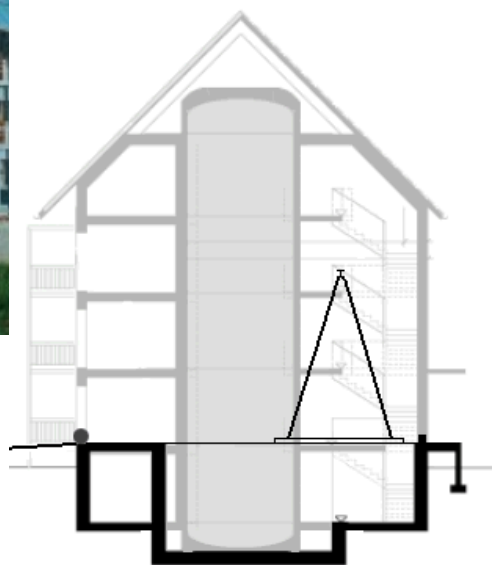
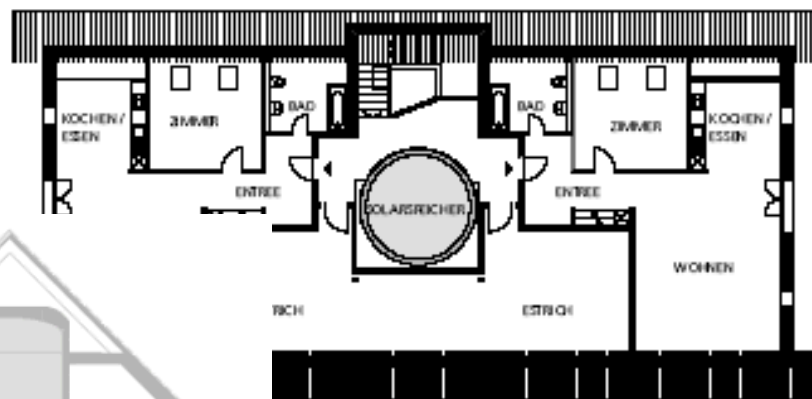
Rodinný dům Regensburg





Bytový dům Oberburg

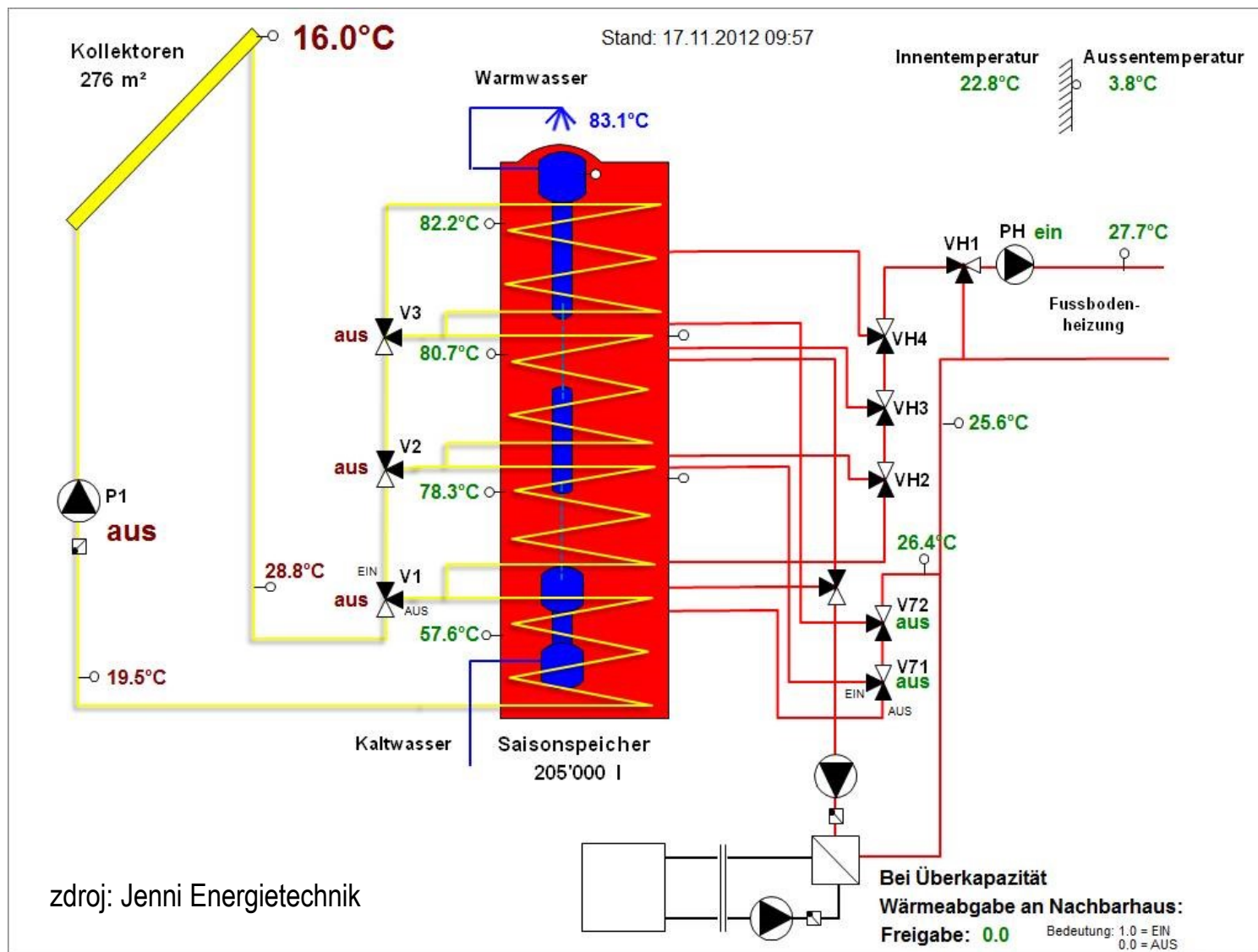
Oberburg Sonnenhaus, CH
8 bytových jednotek
205 m³, 276 m², 2005



zdroj: Jenni Energietechnik



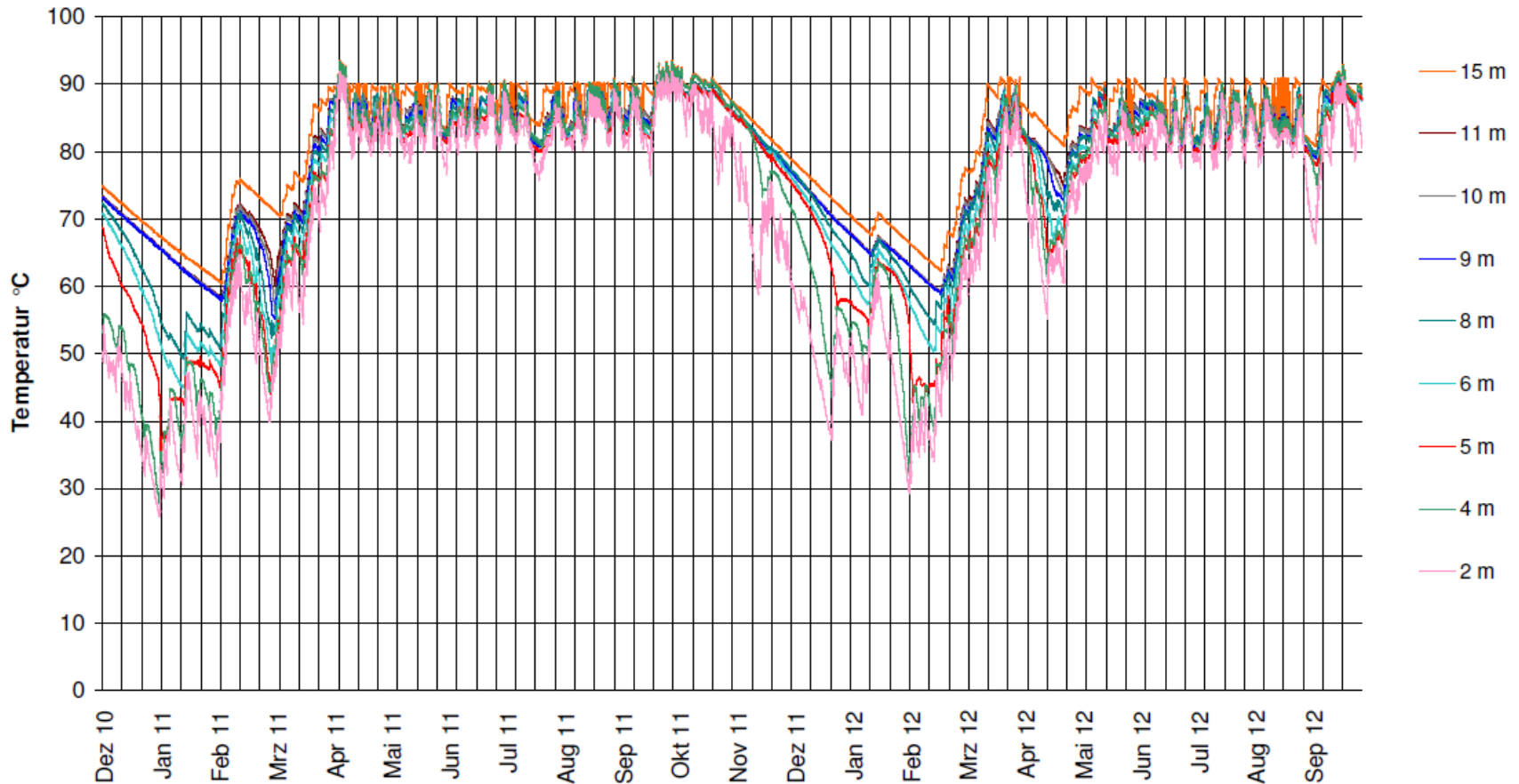
100% vytápění a příprava teplé vody





100% vytápění a příprava teplé vody

Temperaturen Speicher Solar-Mehrfamilienhaus 04.12.10 - 30.09.12



Bei genügend Wärme: Wärmelieferungen per Fernleitung an Nachbargebäude



Jenni Energietechnik AG



Sezónní akumulace pouze pro vytápění

- **simulační analýza**

- dům: objem 500 m³, plocha 150 m²
- standard
 - nízkoenergetický dům **35 kWh/m².rok**
 - pasivní dům **15 kWh/m².rok**
- otopná soustava
 - vysokoteplotní **50/44 °C**
 - nízkoteplotní **25/22 °C**
- běžné ploché kolektory
- zásobník vodní, uložený v zemi, izolace 50 cm

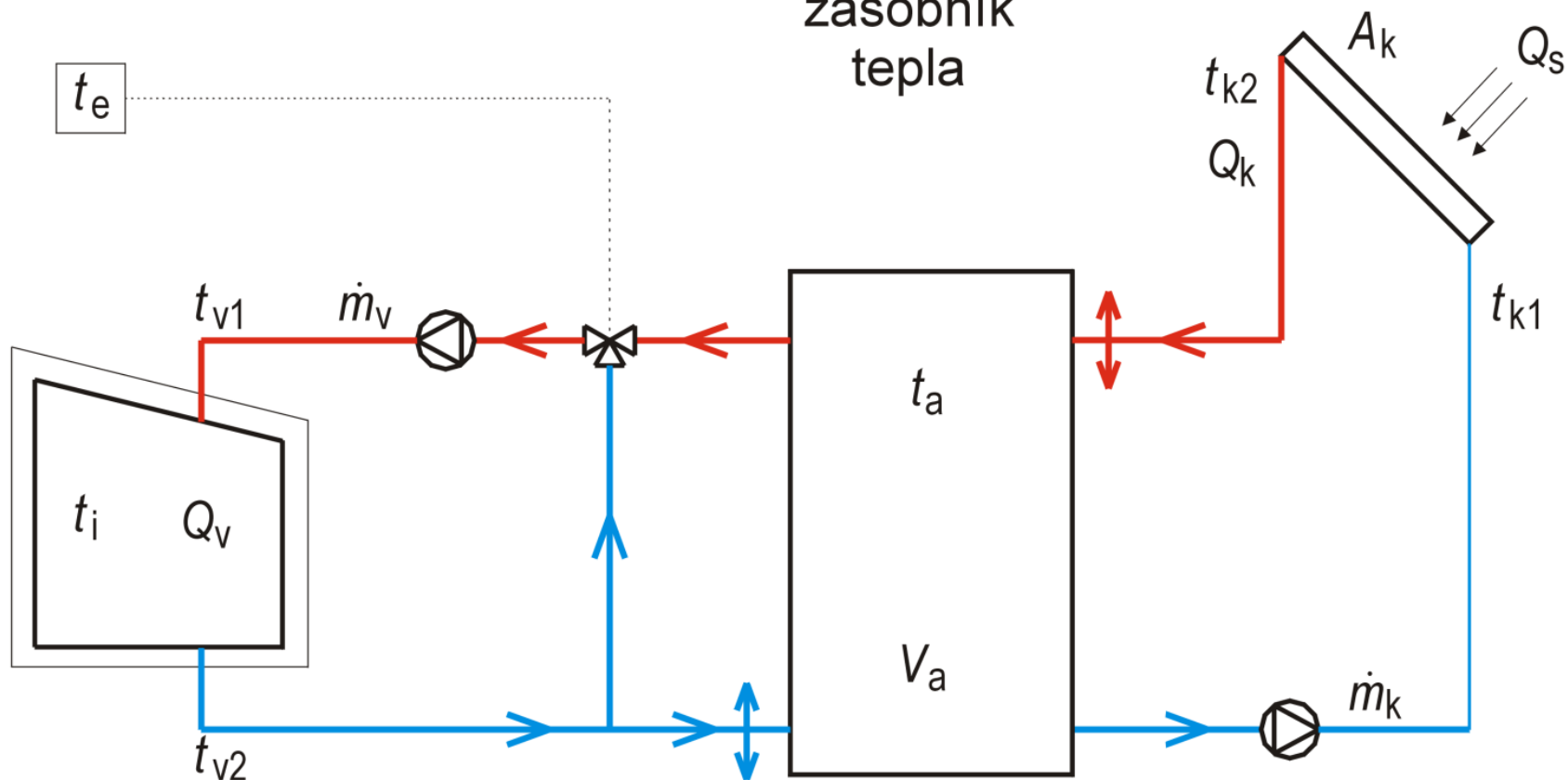


Sezónní akumulace pouze pro vytápění

nízkoenergetický
rodinný dům

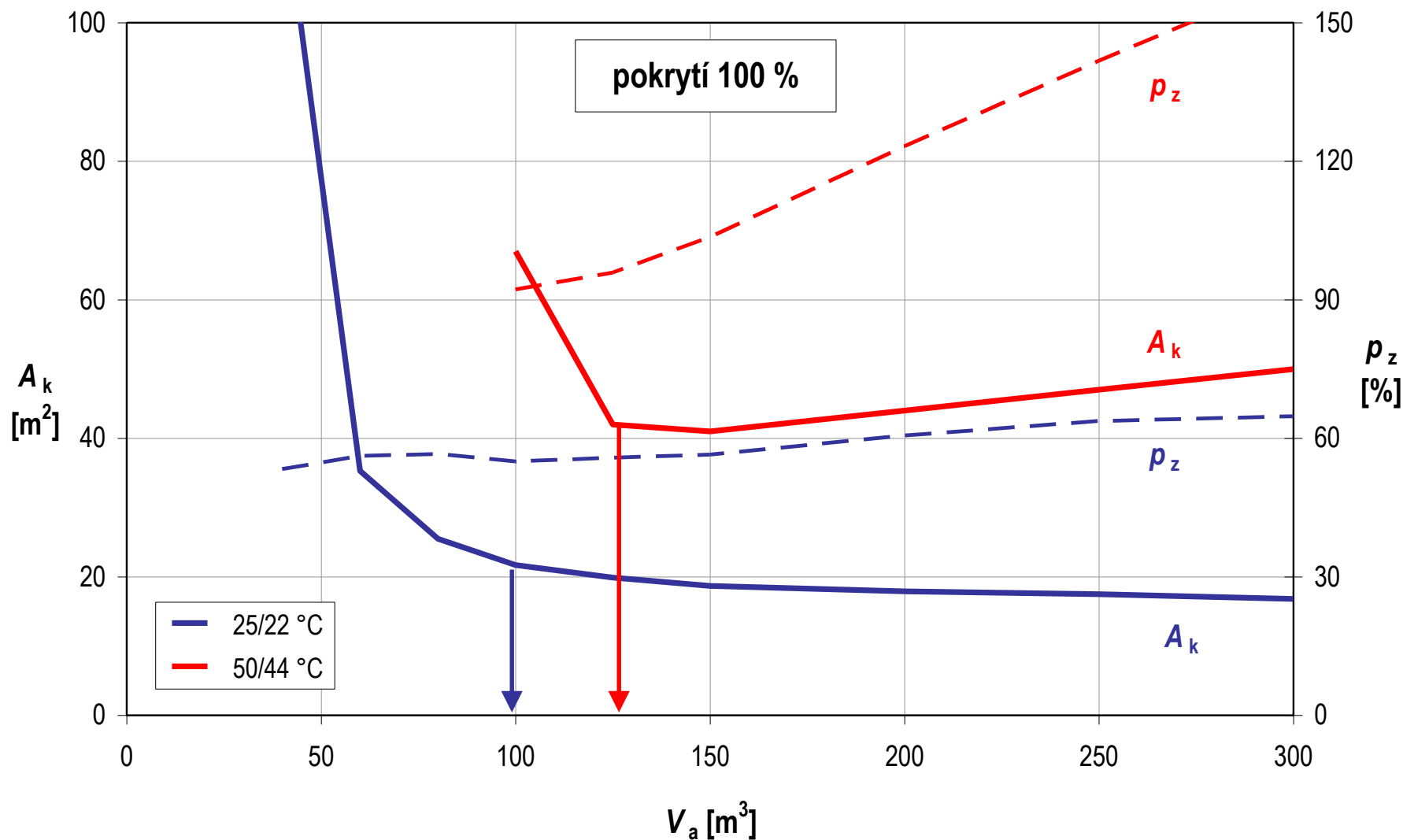
sezónní
akumulační
zásobník
tepla

solární
kolektory



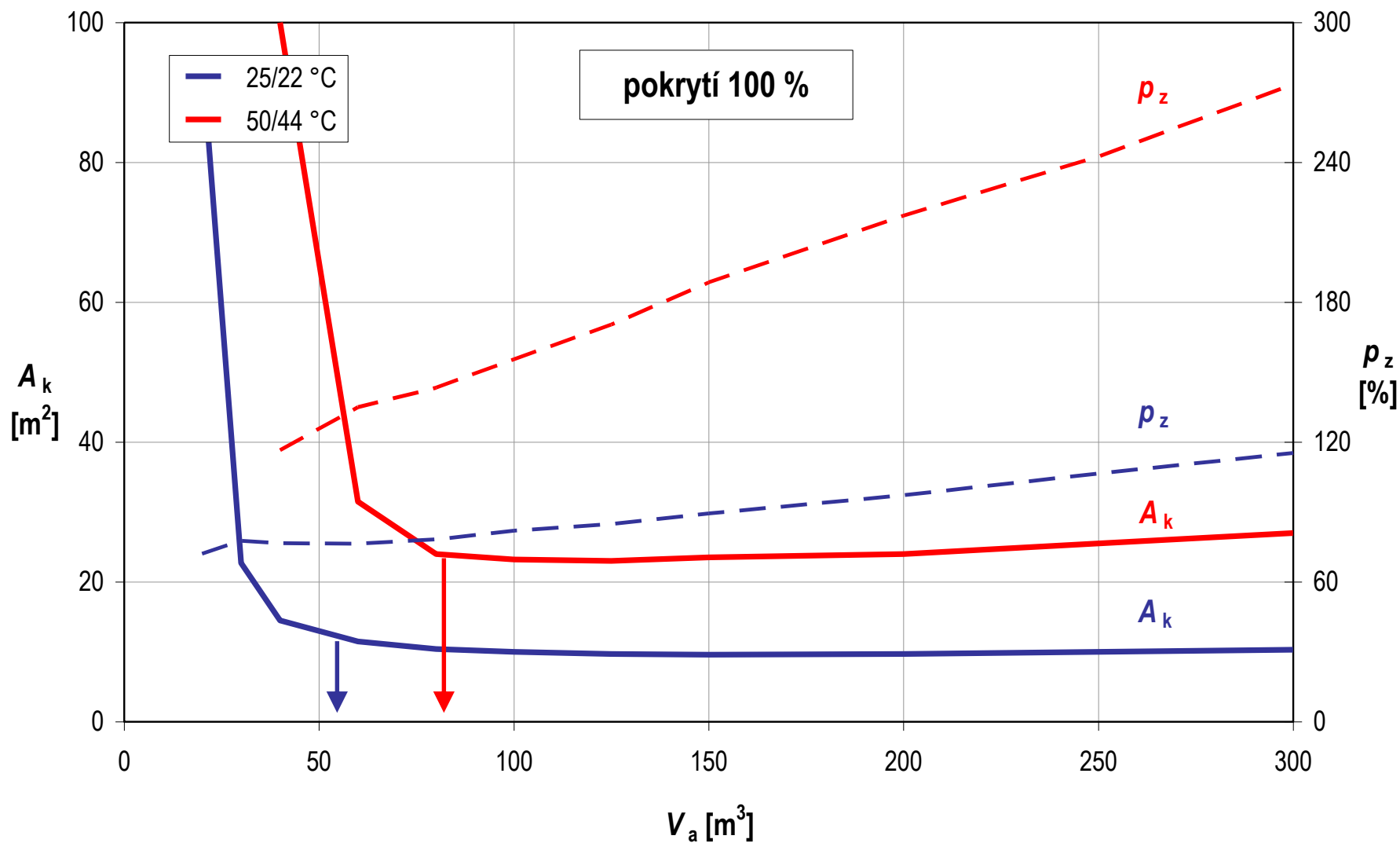


Nízkoenergetický dům (100 %)



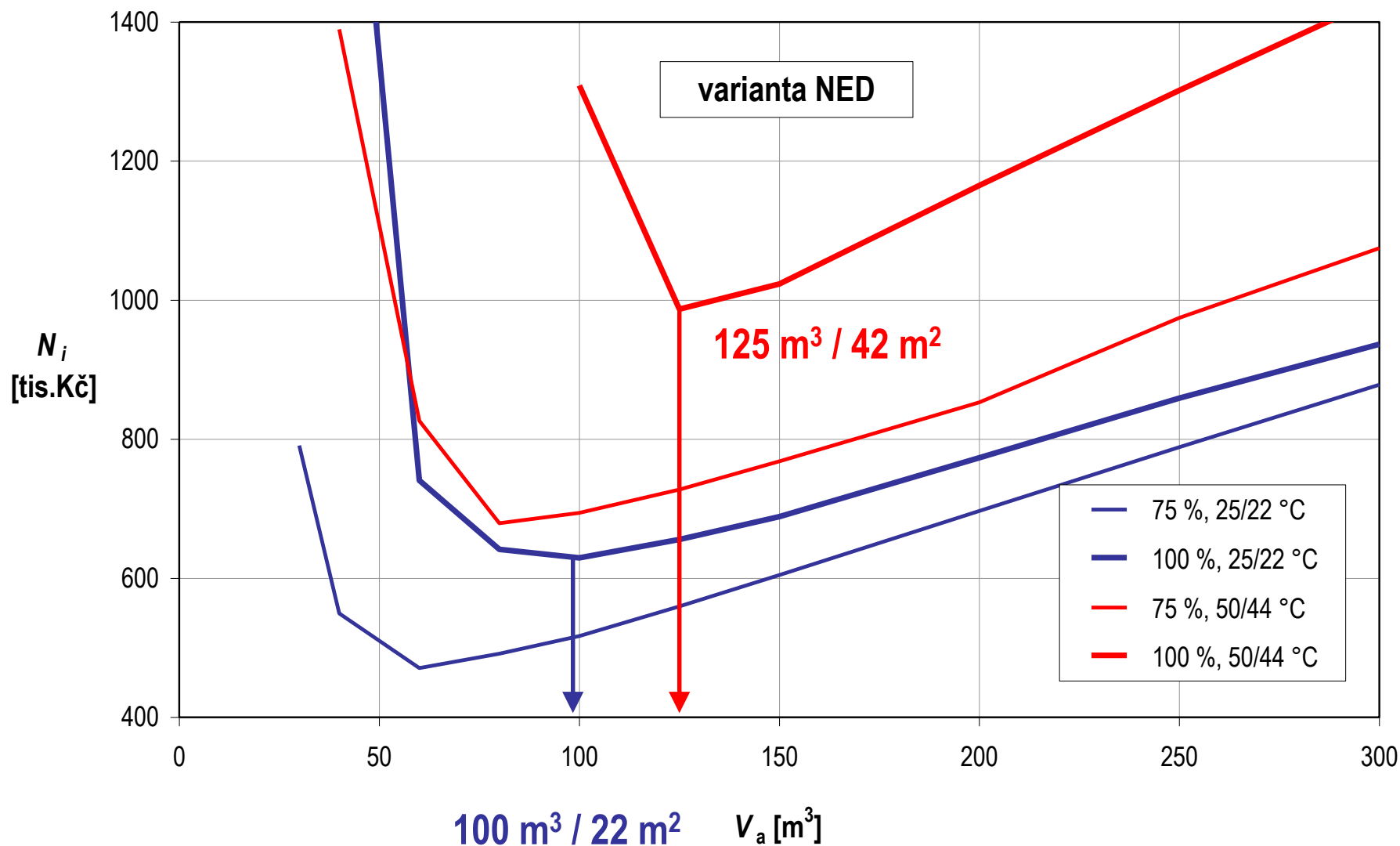


Pasivní dům (100 %)



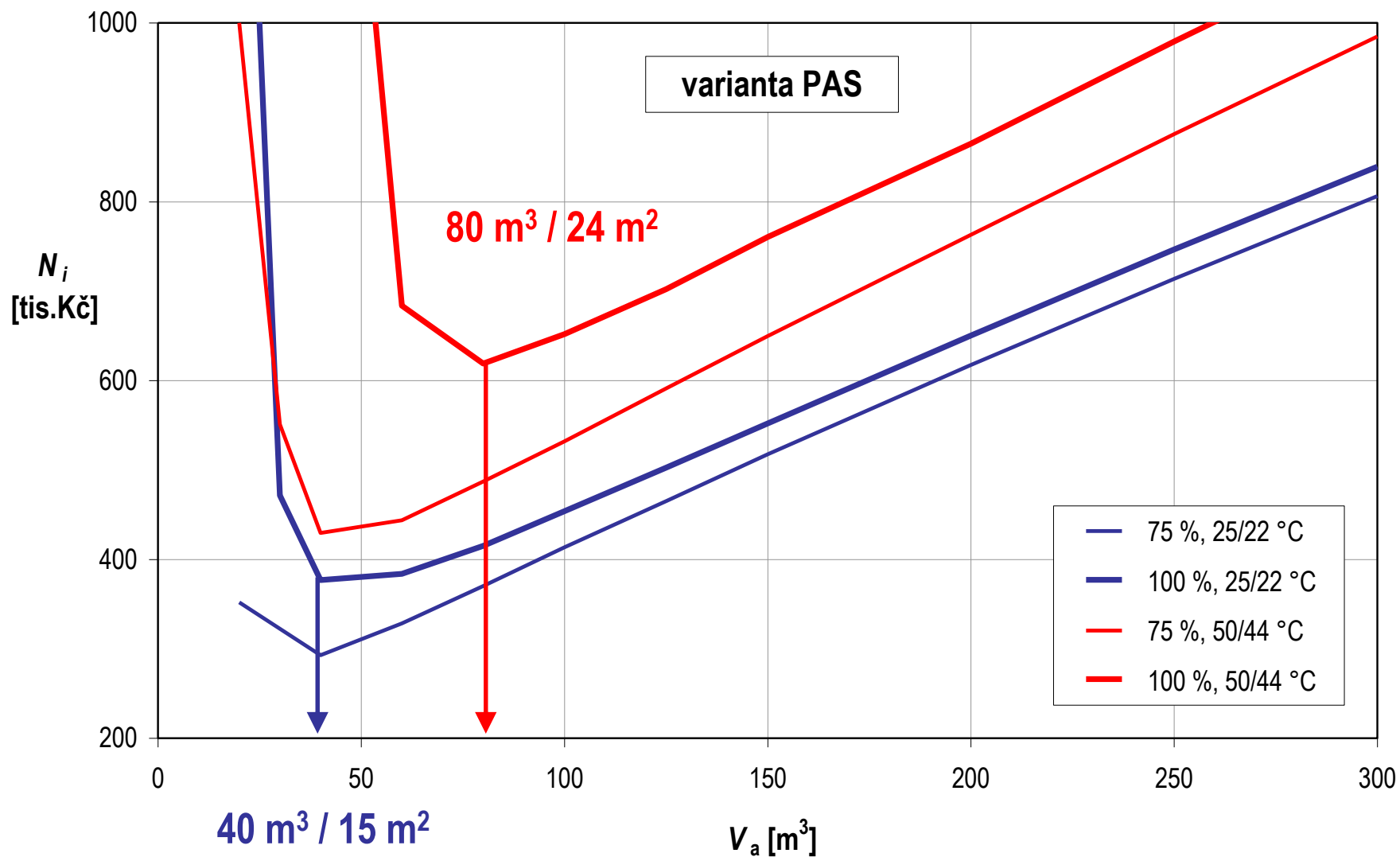


NED – nákladové optimum





PAS – nákladové optimum





Souhrnné výsledky

typ domu	Nízkoenergetický dům		Pasivní dům	
pokrytí	100 %	75 %	100 %	75 %
25/22 °C	100 m ³ /22 m ²	60 m ³ /17 m ²	40 m ³ /15 m ²	40 m ³ /9 m ²
	630 tis. Kč	470	380 tis. Kč	290
50/44 °C	125 m ³ /42 m ²	80 m ³ /28 m ²	80 m ³ /24 m ²	40 m ³ /18 m ²
	990 tis. Kč	680	620 tis. Kč	430

nízkoteplotní vytápění: snížení nákladů o 40 % (100% pokrytí)

pokrytí 100 %: zvýšení nákladů o 35 až 45 % oproti 75 %



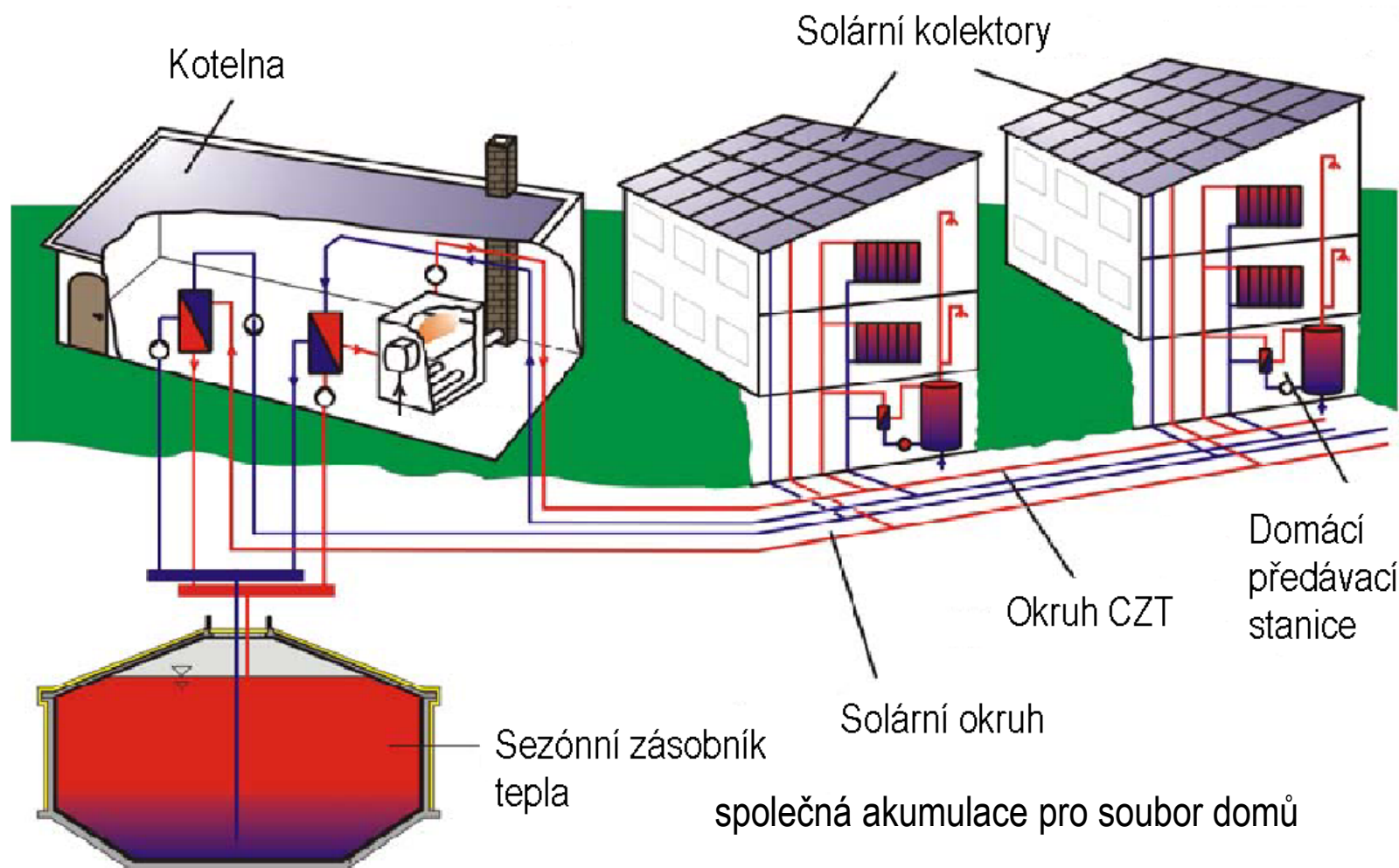
Závěry analýzy „pouze vytápění“

Pro variantu pasivního domu **PAS** s nízkoteplotní otopnou soustavou:

- **40 m³** vodního objemu zásobníku
- **14 m²** pro **100%** pokrytí
- investiční náklady > **400 tis. Kč**
- solární soustava se sezónním zásobníkem pro krytí vytápění představuje pro pasivní variantu rodinného domu zhruba 5 až 10 % ceny rodinného domu.
- **návratnost** investice se pohybuje **v řádu běžné životnosti** solární soustavy.



Sezónní akumulace pro sídliště



společná akumulace pro soubor domů

nížší ztráty, vyšší využitelnost

centrální zdroj tepla, vyrovnaní špiček – nižší emise



Návrh solární soustavy se 100% pokrytím

- výpočet potřeby tepla na vytápění
 - EN ISO 13790
 - zjednodušeně denostupňová metoda (z tepelné ztráty)

$$Q_{p,VYT,mes} = 24 \cdot d \cdot \varepsilon \cdot \dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{i,p} - t_{e,p})}{(t_{iv} - t_{ev})} \quad \text{kWh/měs}$$

- výpočet potřeby tepla na přípravu TV

$$Q_{p,TV,mes} = \frac{d \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{sv})}{3,6 \times 10^6} \quad \text{kWh/měs}$$



Teoreticky využitelný zisk kolektorů

- teoreticky využitelný tepelný zisk $Q_{k,u}$ [kWh/m²] solárních kolektorů v daném období (měsíc)

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,mes} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad \text{kWh/měs}$$

- skutečná denní dávka slunečního ozáření plochy kolektoru $H_{T,mes}$
 - *tabulky v TNI 73 0302–jednotné klimatické údaje*
- účinnost solárního kolektoru v dané aplikaci η_k
- tepelné ztráty solární soustavy - paušální procentní srážka $p = 0,5$



Účinnost solárního kolektoru

- účinnost solárního kolektoru η_k (střední měsíční účinnost)

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}$$

- pro průměrnou venkovní teplotu v době slunečního svitu $t_{e,s}$
 - *tabulky v TNI 73 0302 – **jednotné klimatické údaje***
- pro střední sluneční ozáření $G_{T,m}$ během dne na uvažovanou plochu (sklon, orientace) ... předpoklad: jasný den
 - *tabulky v TNI 73 0302– **jednotné klimatické údaje***
- pro průměrnou teplotu kapaliny $t_{k,m}$ v kolektoru
 - *viz dále*



Provozní teplota solární soustavy

- průměrná měsíční teplota kapaliny $t_{k,m}$ v kolektoru

$$t_{k,m} = t_{aku,m} = \frac{(t_{\max} + t_{\min})}{2} + \frac{(t_{\max} - t_{\min})}{2} \sin\left(2\pi \frac{M+6}{12}\right)$$

- $t_{\min}$ minimální teplota vybitého zásobníku

pouze vytápění $t_{\min} = 30 \text{ °C}$

vytápění a TV $t_{\min} = 50 \text{ °C}$

- $t_{\max}$ maximální teplota nabitého zásobníku

$t_{\max} = 70 \text{ až } 80 \text{ °C}$



Návrh prvků soustavy

- určení ročního měrného zisku

$$q_{k,u,rok} = \sum_1^{12} 0,9 \cdot \eta_{k,i} \cdot H_{T,i} \cdot (1 - p) \quad \text{kWh/m}^2.\text{rok}$$

- návrh plochy kolektorů

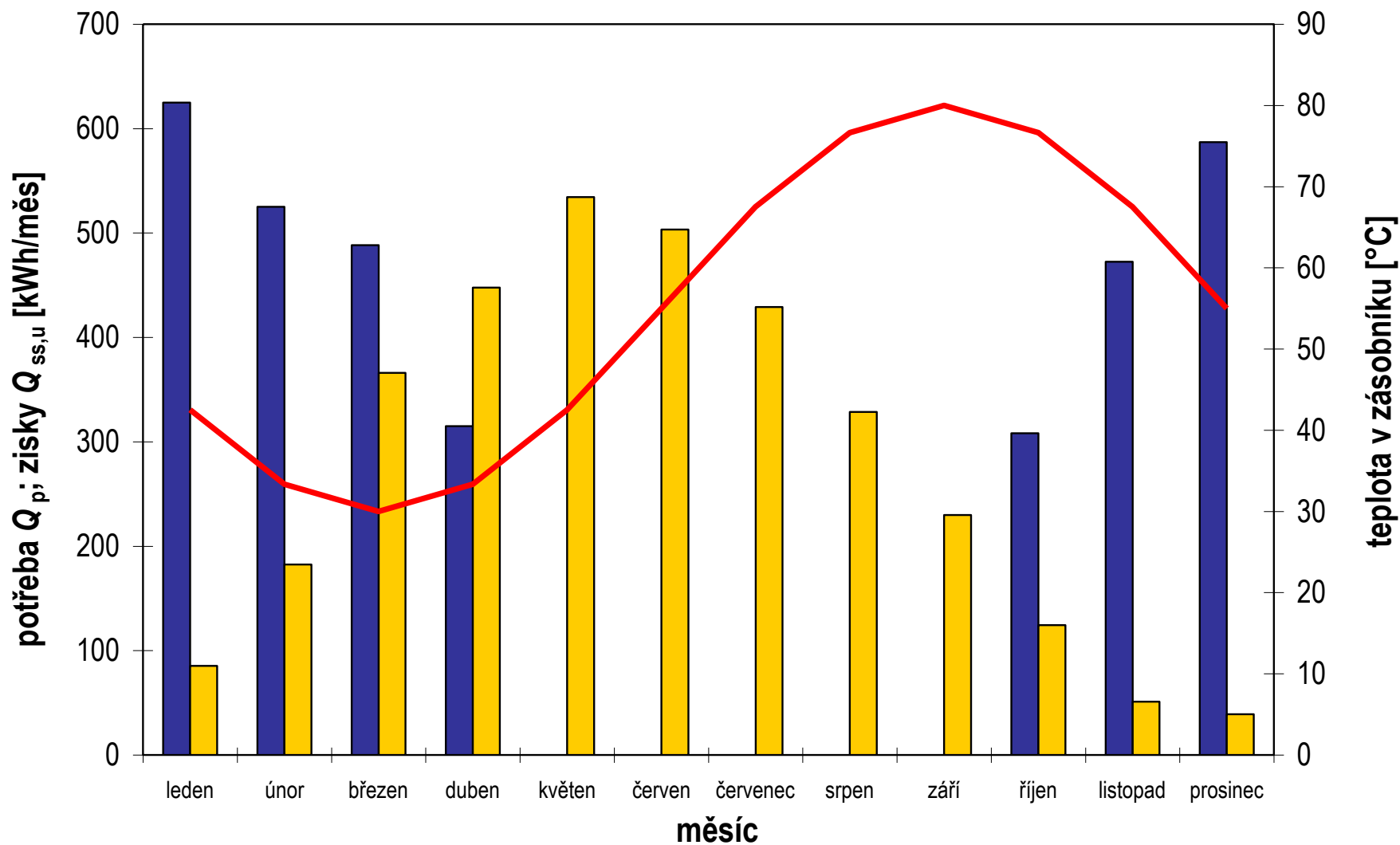
$$A_k = \frac{Q_{p,rok}}{q_{k,u,rok}} \quad \text{m}^2$$

- návrh objemu zásobníku

$$V_{aku} = \frac{3,6 \times 10^6 \cdot Q_{p,rok}}{1000 \cdot 4187 \cdot (t_{\max} - t_{\min})} \quad \text{m}^3$$



Bilance





Zásobníky tepla

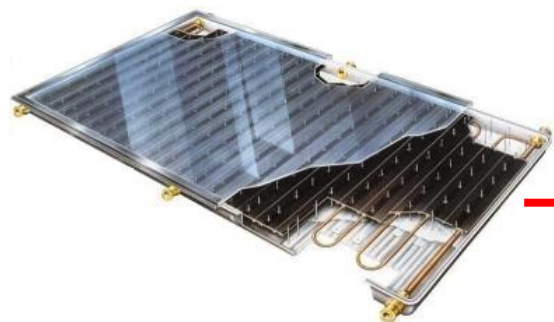
- vodní zásobníky
- PCM zásobníky
- návrh objemu
- stratifikace
- tepelné ztráty





Akumulace pro solární tepelnou techniku

nepravidelná
dodávka tepla



nepravidelná
spotřeba tepla



- během dne
- během roku

AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK = SRDCE SOLÁRNÍ SOUSTAVY

vysoce účinný kolektor + neúčinný zásobník = neúčinná soustava



Kritéria systémů akumulace

- hustota akumulace (kapacita)
- velikost akumulátoru (prostorové nároky)
- účinnost (ztráty, využitelnost akumulované energie - exergie)
- cena
- životnost
- bezpečnost
- ekologie



Typy akumulace

■ akumulace s využitím citelného tepla

- využití tepelné kapacity látek, úměrné rozdílu teplot
- hustota akumulace: **100 až 300 MJ/m³**

**komerčně dostupné
tepelné ztráty**

■ akumulace s využitím skupenského tepla

- využití změny skupenství tání-tuhnutí (při konst. teplotě) + tepelné kapacity
- hustota akumulace: **200 až 500 MJ/m³**

■ akumulace s využitím sorpčního tepla

- akumulace vodní páry v tuhé (**adsorpce**)
nebo kapalně (**absorpce**) látce, uvolňování tepla při sorpci
- hustota akumulace: **500 až 1000 MJ/m³**

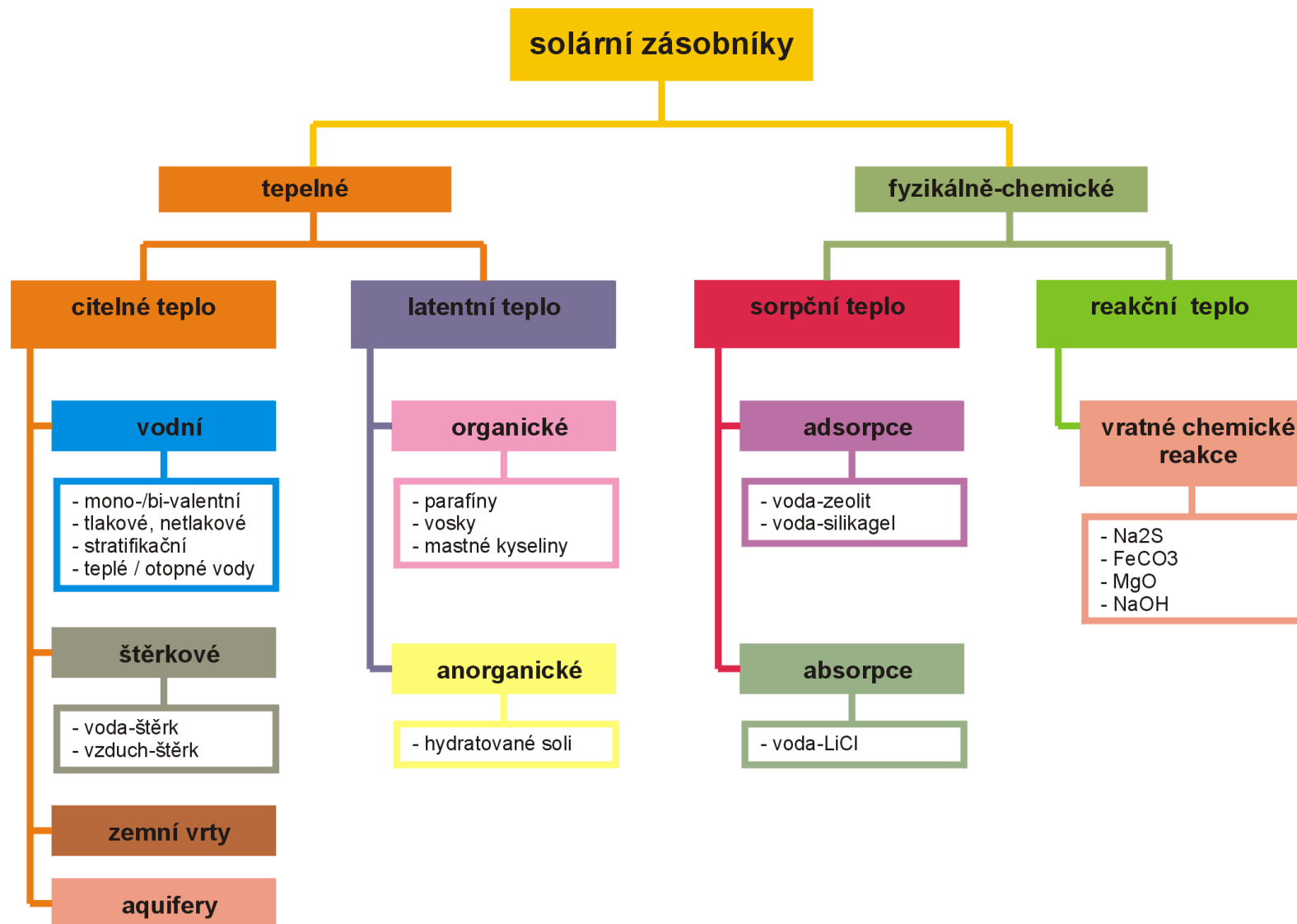
**ve vývoji, bezztrátové
skladování tepla**

■ akumulace s využití chemických reakcí

- vratné chemické reakce doprovázené jímáním – uvolňováním tepla
- hustota akumulace: **1000 až 3000 MJ/m³**



Zásobníky tepla - rozdělení





Akumulace s využitím citelného tepla

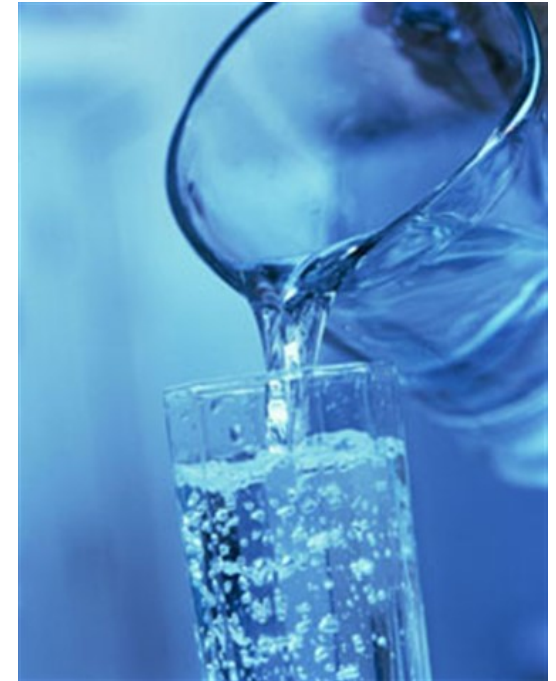
$$Q = \int_{t_1}^{t_2} V \cdot \rho \cdot c \cdot dt = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2)$$

Pracovní látka	Rozsah teplot Δt [°C]	Měrná tepelná kapacita c [Wh/kg.K]	Hustota ρ [kg/m³]	Objemová tepelná kapacita $\rho \cdot c$ [Wh/m³.K]
voda	0-100	1,16	998	1160
vzduch	-50-1000	0,28	1,1	0,31
olej	0-400	0,44-0,5	800-900	350-450
štěrk,písek	0-800	0,2	1800-2000	360-390
granit	0-801	0,21	2750	570
beton	0-500	0,24	1900-2300	460-560
cihla	0-1000	0,23	1400-1900	330-440
železo	0-800	0,13	7860	1000
štěrkovodní zásyp (37%vody)	0-100	0,37	2200	810



Voda jako akumulční látka

- dostupná
 - levná
 - netoxická
 - nehořlavá
 - výborné přenosové vlastnosti (vodivost)
 - vysoká tepelná kapacita
-
- omezený rozsah použití (0 až 100 °C)
 - malé povrchové napětí (úniky netěsnostmi)
 - korozivita



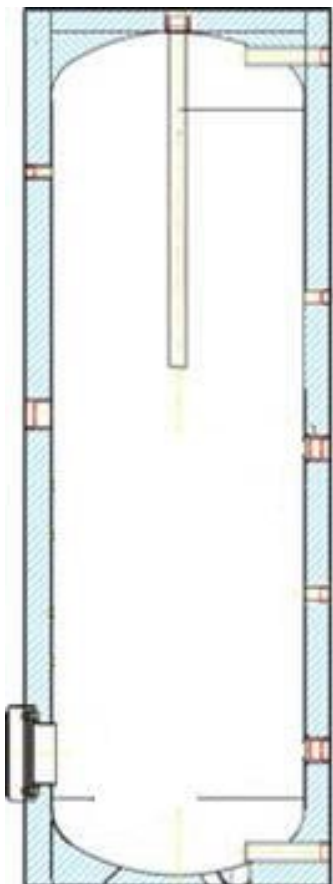


Typy zásobníků

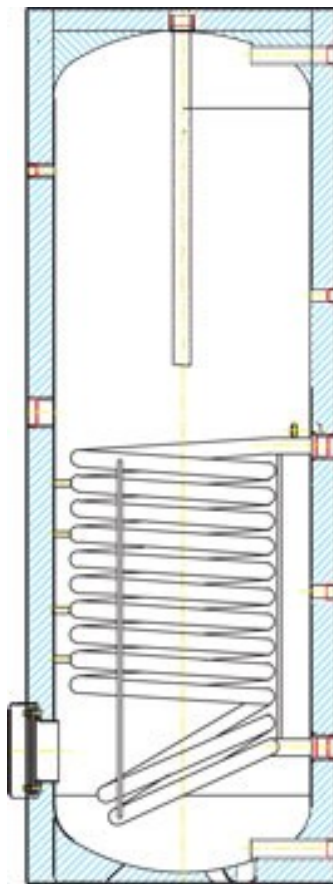
- **podle účelu použití**
 - zásobníky teplé vody
 - zásobníky otopné vody, zásobníky tepla, kombinované
- **podle teplosměnné plochy (počtu)**
 - nádrže (0), monovalentní (1), bivalentní (2), trivalentní (3), ...
- **podle tlaku**
 - tlakové
 - netlakové (volná hladina)
- **podle periody akumulace**
 - krátkodobé (denní, několikadenní)
 - dlouhodobé (sezónní)



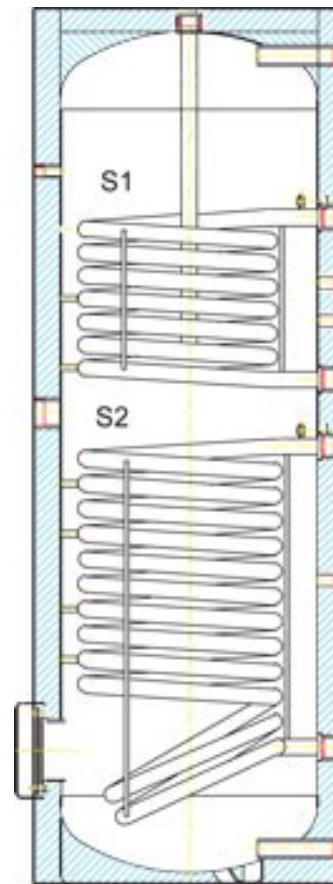
Vodní zásobníky TV – teplosměnné plochy



nádrže



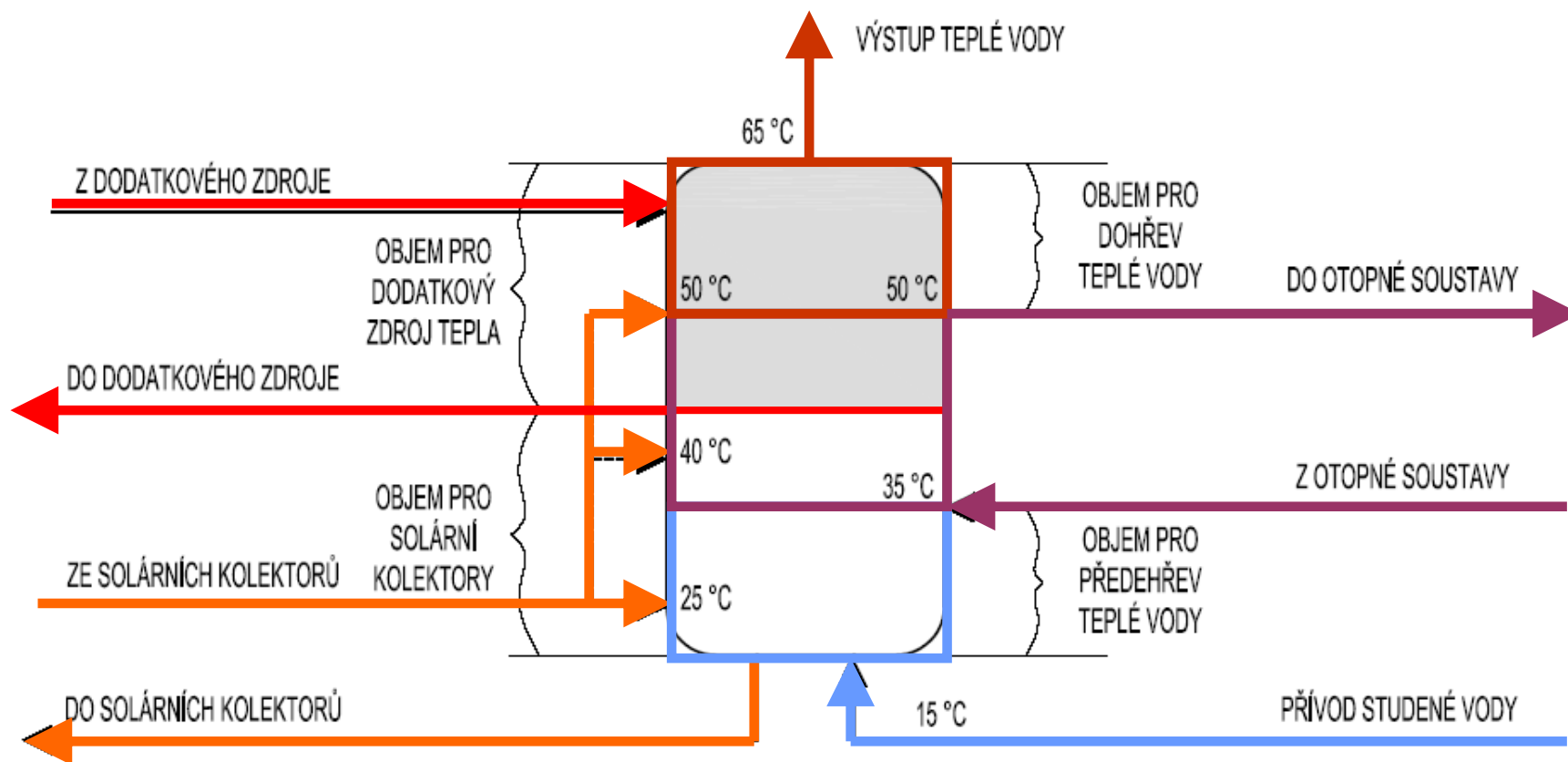
monovalentní



bivalentní



Vodní zásobníky kombinované (TV+VYT)

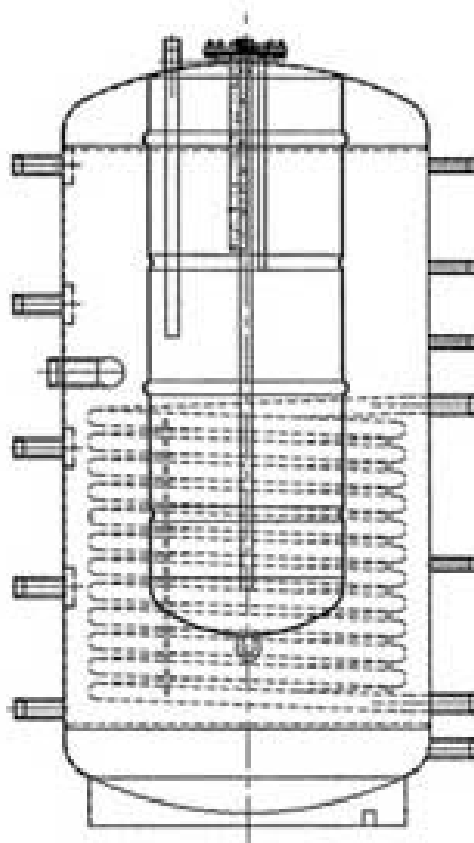




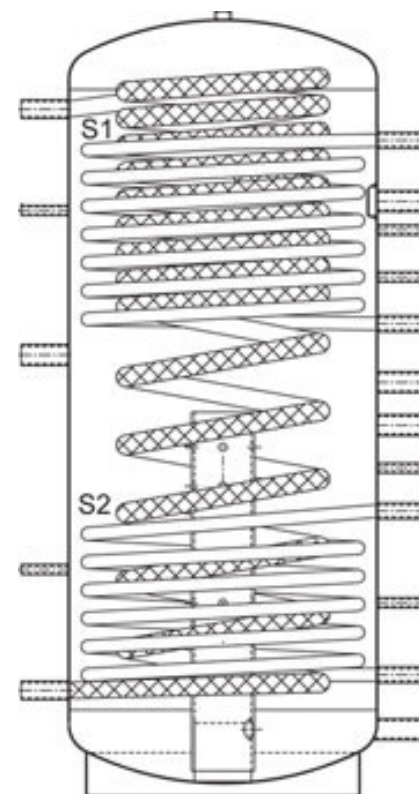
Vodní zásobníky – kombinované (TV+VYT)



s průtočným výměníkem



nádrž v nádrži

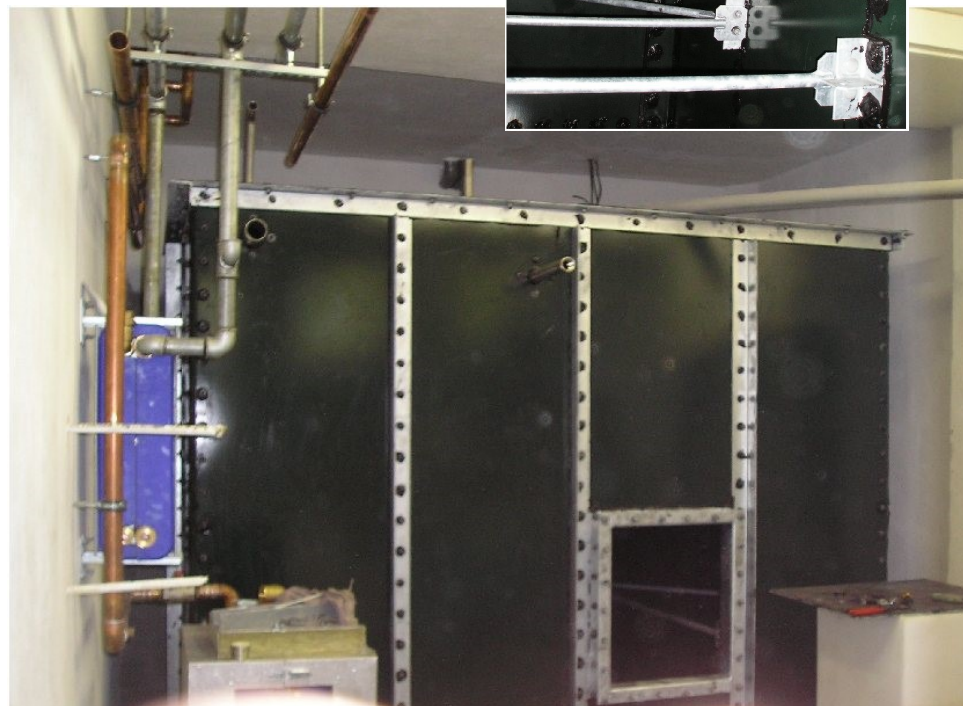


průtočný akumulční
výměník



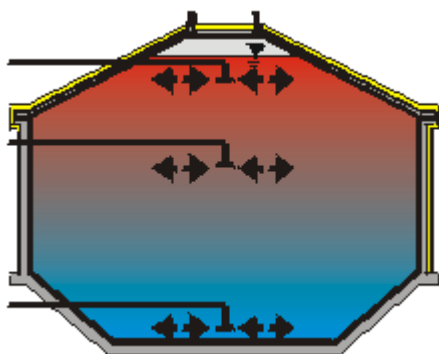
Zásobníky tepla

- tlakový zásobník x netlakový
 - umístění velkých objemů při rekonstrukcích

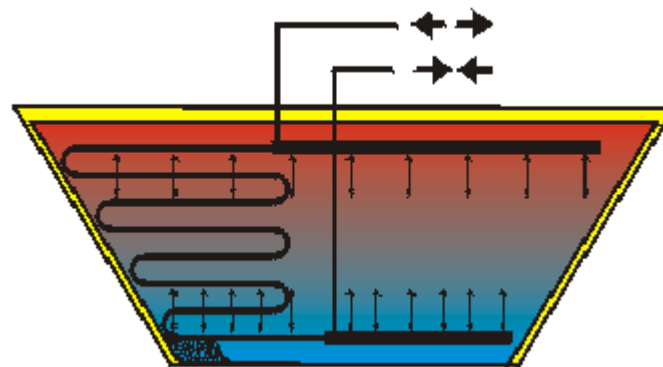




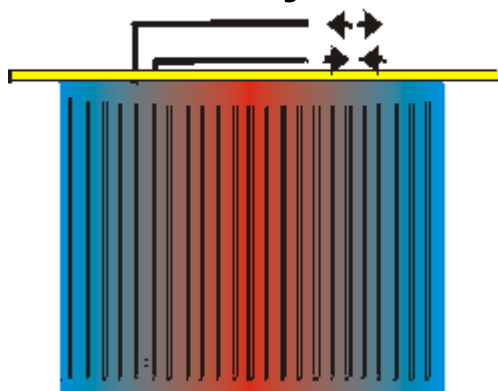
Sezónní zásobníky tepla



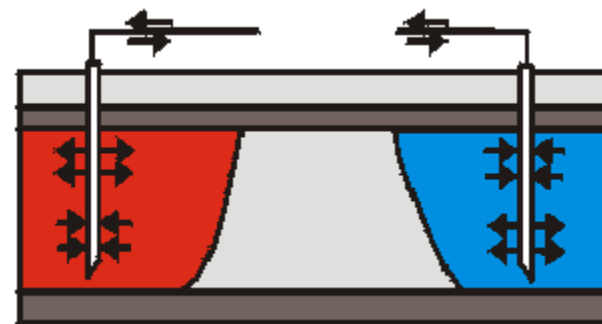
**vodní
zásobníky**



**štěrko-vodní
zásobníky**



**zemní
sondy**



aquifery



Sezónní zásobníky tepla

vodní zásobníky



šěrko-vodní zásobníky



zásobníky

zemní sondy



aquifery



zemský
masiv



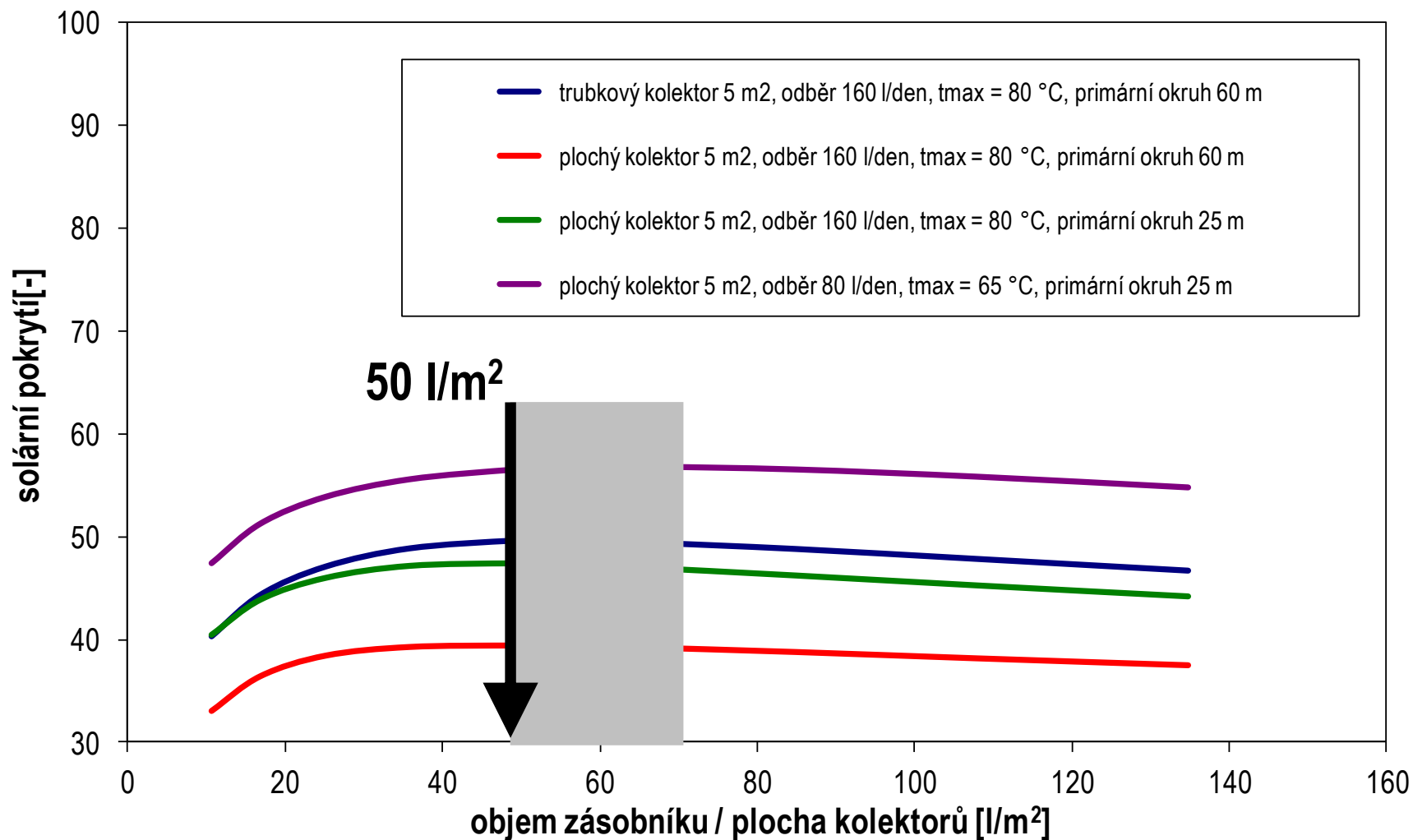
Jak velký solární zásobník ?

- **příprava teplé vody**
 - 50 l/m² kolektorové plochy
- **podpora vytápění**
 - 50 až 70 l/m² kolektorové plochy
 - závisí, zda je zároveň zásobníkem pro jiný zdroj tepla
 - dřevokotel s ručním přikládáním 50 l/kW
 - automatický na pelety 25 l/kW
 - tepelné čerpadlo 30 l/kW
 - plynový kotel kondenzační 25 l/kW





Porovnání velikosti akumulace





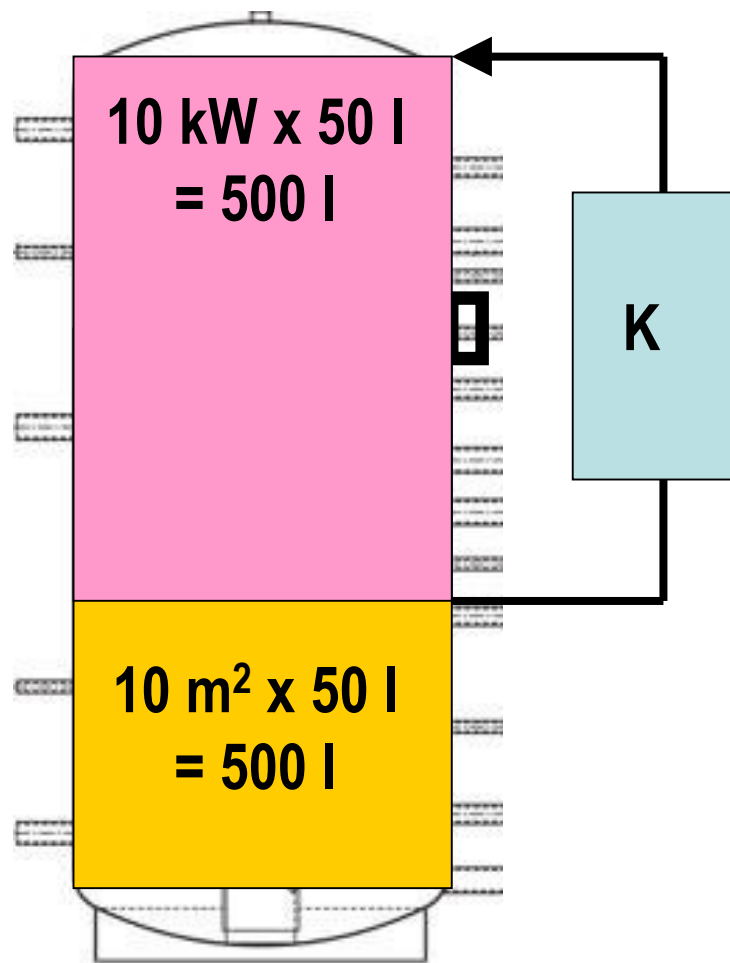
Jak velký solární zásobník ?

- **kombinovaný zásobník**

- společný pro solární soustavu a hlavní zdroj tepla

- **příklad**

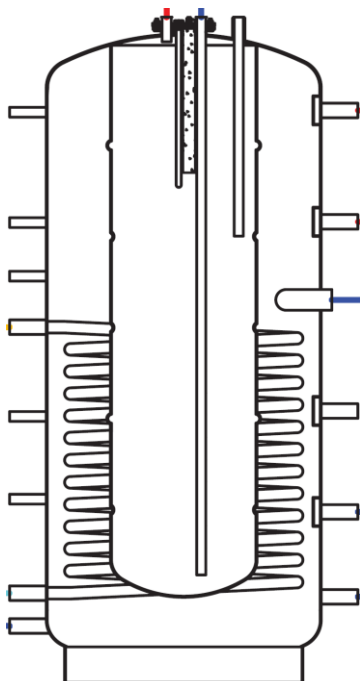
- solární soustava 10 m²
- kotel na dřevo 10 kW
- 2/3 objemu = cca 500 l
- zásobník 750 l





Jaký kombinovaný solární zásobník ?

nádrž v nádrži

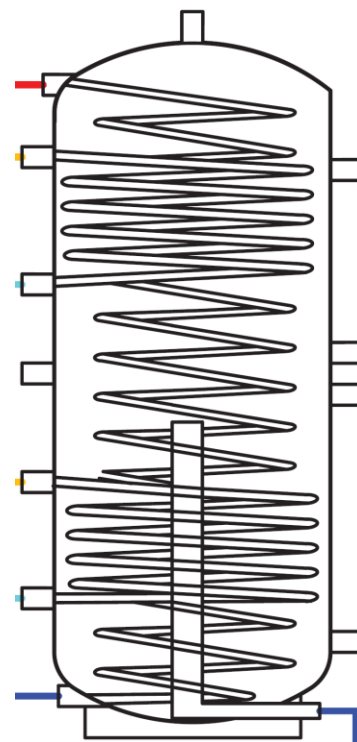


malá teplosměnná plocha

malé odběry

1 – 2 osoby

trubkový výměník



více než 2x větší plocha

větší odběry

3 - 4 osoby

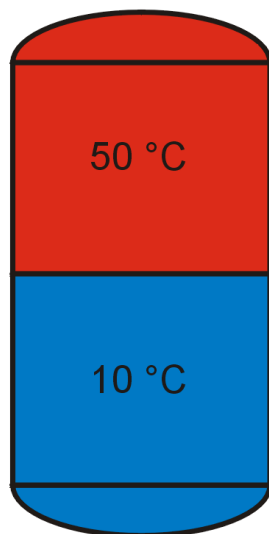


Exergie = využitelná energie (teplota)

využitelnost naakumulované energie ~ využitelné teplotě

teplotně rozvrstvený

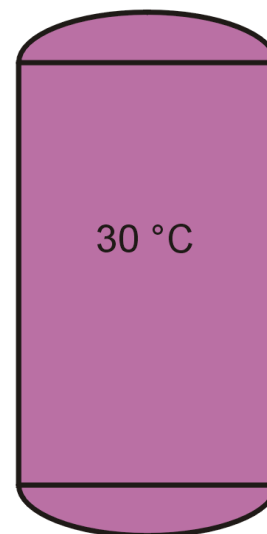
150 l při 50 °C



300 l

zcela promíchaný

150 l při 30 °C



300 l

teplotní vrstvení = vysoká účinnost, vysoké pokrytí



Faktory ovlivňující vrstvení

- štíhlost zásobníku: poměr výška / šířka
- přívod teplé vody
- odběr teplé vody
- přívod studené vody
- tepelné ztráty zásobníku
- vertikální vedení tepla ve stěně zásobníku
- vedení pracovní látkou zásobníku

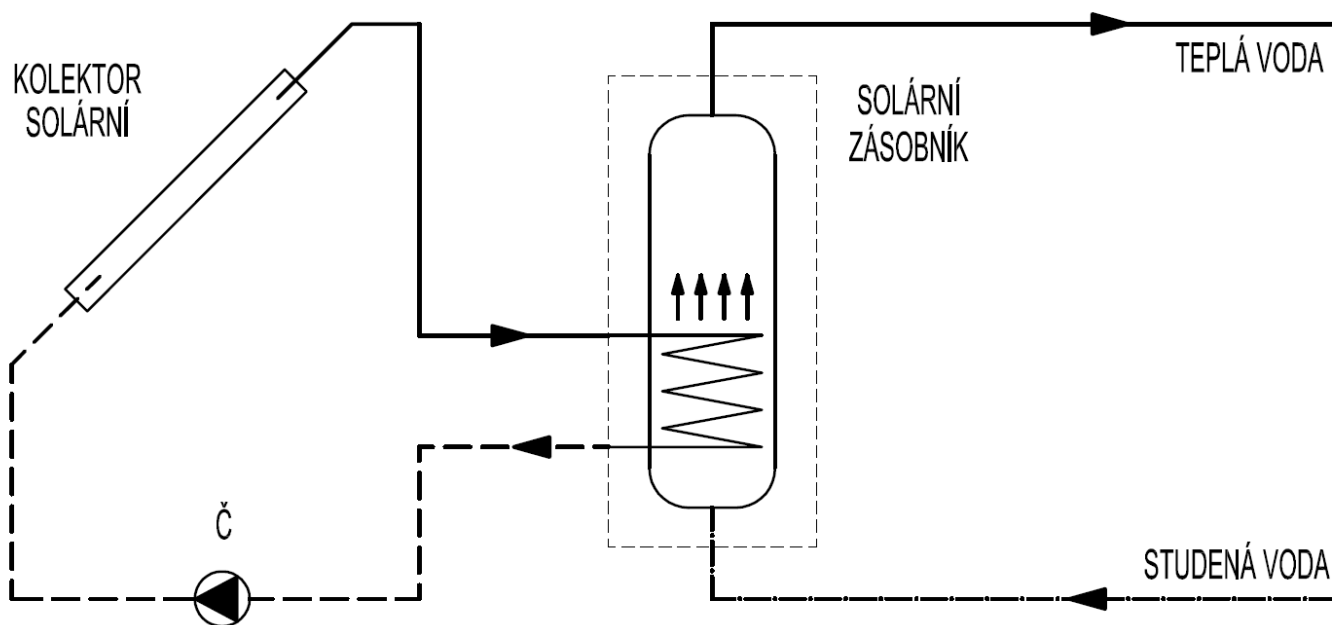


Vliv přívodu a odběru tepla

nepřímé nabíjení – přímé vybíjení

maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody

výměník v dolní chladné části – účinnost kolektoru, využití objemu



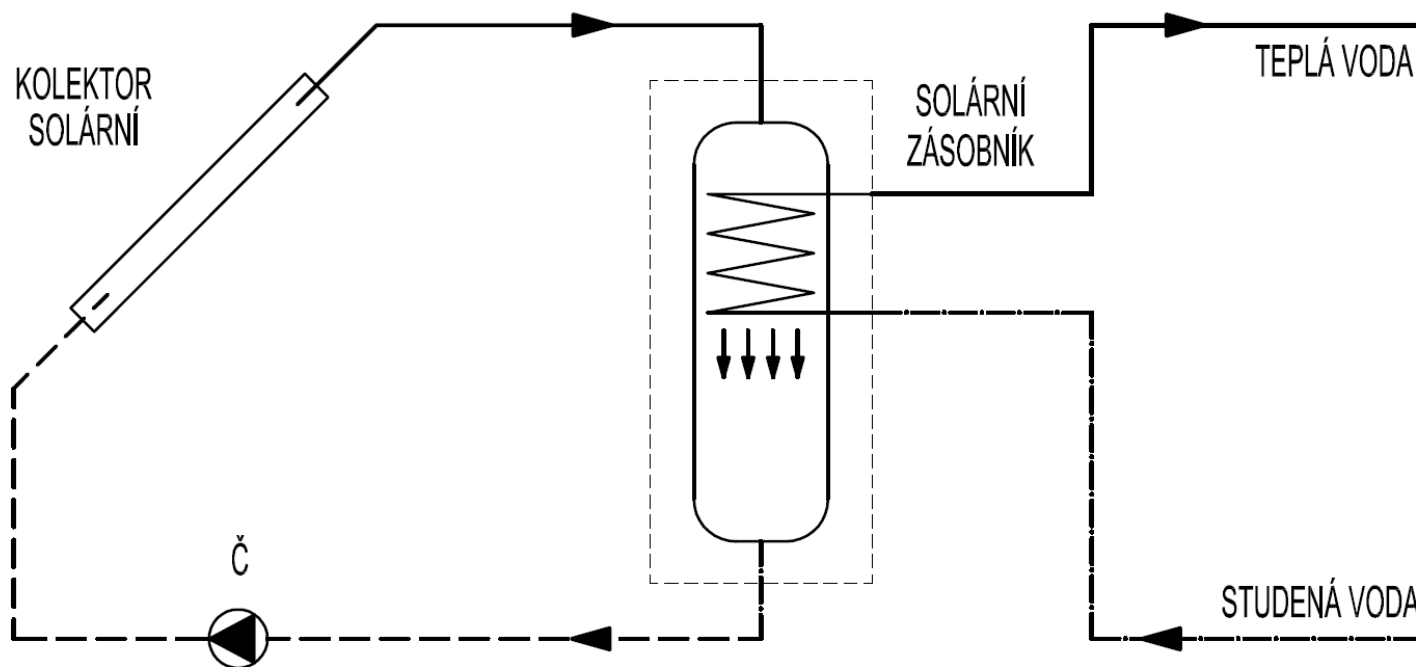


Vliv přívodu a odběru tepla

přímé nabíjení – nepřímé vybíjení

větší solární soustavy s externím výměníkem (kombinované soustavy)

nevhodné umístění výměníku (obr), lépe po celé výšce



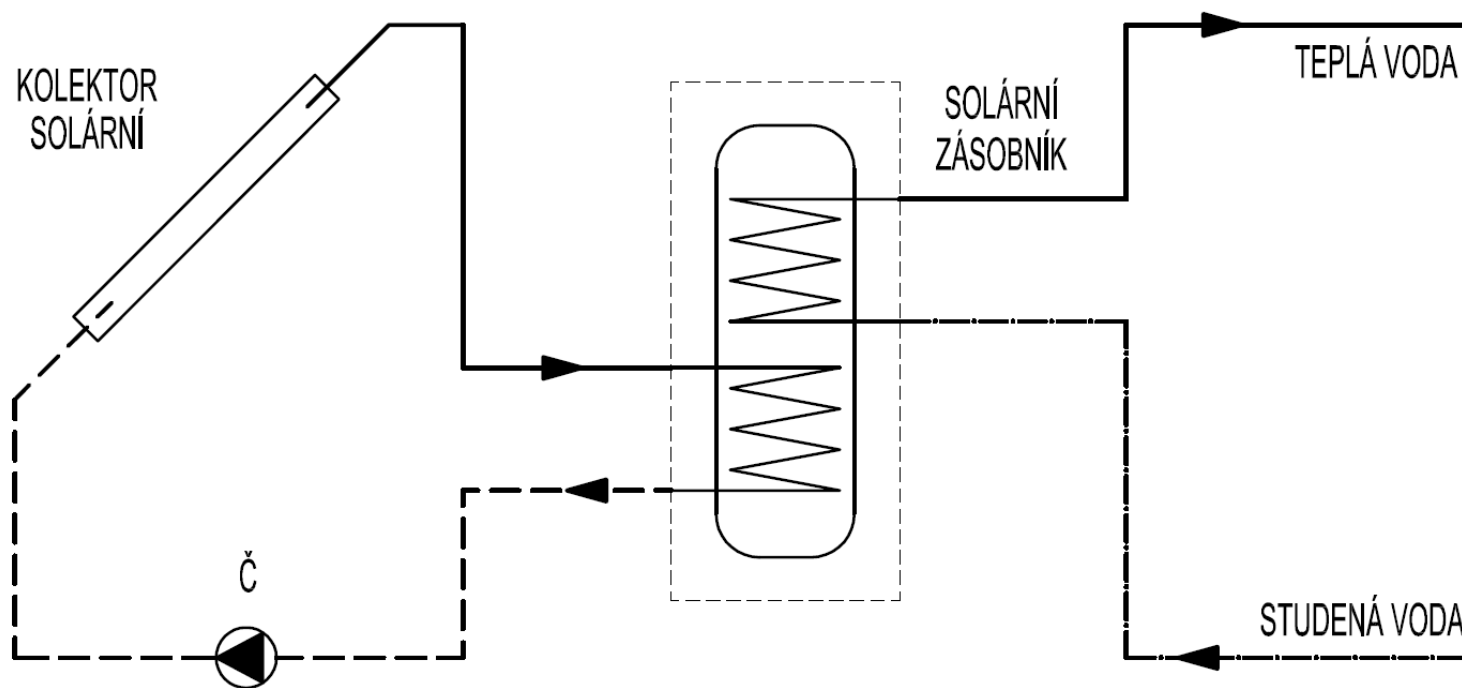


Vliv přívodu a odběru tepla

nepřímé nabíjení – nepřímé vybíjení

jednoduché kombinované solární soustavy soustavy

z hlediska vrstvení je zapojení podle obr nejméně účinné (promíchání)



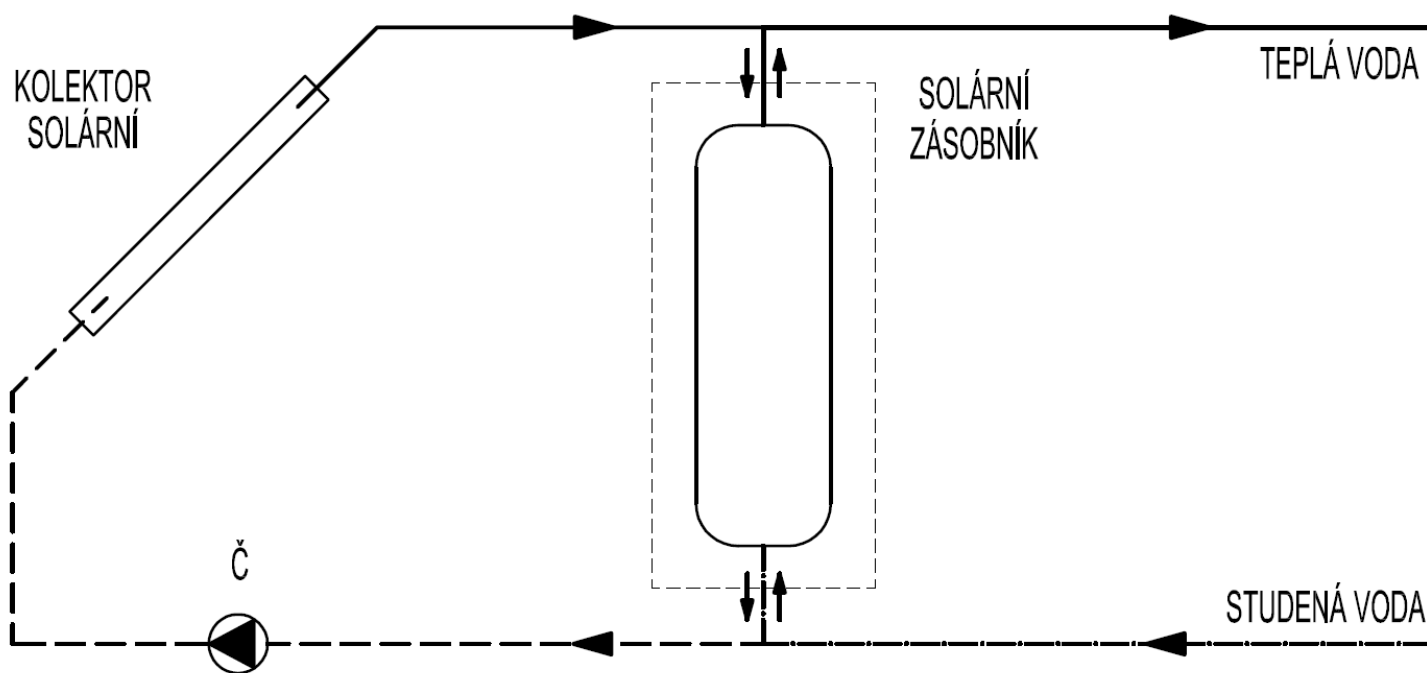


Vliv přívodu a odběru tepla

přímé nabíjení – přímé vybíjení

pokročilé zásobníky s teploním vrstvením

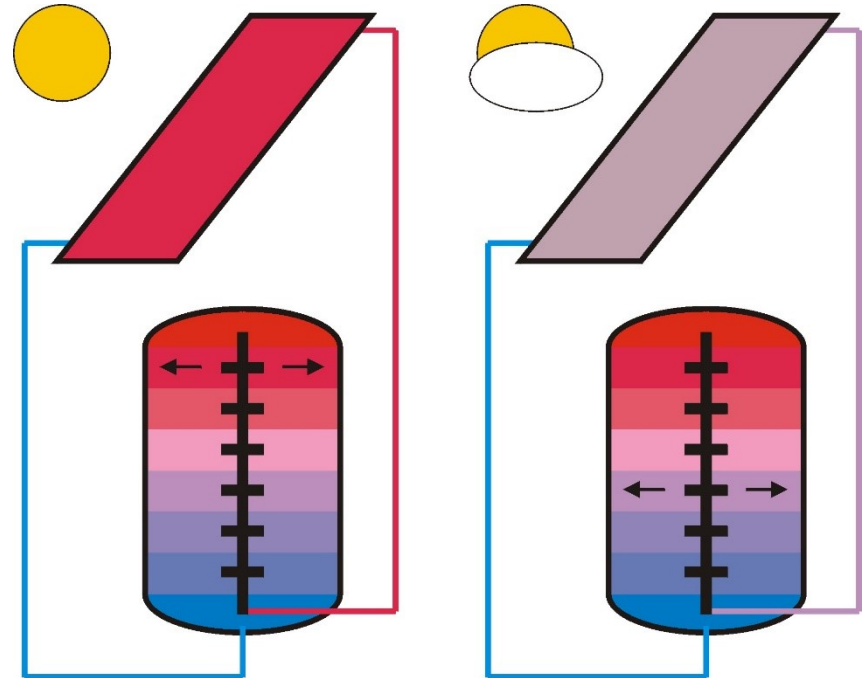
nabíjení i vybíjení po vrstvách (pístový efekt)





Zásobníky tepla se řízeným vrstvením

- **stratifikace** (teplotní vrstvení) objemu zásobníku podle teploty – ukládání tepla do vrstev o podobné teplotě
 - v horní části je výrazně vyšší teplota než ve spodní části (udržuje se studená)
 - snížení potřeby dodatkové energie
-
- zvýšení využití solárních zisků



zvýšení solárního podílu

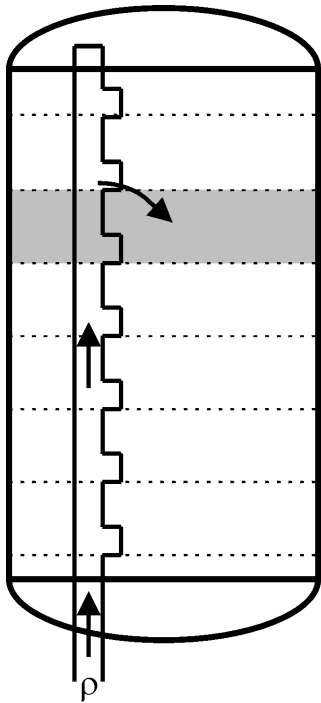


Zásobníky tepla se řízeným vrstvením

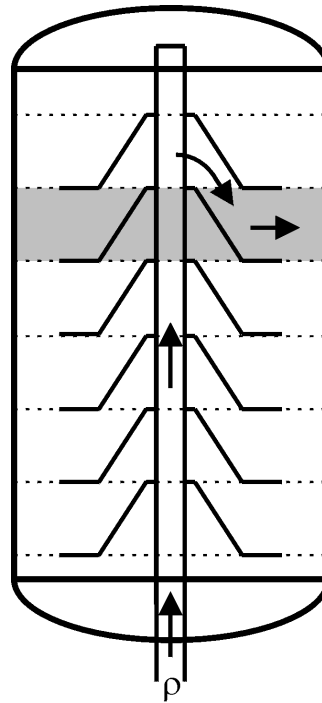
- předpokladem je nízký průtok (low flow) dosažení vyššího teplotního rozdílu na kolektoru (30 až 40 K)
- např. řízení soustavy na konstantní výstupní teplotu, „once – through“ režim – ohřev na požadovanou teplotu při jediném průchodu teplonosné kapaliny kolektorem
- stratifikační vestavby
 - aktivní
 - pasivní



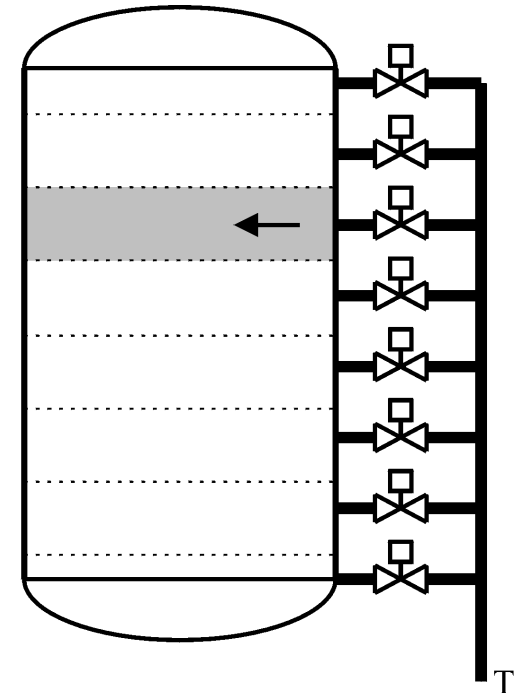
Řízené teplotní vrstvení



přívod do teplotně podobné vrstvy na základě podobné hustoty (pasivní)



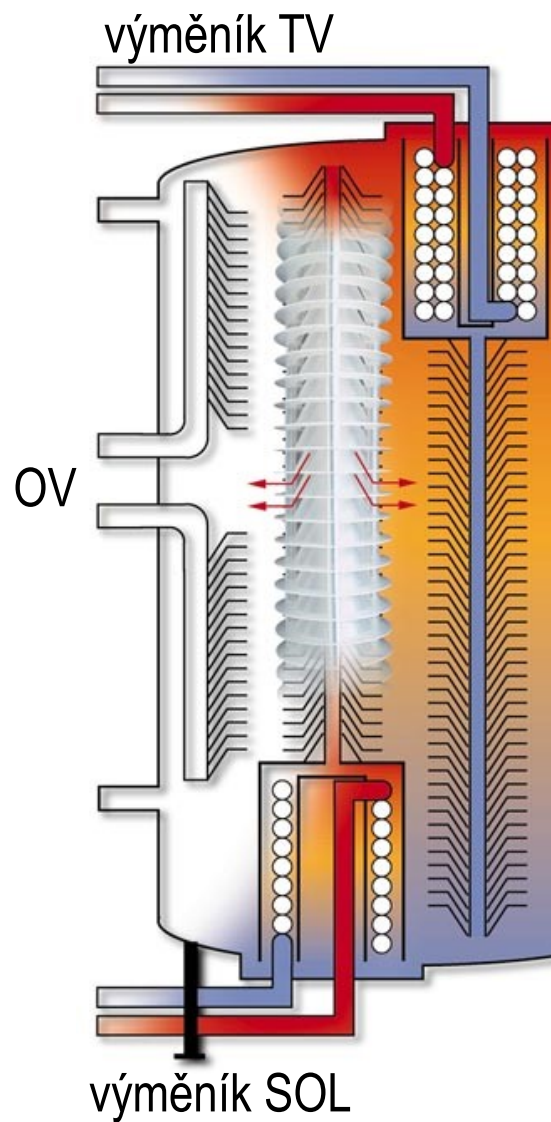
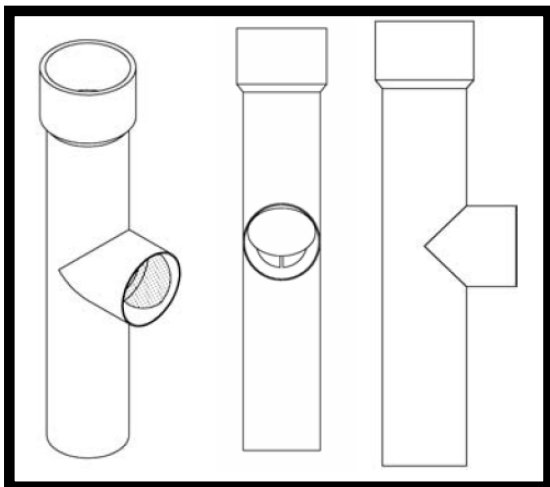
$T_7 > T$
 $T_6 < T$
 $T_5 < T$



pokročilá regulace aktivní prvky

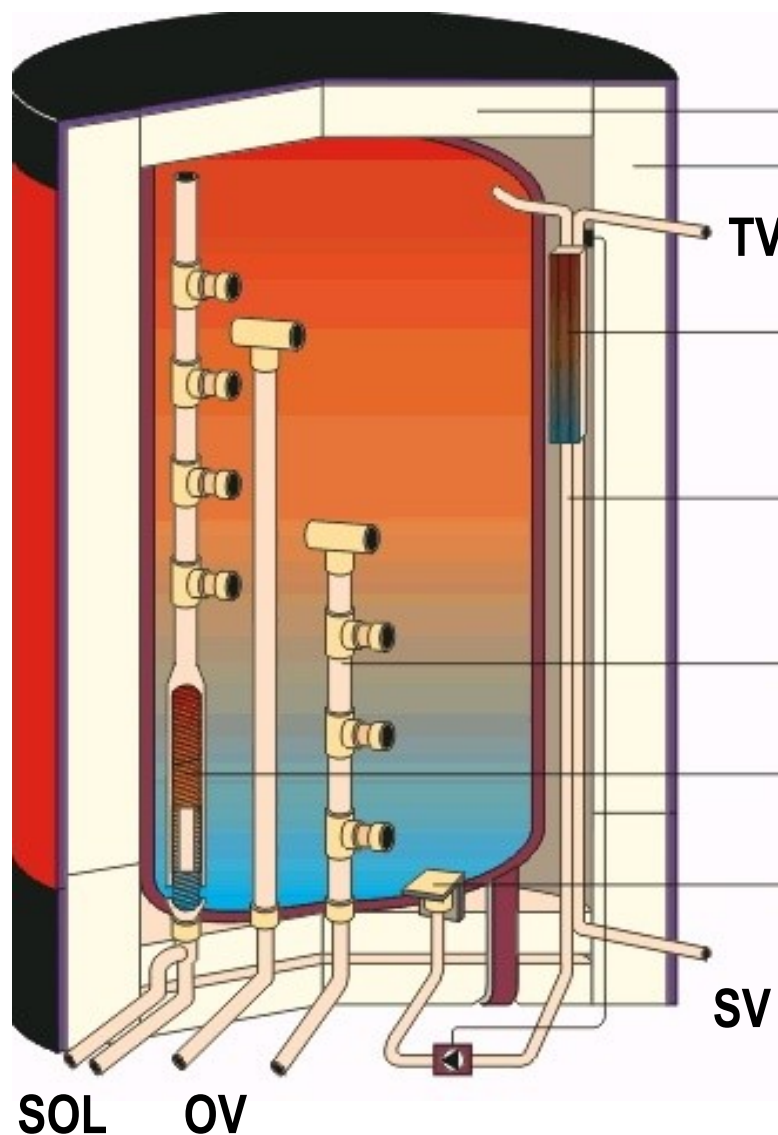


Stratifikační vestavby





Stratifikační vestavby



izolace

TV

výměník pro přípravu teplé vody (TV)

potrubí

stratifikace zpátečky otopné vody (OV)

stratifikační vestavba s integrovaným
výměníkem

přívod vychlazené vody z výměníku TV

SV

SOL

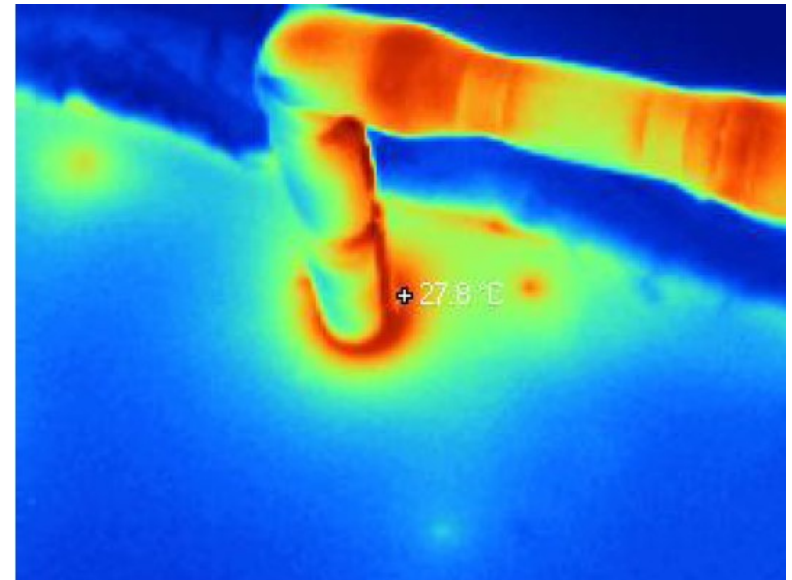
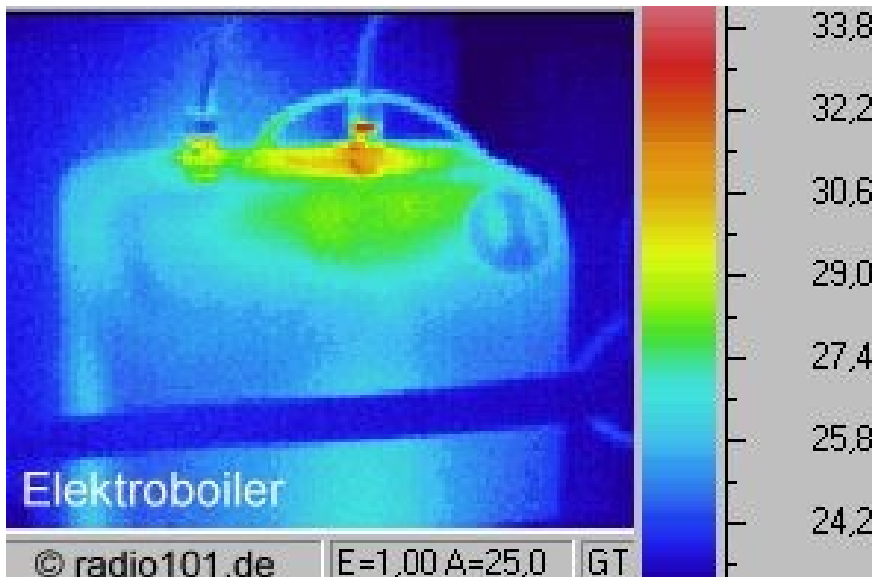
OV

zdroj: Solvis



Tepelné ztráty

- ovlivňují zásadně účinnost akumulace
- tepelná izolace zásobníků
- provedení přípojek – tepelné mosty
- provedení přípojek – degradace teplotního vrstvení





Tepelné ztráty zásobníku

- měrná tepelná ztráta válcového zásobníku $U.A$ [W/K]

$$UA = \underbrace{\frac{\pi \cdot (D_e + 2 \cdot s_{iz,s}) \cdot (L + 2 \cdot s_{iz,d})}{\cancel{\frac{1}{\alpha_i}} + \frac{s_{iz,s}}{\lambda_{iz,s}} + \cancel{\frac{s_{z,s}}{\lambda_{z,s}}} + \frac{1}{\alpha_e}}}_{\text{stěna}} + \underbrace{2 \cdot \frac{\pi \cdot (D_e + 2 \cdot s_{iz,s})^2}{\cancel{\frac{1}{\alpha_i}} + \frac{s_{iz,d}}{\lambda_{iz,d}} + \cancel{\frac{s_{z,d}}{\lambda_{z,d}}} + \frac{1}{\alpha_e}}}_{2 \times \text{dno}}$$

D_e průměr zásobníku (bez izolace); $D_e + 2 \cdot s_{iz}$ (s izolací), L výška

s_{iz} tloušťka izolace

λ_{iz} tepelná vodivost izolace

s_z tloušťka stěny zásobníku

λ_z tepelná vodivost stěny

α_i součinitel přestupu tepla
na straně kapaliny

α_e součinitel přestupu tepla
na straně okolí



Tepelné ztráty zásobníku

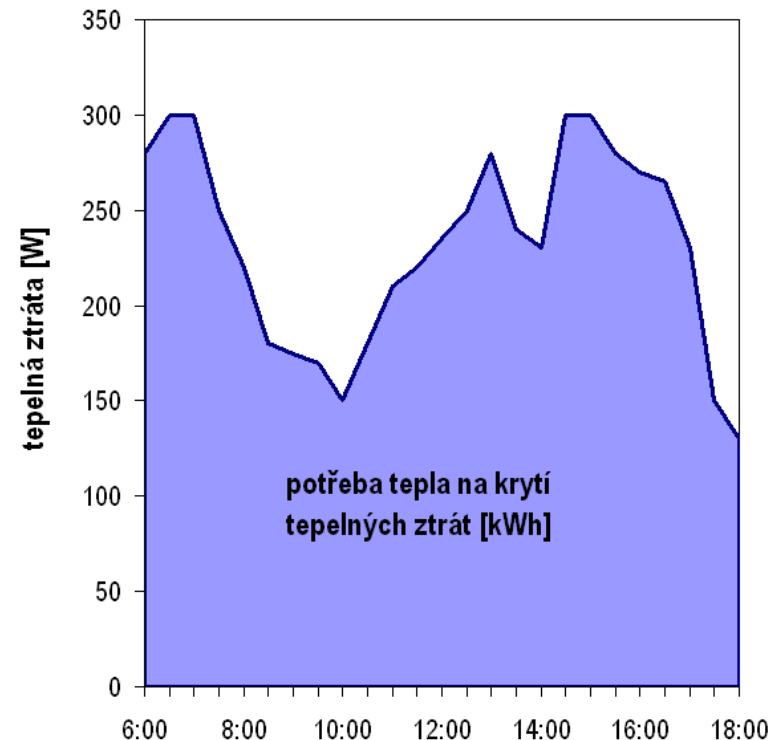
- tepelná ztráta zásobníku (výkon)

$$\dot{Q}_{z,aku} = U \cdot A \cdot (t_{aku} - t_{ok}) \quad [\text{W}]$$

- ztráta tepla zásobníku (energie)

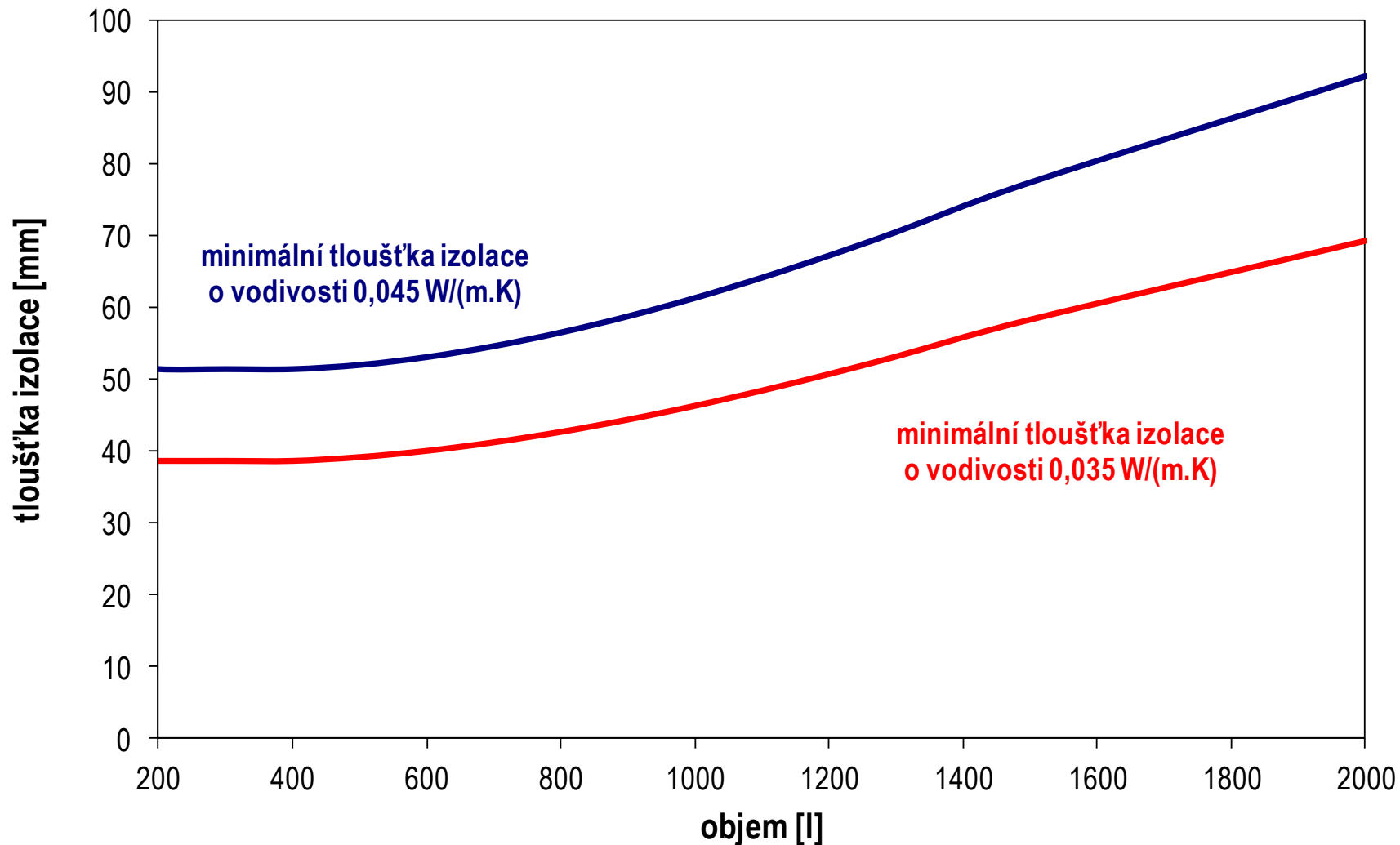
$$Q_{z,aku} = \int \dot{Q}_z d\tau \quad [\text{MJ}, \text{kWh}]$$

$$Q_{z,aku} = \sum_{i=1}^n U \cdot A \cdot (t_{aku,i} - t_{ok,i}) \cdot \Delta\tau_i$$



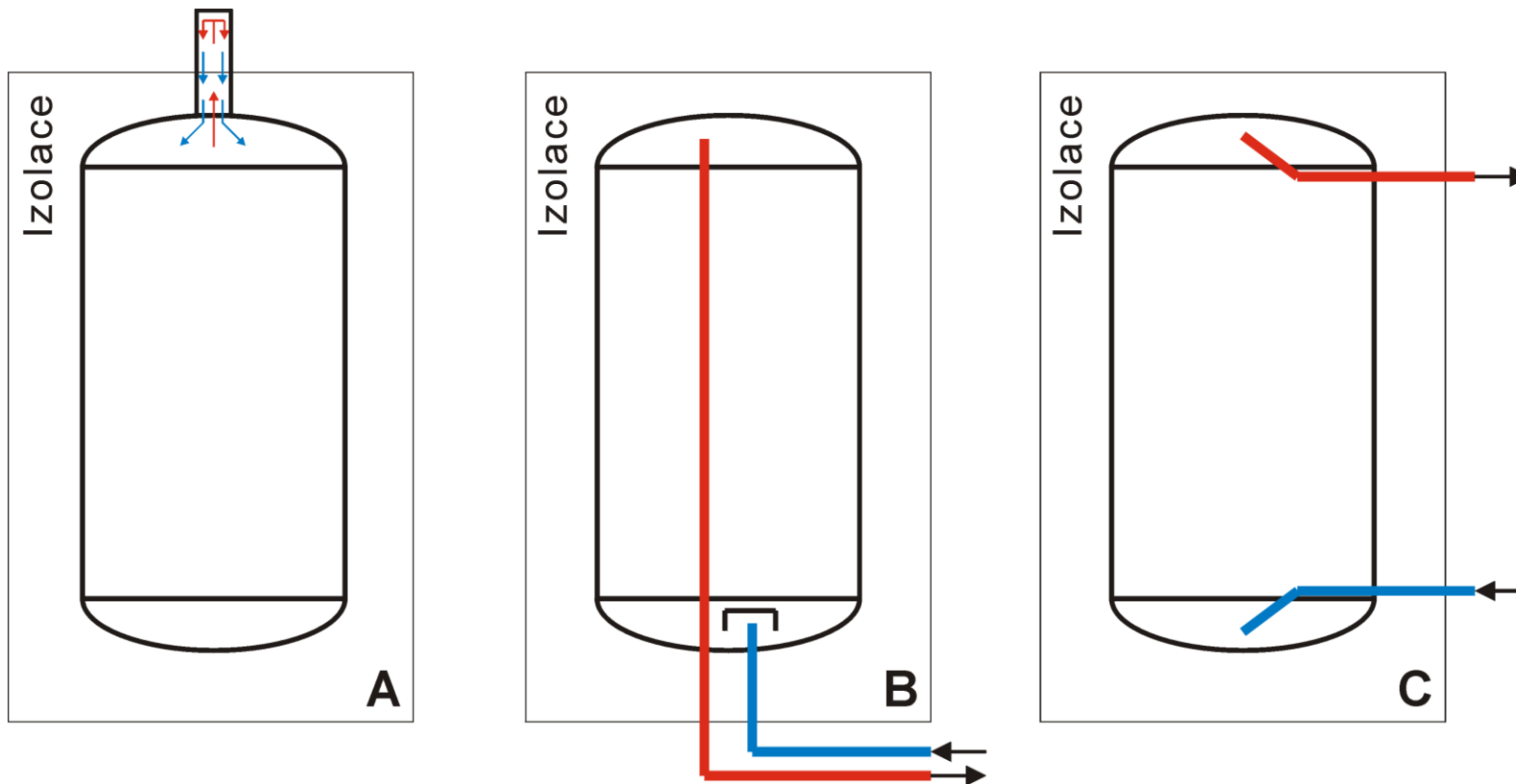


Požadavky zahraniční, smysluplné





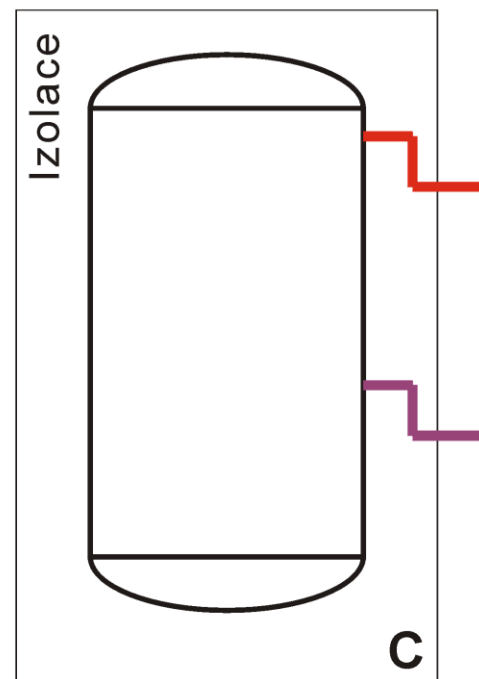
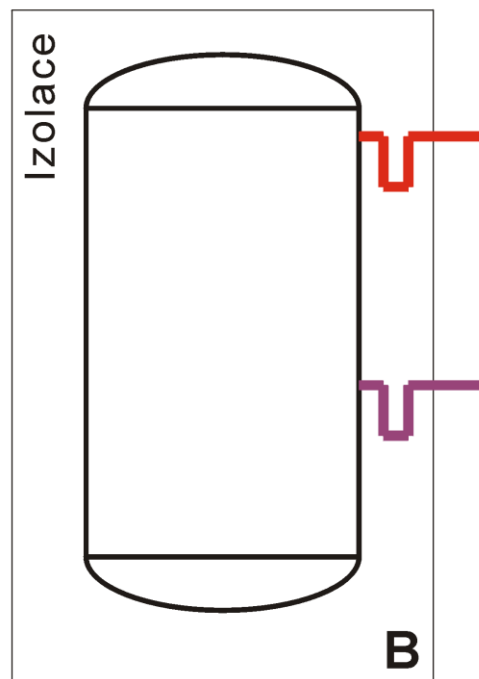
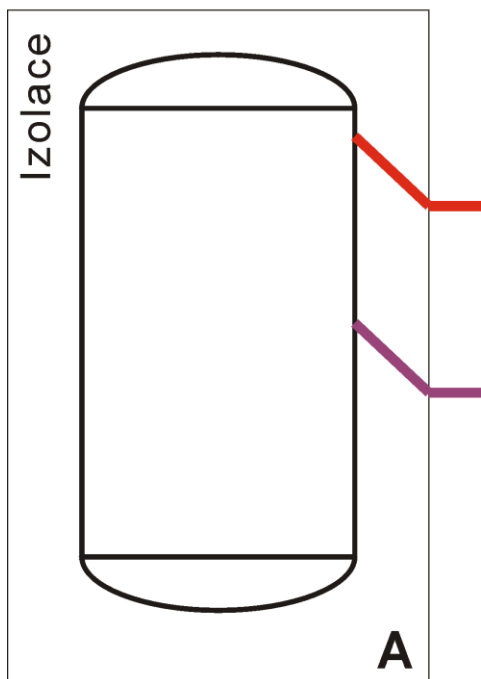
Vliv připojení potrubí





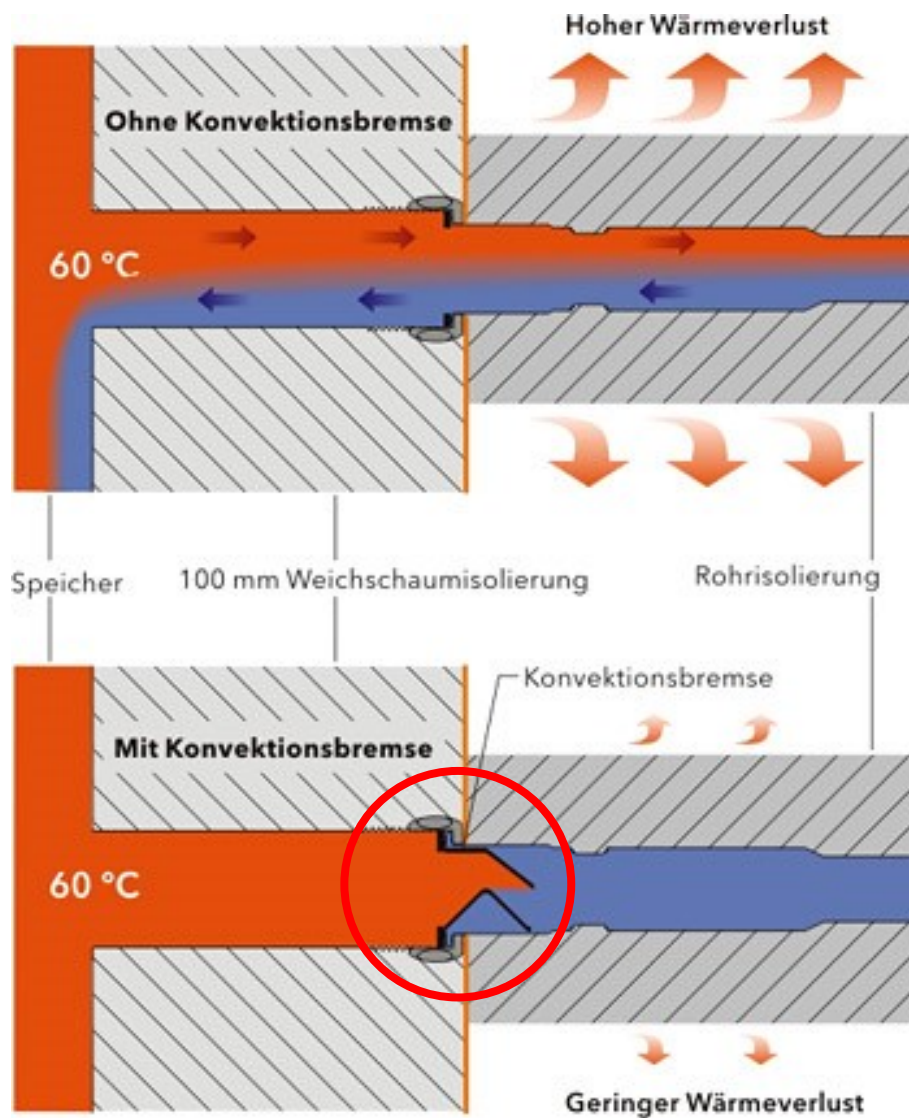
Vliv připojení potrubí

gravitační (konvekční) brzdy - přirozené zpětné klapky pro vychlazování





Vliv připojení potrubí



konvekční
brzdy

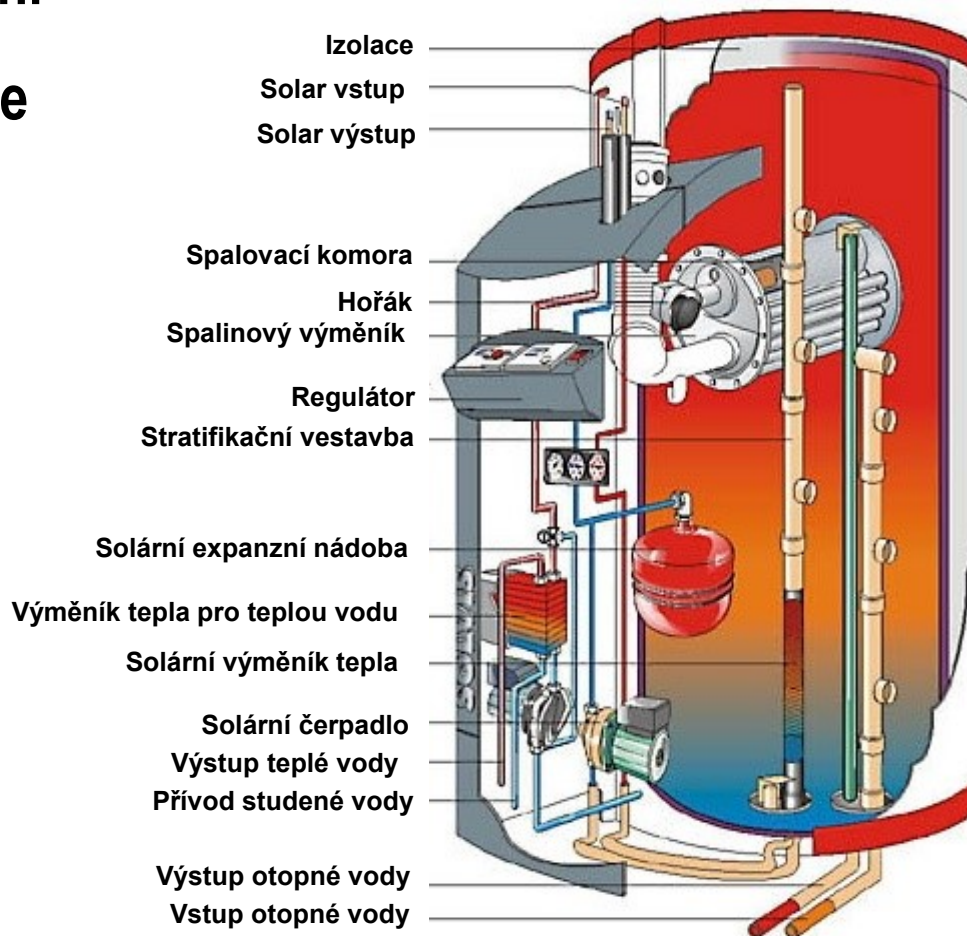




Trendy

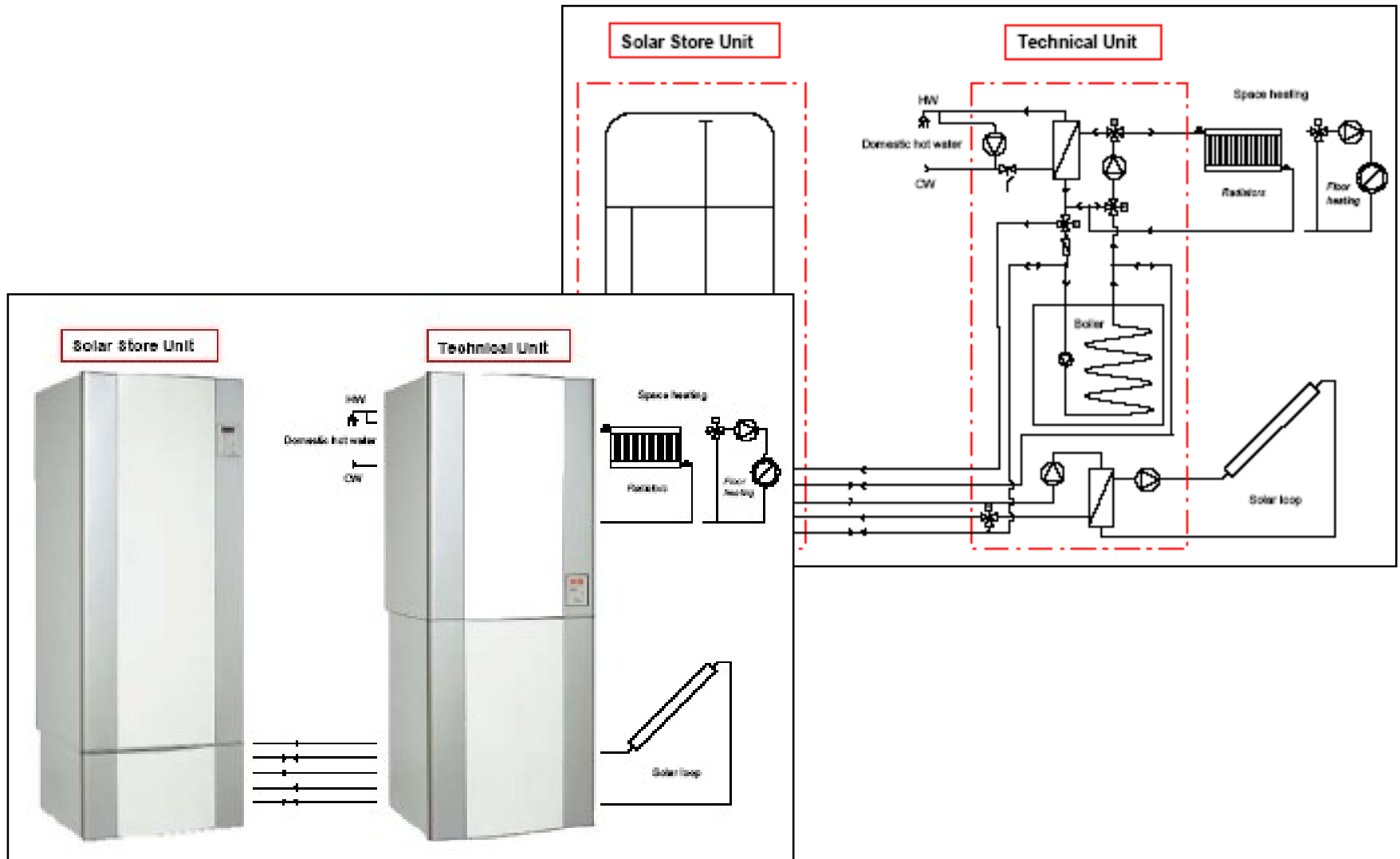
kompaktní (integrované) řešení

- minimalizace chyb montáže
- optimalizovaná hydraulika
- vysoká účinnost soustavy
- úspora místa
- umístění do obytných prostor



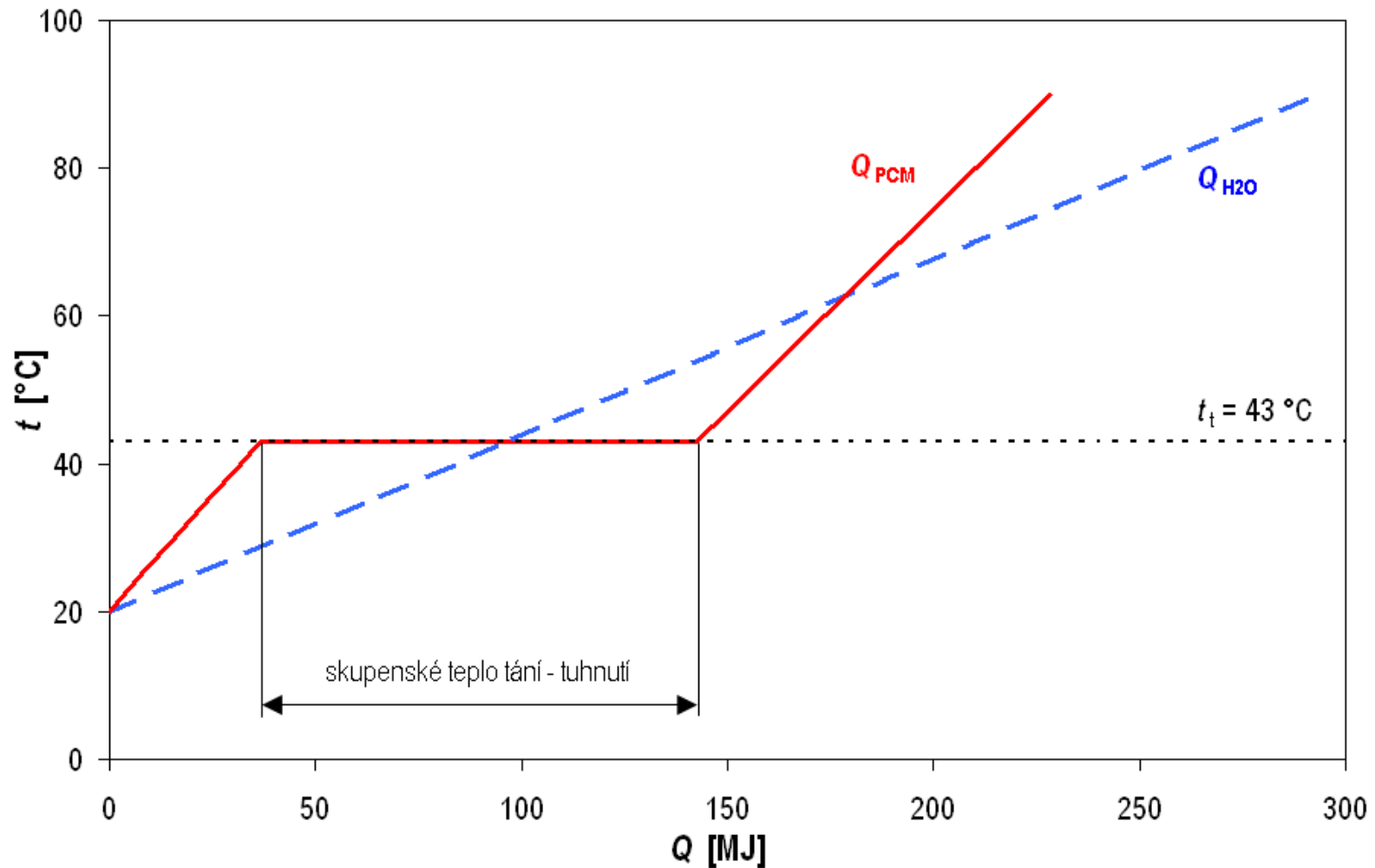


Trendy



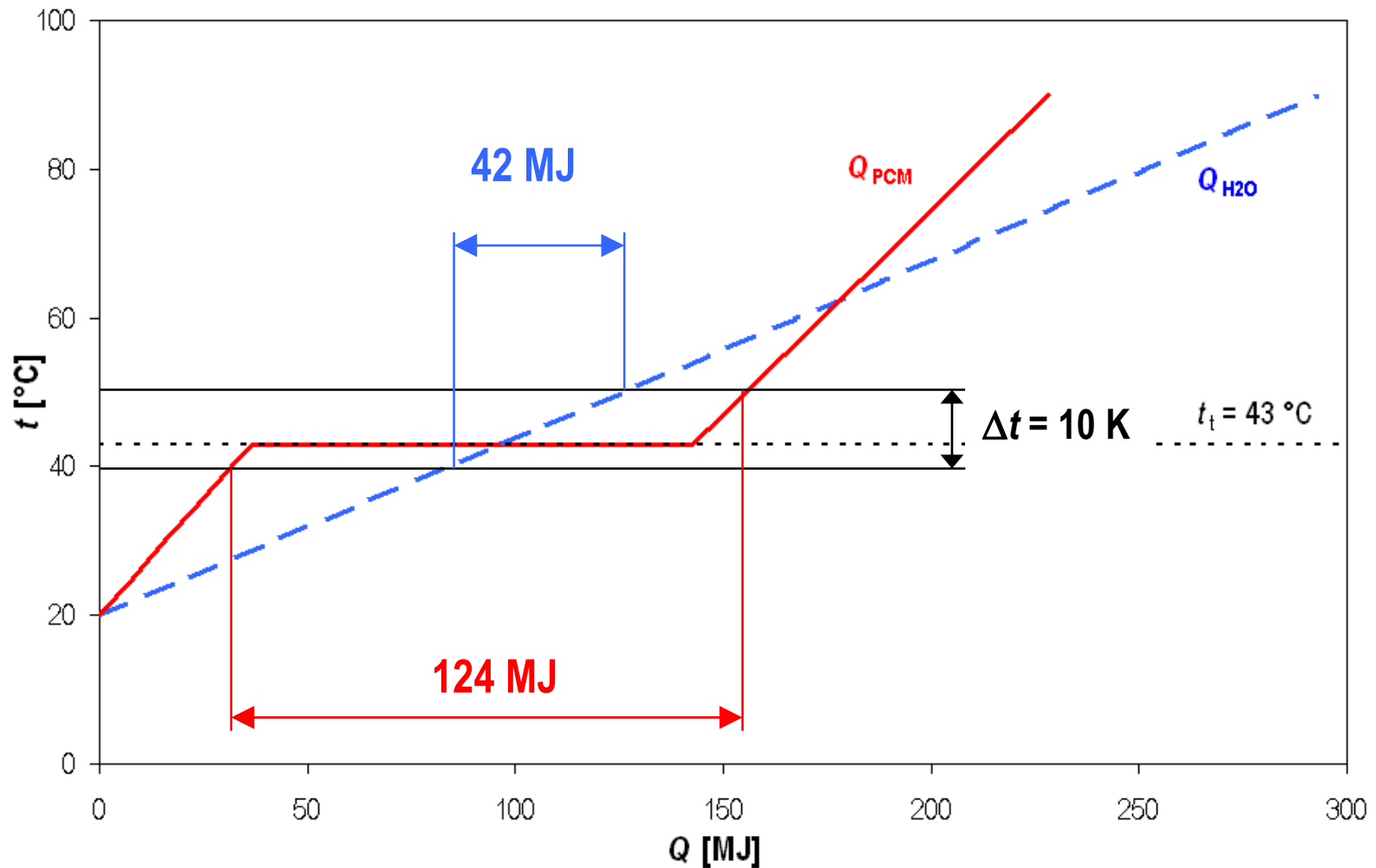


Akumulace s využitím změny skupenství



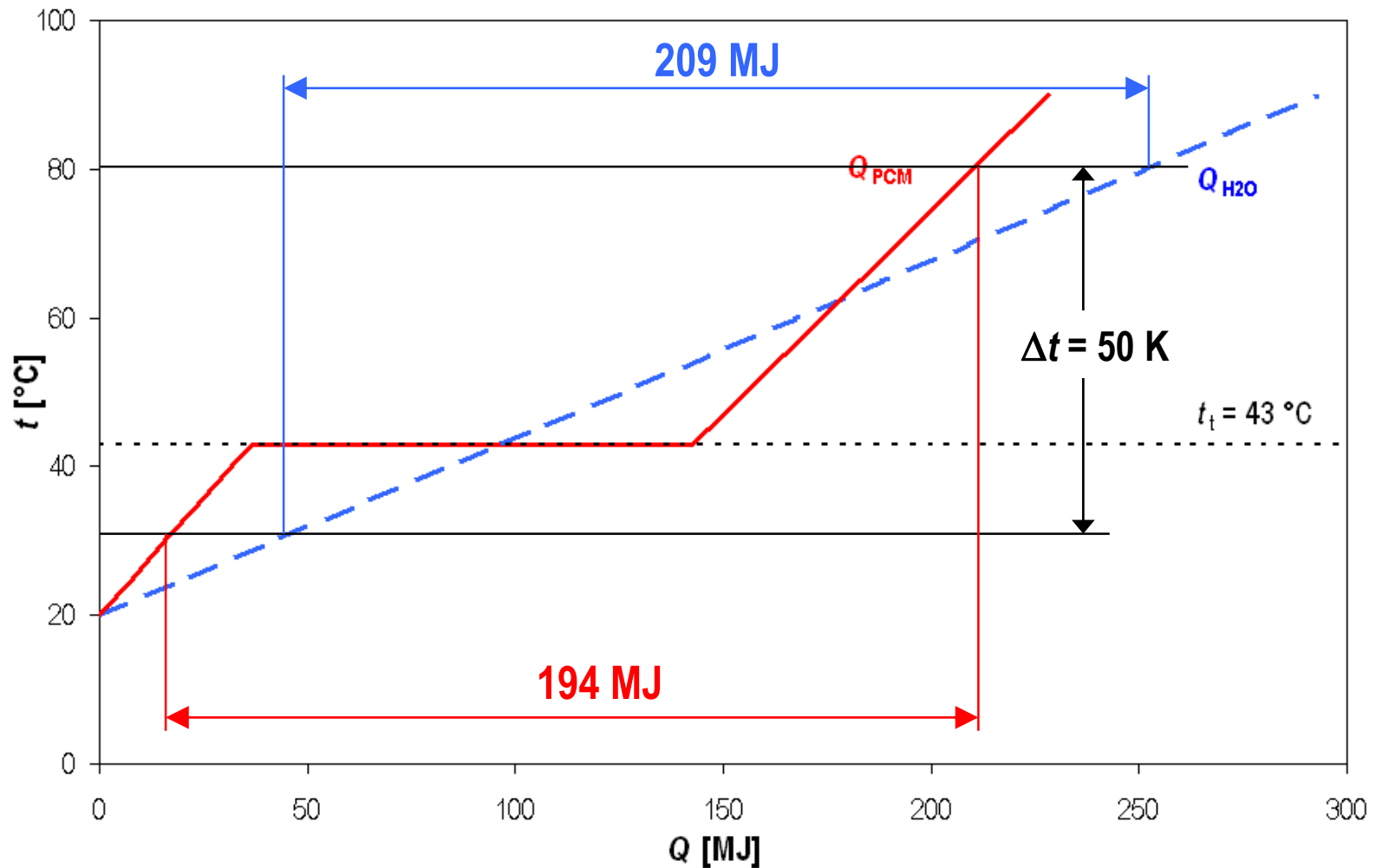


Akumulace s využitím změny skupenství



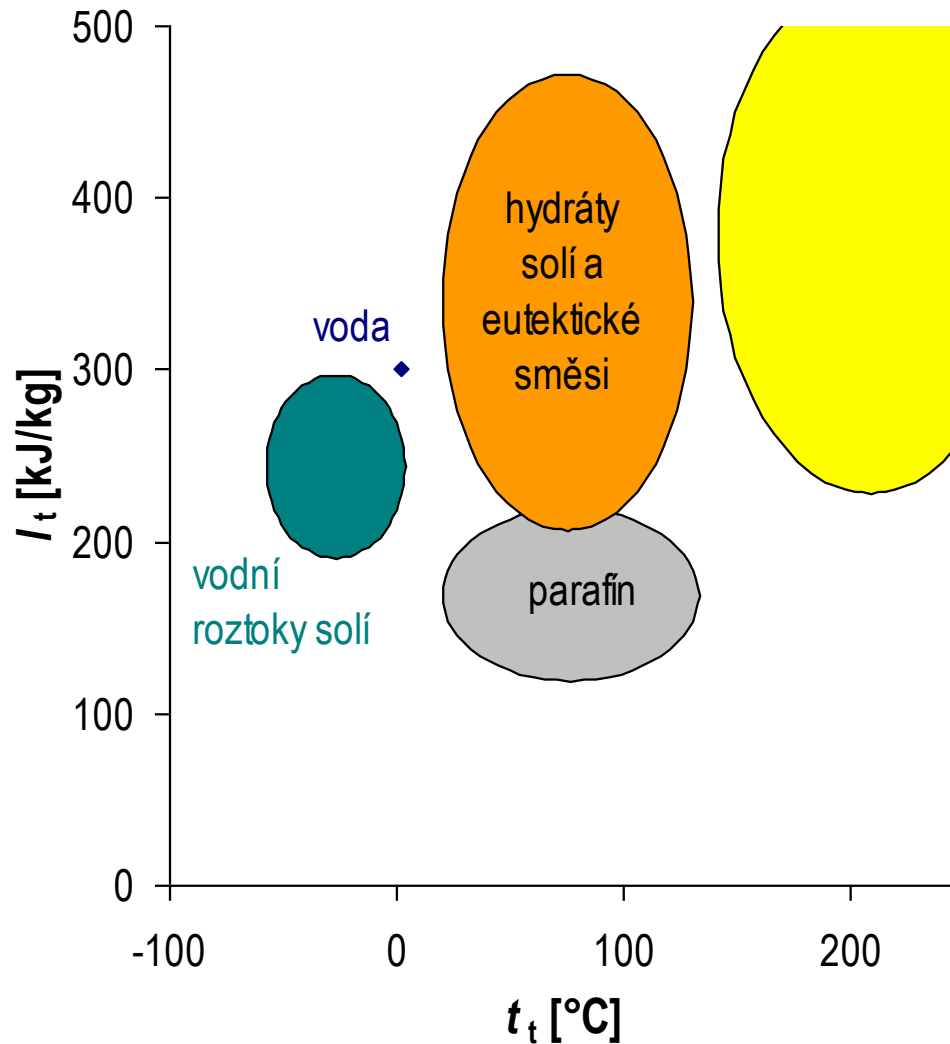


Akumulace s využitím změny skupenství





Látky se změnou skupenství (PCM)



anorganické PCM:
 hydráty solí (Glauberova)
 + vysoké teplo tání
 + vysoká tepelná vodivost
 - korozivní
 - podchlazování
 - segregace fází

organické PCM:
 vosky, parafíny, mastné kys.
 + chemický a tepelně stabilní
 + nekorozivní
 - nízká tepelná vodivost
 - nízké teplo tání



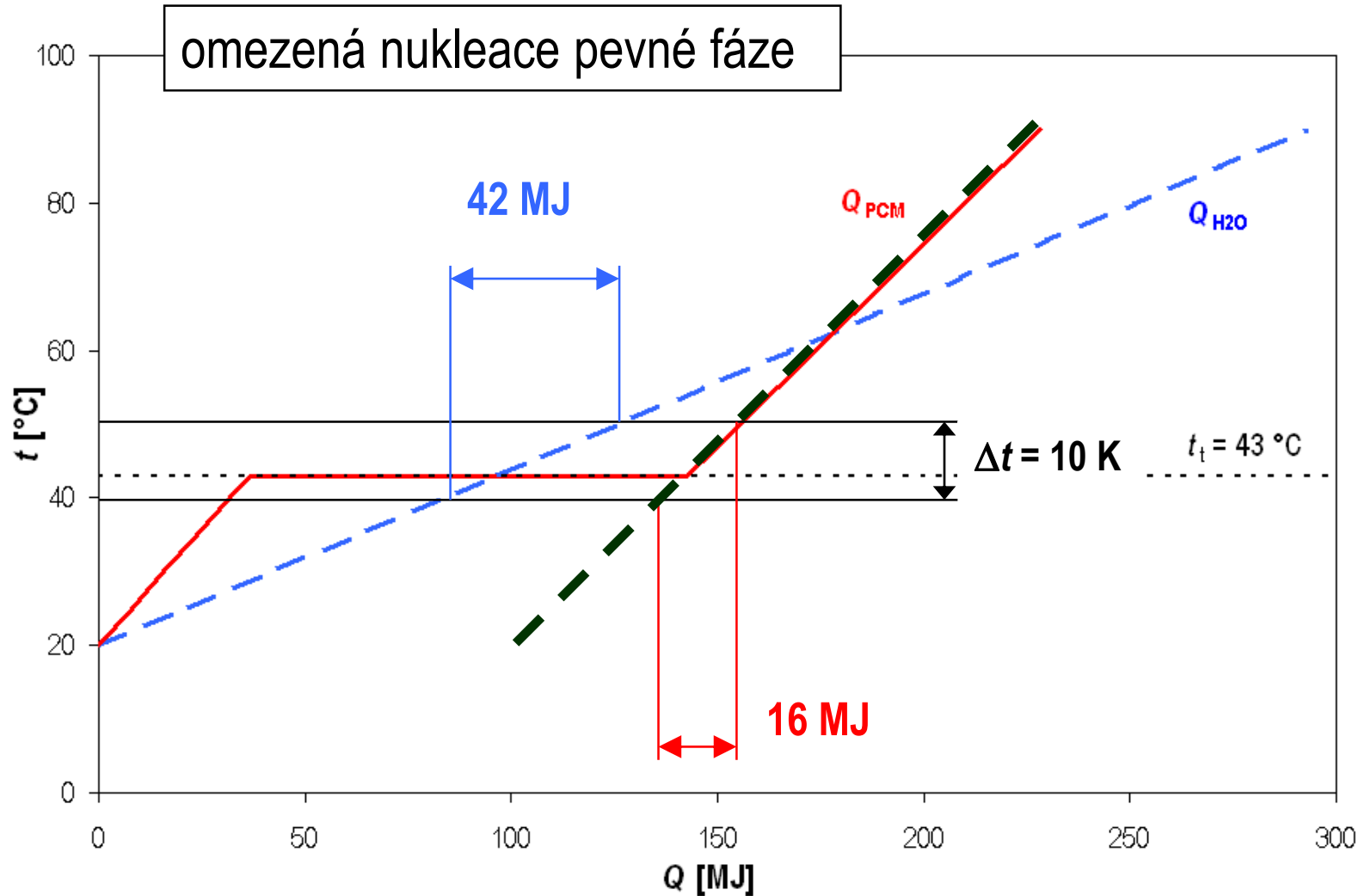
Látky se změnou skupenství (PCM)

vlastnosti

- vhodná teplota tání / tuhnutí
 - pro solární soustavy: 35 – 70 °C, možnost volby teploty „na míru“
- nízká tepelná vodivost (parafíny) - nerovnoměrné tání, snížení akumulační schopnosti
 - použití vodivých matric, kompozitní materiály (grafit)
- změna objemu při změně fáze – není kritické (do 15 %)
- koroze (soli)
- důraz na dlouhodobou stabilitu vlastností (cyklická změna skupenství)
- podchlazování: omezit nebo využít ?



Podchlazování





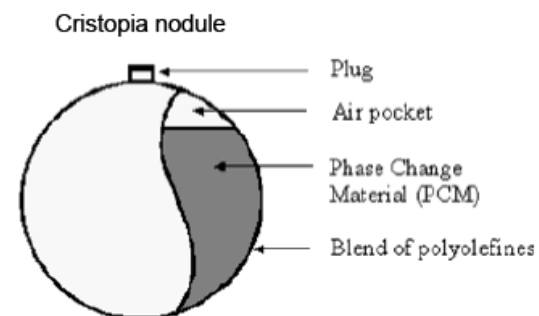
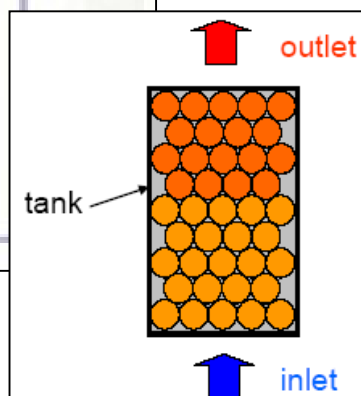
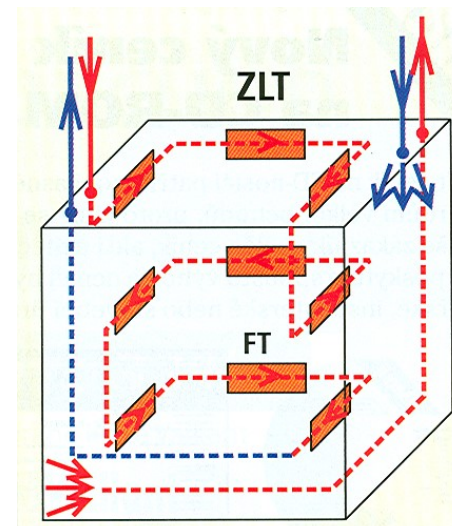
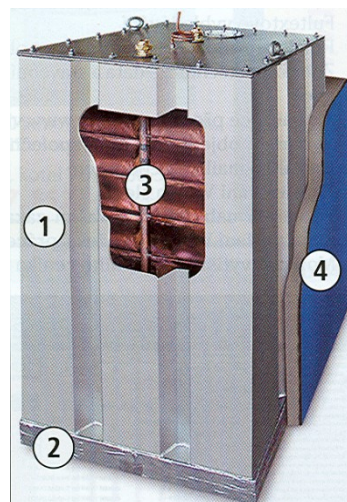
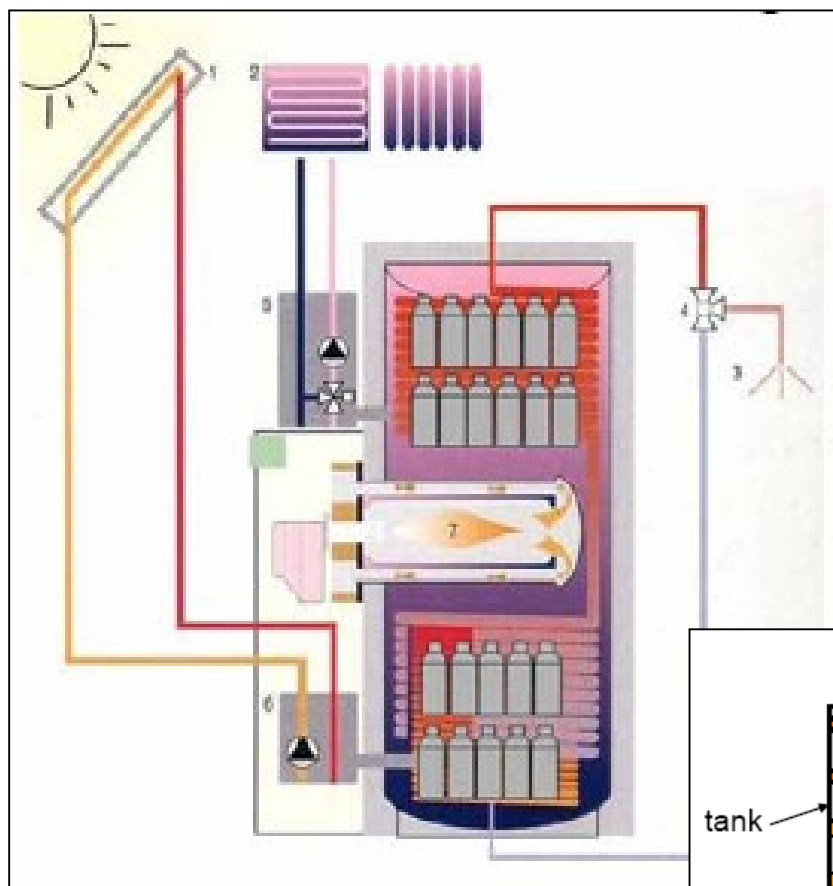
Parafíny

Product	Melting point ¹	Heat storage capacity ²
	[°C]	[kJ/kg]
RT 4	-4	179
RT 3	4	198
RT 4	4	182
RT 5	5	198
RT 6	6	175
RT 21	21	134
RT 27	27	179
RT 31	29	169
RT 42	41	174
RT 50	49	168
RT 52	52	173
RT 55	55	172
RT 58	58	178
RT 60	60	144
RT 62	61	146
RT 65	65	152
RT 82	82	176
RT 100	100	124



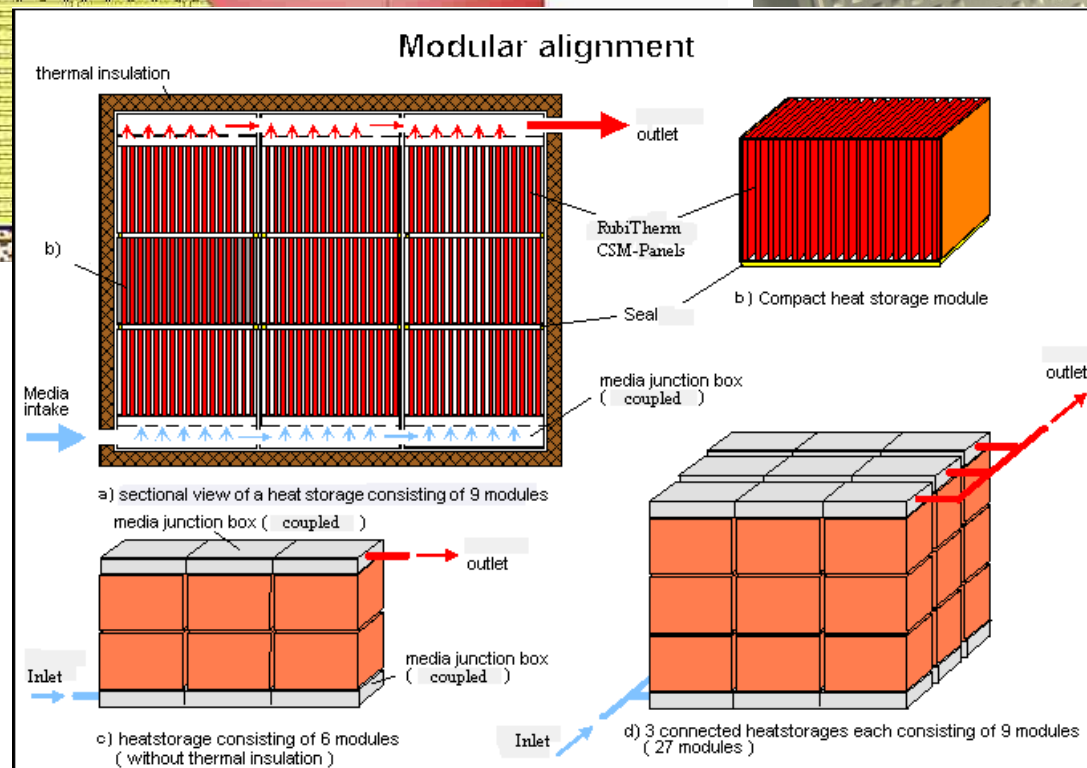
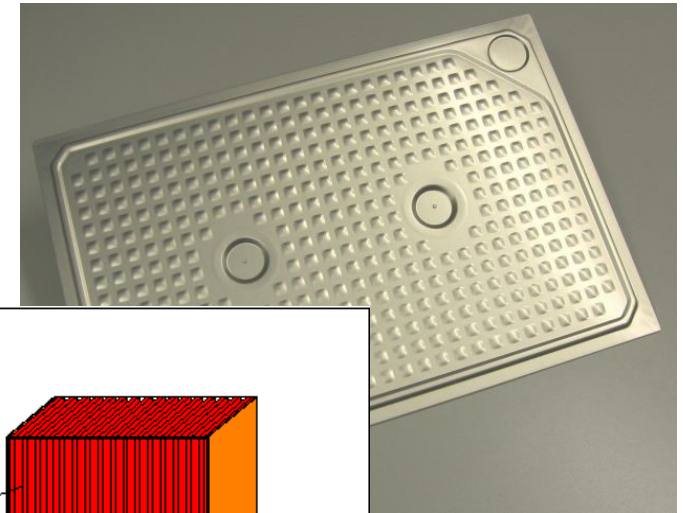
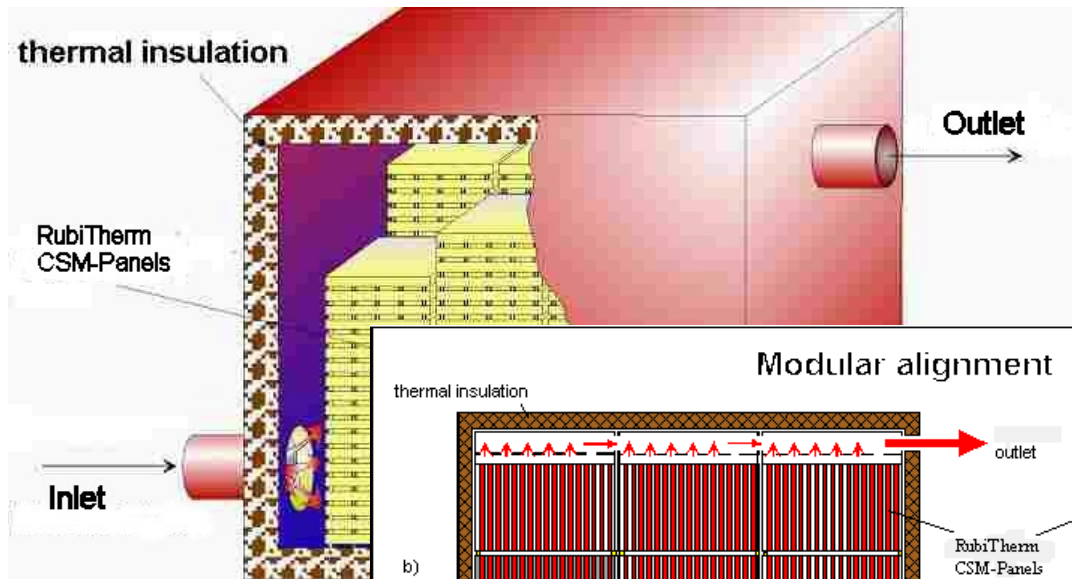


Aplikace - makropouzdra





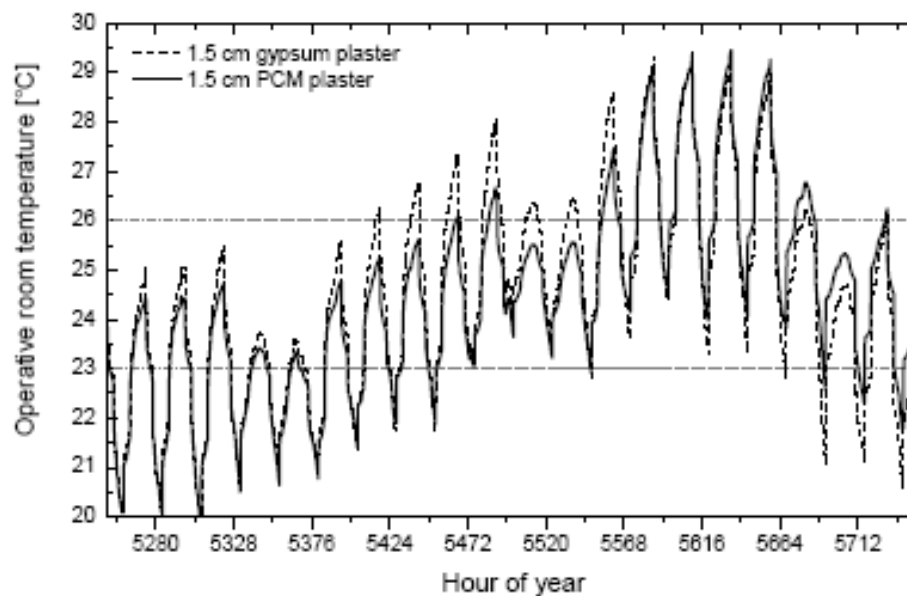
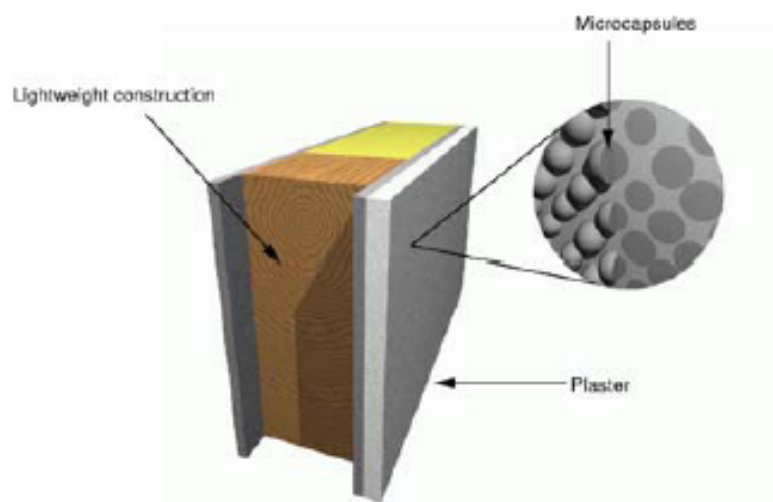
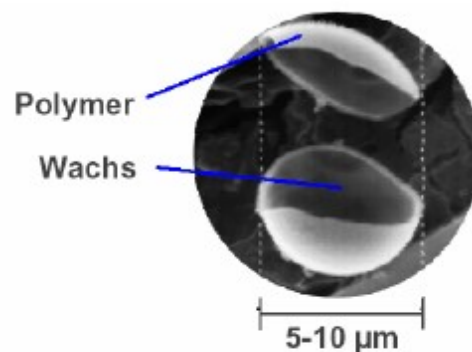
Aplikace - makropouzdra





Aplikace - mikropouzdra

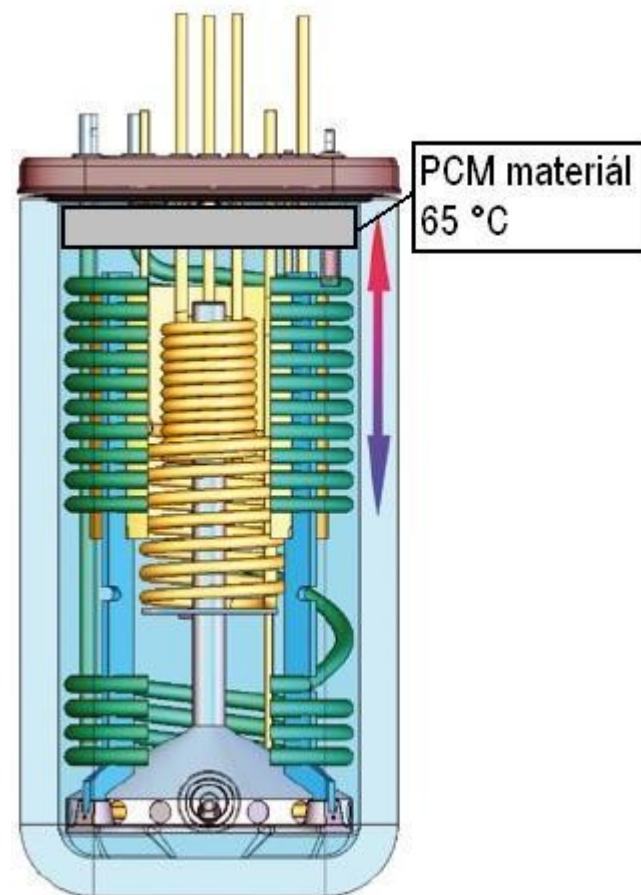
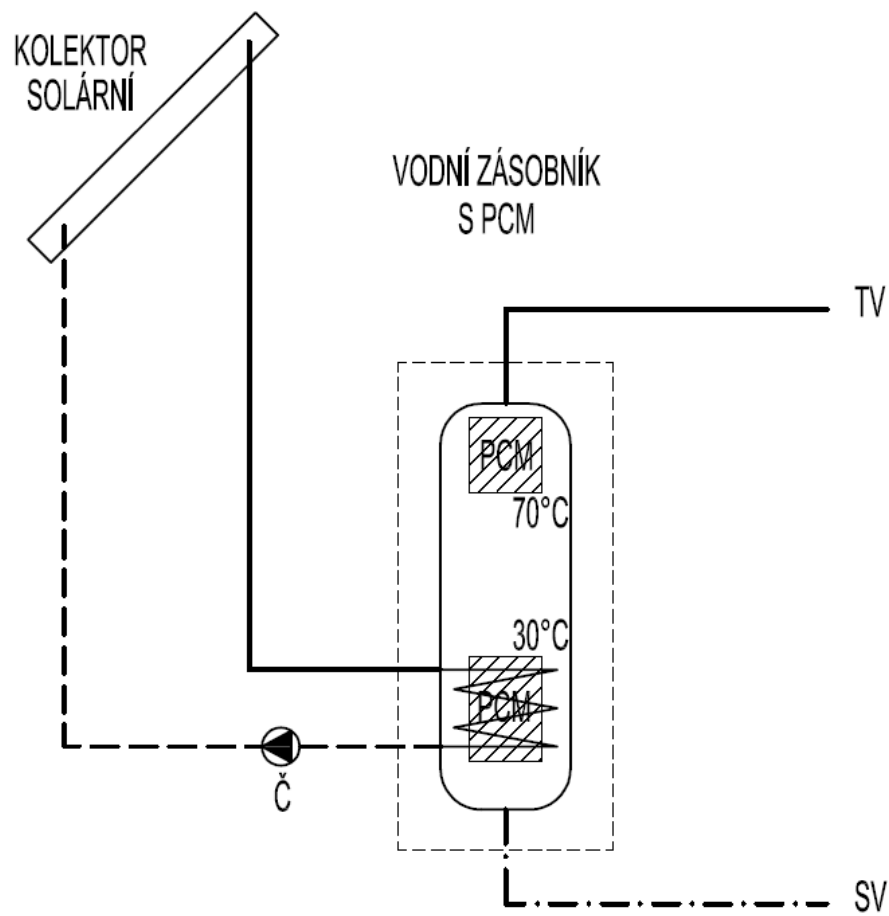
PCM kaly



finální vrstva stěn lehkých konstrukcí



Využití PCM pro solární soustavy





Využití PCM pro solární soustavy

