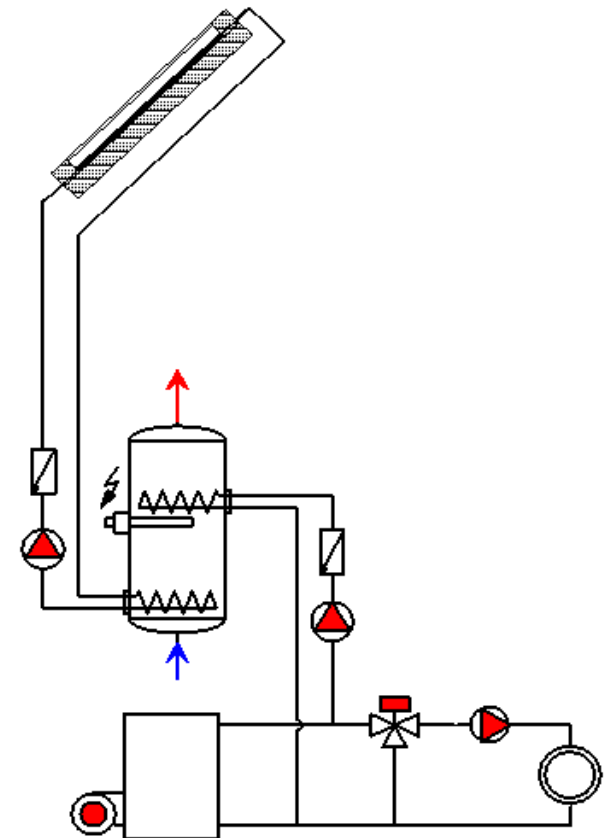
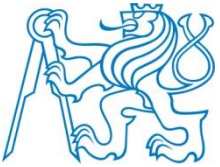




Solární soustavy

- typy
- navrhování a bilancování
- hydraulická zapojení





Fototermální přeměna

- **aktivní soustavy**

strojní hnací a rozvodné prvky
(čerpadlo, ventilátor, potrubí, ...)

... solární soustavy pro přípravu teplé vody, vytápění, ohřev bazénu, technologie

- **pasivní soustavy**

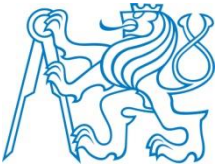
stavební prvky
(otvory, hmoty, dispozice, ...)

... pasivní solární architektura ...



Aktivní solární soustavy

- soustavy pro ohřev bazénové vody (do 35 °C)
- soustavy pro přípravu teplé vody (do 70 °C)
- kombinované soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění (do 80 °C)
- soustavy pro CZT s různým stupněm akumulace (sezónní)
- solární chlazení a klimatizace (do 150 °C)
- průmyslové solární soustavy (technologické teplo do 250 °C)
- solární tepelné elektrárny (vysokoteplotní, 300 až 600 °C)
- solární teplovzdušné soustavy (sušení, větrání)



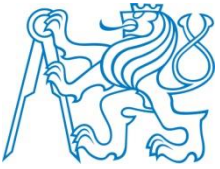
Solární soustavy – podle plochy

- malé soustavy (< 20 m²)
 - rodinné domy, malé firmy, ...
- střední soustavy (< 200 m²)
 - zdravotnická a sociální zařízení, pečovatelské ústavy, sportovní zařízení a plovárny, hotely, školy s celoročním provozem, ...
- velké soustavy (> 200 m²)
 - soustavy centrálního zásobování teplem, výtopny pro sídliště (výhodná kombinace s biomasou), potravinářský a chemický průmysl, sportovní stadiony, ...



Solární soustavy – podle průtoku

- s vysokým průtokem (**high-flow**): **50 až 90 l/h.m²**
 - tradiční osvědčený provoz, pomalý náběh zásobníku, zvýšení teploty teplotnosné látky v kolektoru o **8 až 15 K**
- s nízkým průtokem (**low-flow**): **10 až 20 l/h.m²**
 - výrazně snížený průtok, zvýšení teploty **až o 50 K**, výhodné pouze ve spojení se stratifikačními zásobníky
 - malé dimenze, malé ztráty, sériové zapojení kolektorů
 - teplo o využitelné teplotě, snížení četnosti dohřevu, **vyšší energetické výnosy (o 5 až 20%)**
- s proměnným průtokem (**matched-flow**) **10 až 40 l/h.m²**
 - optimalizace provozu soustavy, např. regulace na konstantní výstupní teplotu



Navrhování a bilancování solárních soustav

- potřeba tepla
- zisky solární soustavy
- zjednodušená bilanční metoda



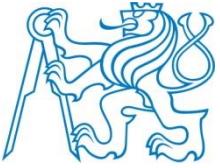
Navrhování solárních soustav

- **snížení potřeby tepla** - úsporná opatření provádět jako první !
- **příprava teplé vody**
 - úsporné armatury, zaregulování a zaizolování rozvodů, řízení cirkulace TV podle času a teploty
- **vytápění**
 - nízkoenergetické a energeticky pasivní domy (zateplení, okna, mechanické větrání se zpětným získáváním tepla)



Navrhování solárních soustav

- **analyzovat skutečnou potřebu tepla (!)**
- **příprava teplé vody**
 - dlouhodobé měření, sada krátkodobých měření, skutečná spotřeba tepla na přípravu (včetně ztrát)
 - směrné hodnoty: běžná spotřeba TV do **40 l/os.den** (60°C)
- **vytápění**
 - ČSN EN ISO 13 790 – pokročilý, detailní výpočet
 - denostupňová metoda – jednoduchá, pro účely hodnocení postačující



Potřeba tepla

- celková potřeba tepla $Q_{p,c}$ v daném období (den, měsíc), která má být kryta solární soustavou (nebo její část $f \cdot Q_{pc}$)
 - vlastní potřeba tepla v dané aplikaci Q_p
 - tepelné ztráty soustavy (rozvody, zásobník) v daném období Q_z
 - detailní výpočet
 - paušální přirážka
- potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV}$
- potřeba tepla na vytápění $Q_{p,VYT}$



Příprava teplé vody

- **zásadně:** úsporná opatření provést před návrhem solární soustavy
 - úsporné výtokové armatury
 - individuální měření spotřeby teplé vody
 - minimalizace délky rozvodů teplé vody
 - omezení tepelných ztrát rozvodů teplé vody a cirkulace
 - omezení běhu cirkulace teplé vody na nezbytné minimum časové spínání, spínání podle teploty
 - hydraulické vyvážení dlouhých a větvených tras



Potřeba teplé vody

- novostavby:
 - nejsou k dispozici reálná data
 - směrné hodnoty z literatury

bytové objekty (60 / 15 °C)	
nízký standard	10 až 20 l/os.den
střední standard	20 až 40 l/os.den
vysoký standard	40 až 80 l/os.den

ENERGO 2004:
49 l/os.den, vč. ztrát



další údaje lze nalézt v ČSN EN 15316-3-1, VDI 2067-4, Sešit projektanta Solární tepelné soustavy



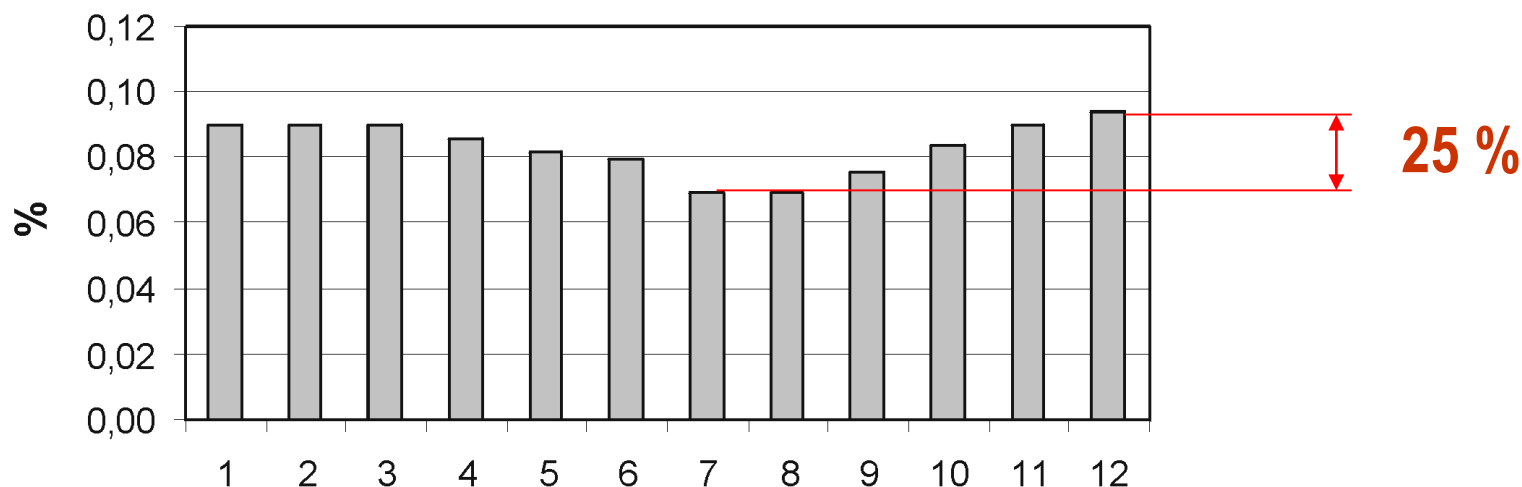
Stanovení spotřeby tepla na TV

- **stávající budovy - dlouhodobé a věrohodné měření:**
 - dodané teplo na patě objektu, nebo zásobníku, včetně cirkulace
 - celoroční údaje o spotřebovaném množství TV se zohledněním teploty SV a TV, ztráty odhadem
 - alespoň týdenní měření průběhu spotřeby teplé vody
 - měření energie zdroje pro přípravu TV, např. spotřeba plynu, **odhad provozní účinnosti zdroje tepla (!)**
- **nové, příp. stávající budovy – směrná čísla:**
 - střední standard 20 až **40 l/os.den** (při teplotní úrovni 60°C)
 - **nepoužívat ČSN 06 0320: 82 l/os.den**



Profil potřeby tepla na přípravu TV

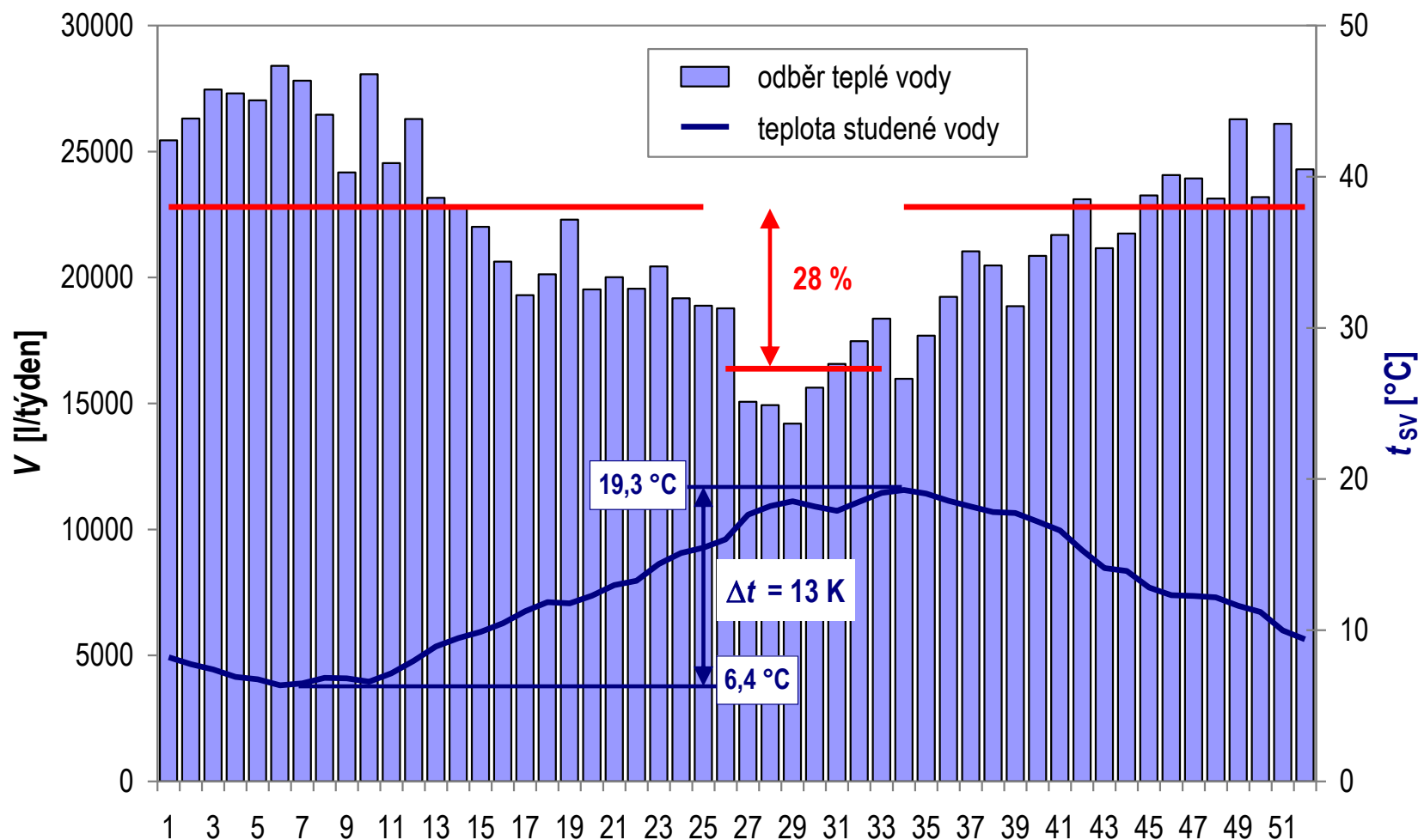
- **letní pokles (bytové domy) oproti zimnímu období:**
 - školní prázdniny, dovolená
 - vyšší teplota studené vody
 - chování uživatelů (letní sprcha, zimní vana)





Měření v BD Stodůlky

35 l/(os.den)





Potřeba teplé vody (ČSN 06 0320)

- **zásadně nepoužívat** údaje o potřebě TV z normy ČSN 06 0320
– Ohřívání užitkové vody – Navrhování a projektování

82 l/os.den (55 / 10 °C); 4,3 kWh/os.den

- norma je určena pro návrh objemu a tepelného příkonu ohřívače (musí vyhovět i extrémním podmínkám)
- nevhodné pro návrh solárních soustav
 - předimenzované plochy vedou k četným odstávkám zvláště během léta
 - primární okruh pracuje s vysokou provozní teplotou
 - nízká účinnost solárních kolektorů
 - vysoké tepelné ztráty rozvodů a solárních zásobníků



Denní potřeba tepla na ohřev TV

$$Q_{TV} = \frac{V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \times 10^6}$$

$V_{TV,den}$	průměrná denní potřeba teplé vody	[m ³ /den]
ρ	hustota vody	998 kg/m ³
c	měrná tepelná kapacita vody	4187 J/kg.K
t_{SV}	teplota studené vody	15 °C
t_{TV}	teplota teplé vody	60 °C



Tepelné ztráty přípravy TV

- paušální přírážka

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} = Q_{TV} + Q_{z,TV} = (1 + z) \cdot Q_{TV}$$

Typ přípravy TV	z
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2,00



Příprava TV a vytápění

- **kombinované** soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění
 - snížení spotřeby tepla na přípravu teplé vody (viz uvedené)
 - **snížení spotřeby tepla na vytápění:
nízkoenergetické a energeticky pasivní domy**
 - nízkoteplotní otopné plochy (teplotní spád 45/35 °C):
podlahové a stěnové vytápění, teplovzdušné vytápění
 - vhodná návaznost na ostatní zdroje tepla a technologie v budově včetně regulace
 - možnost využití letních přebytků tepla z kolektorů
 - vhodná orientace a sklon (70 - 90°)



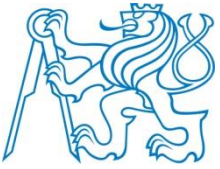
Potřeba tepla na vytápění

- **ČSN EN ISO 13 790** – Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení

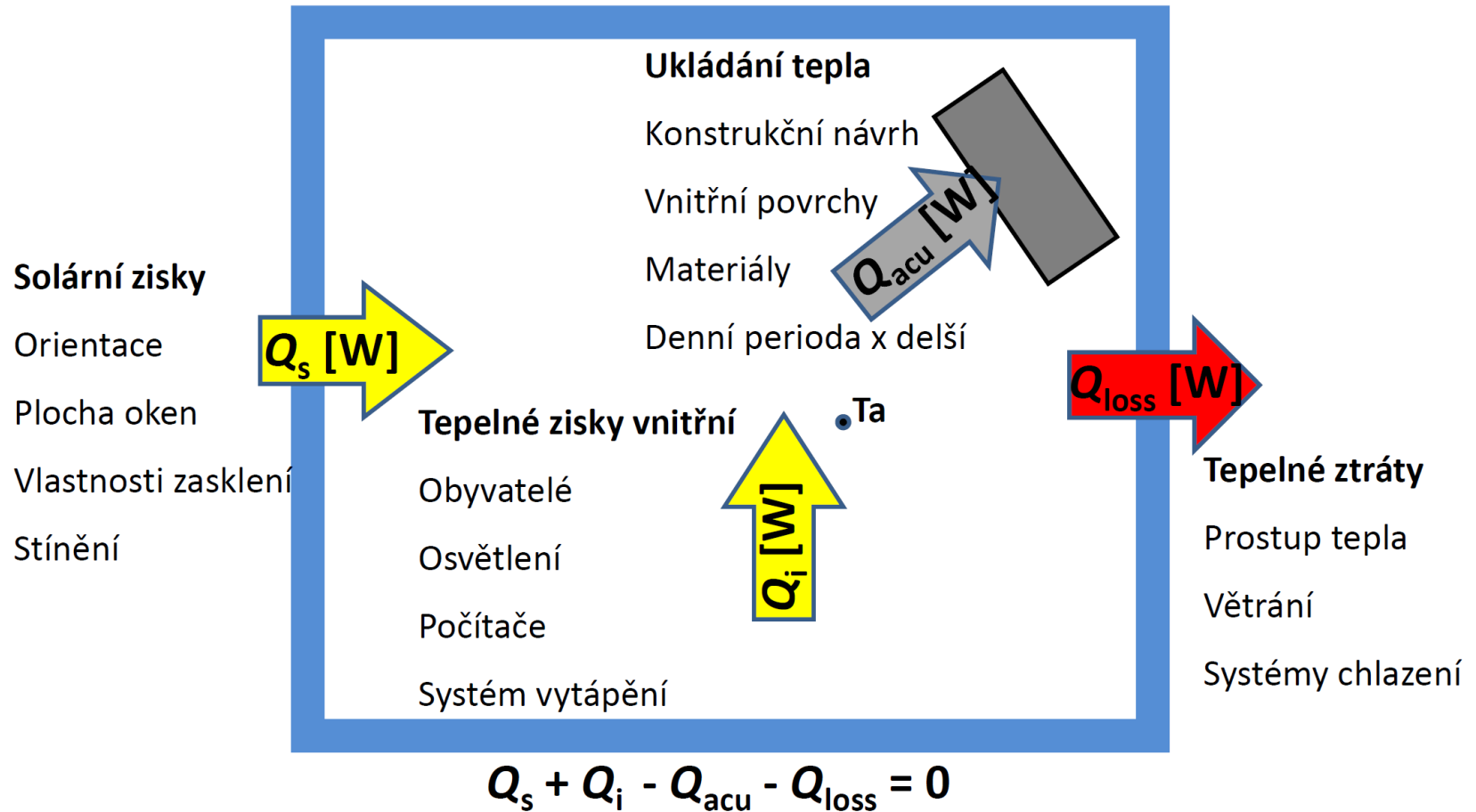
měsíční balance, hodinová balance, balance za otopnou sezónu

- tepelná ztráta prostupem a větráním
- vnitřní tepelné zisky (osoby, spotřebiče)
- solární zisky s ohledem na světové strany průsvitných konstrukcí
- stupeň využití tepelných zisků na základě akumulční schopnosti objektu (výpočet tepelné kapacity, časové konstanty)
- zohlednění speciálních konstrukcí (stínění oken, Trombeho stěna, aj.)

náročné na vstupní data – výsledky v dobré shodě s poč. simulacemi



Tepelná bilance budovy





Potřeba tepla na vytápění

potřeba tepla na vytápění $Q_H = Q_l - \eta_g Q_g$

$\nwarrow$ ztráty tepla $\nearrow$ tepelné zisky
 (vnitřní Q_i , solární Q_s , ...)

využitelnost zisků

faktor využitelnosti tepelných zisků $\eta_g = f(\tau, Q_g/Q_l, C_m, H)$

τ časová konstanta

Q_g/Q_l poměr mezi zisky a ztrátami

C_m tepelná kapacita J/K

H měrná ztráta W/K

$$\tau = \frac{C_m}{H}$$

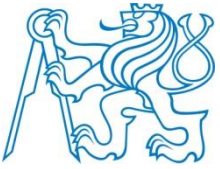


Potřeba tepla na vytápění

- Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění
 - **TNI 73 0329 (rodinné domy)**
 - **TNI 73 0330 (bytové domy)**

definice okrajových podmínek výpočtu

- vnitřní zisky, přítomnost osob, max. uvažovaný počet osob
- výměna vzduchu (úroveň větrání), přítomnost osob
- klimatické údaje (venkovní teplota, sluneční záření)
- způsob výpočtu (měsíční)



Potřeba tepla na vytápění

■ denostupňová metoda

denní potřeba tepla [kWh/den]

$$Q_{VYT} = 24 \cdot \varepsilon \cdot \dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})}$$

Q_z [kW] výpočtová tepelná ztráta

t_{iv} [°C] výpočtová vnitřní teplota

t_{ev} [°C] výpočtová venkovní teplota

t_{ip} [°C] průměrná vnitřní teplota během daného dne

t_{ep} [°C] průměrná venkovní teplota během daného dne

ε [-] korekční součinitel



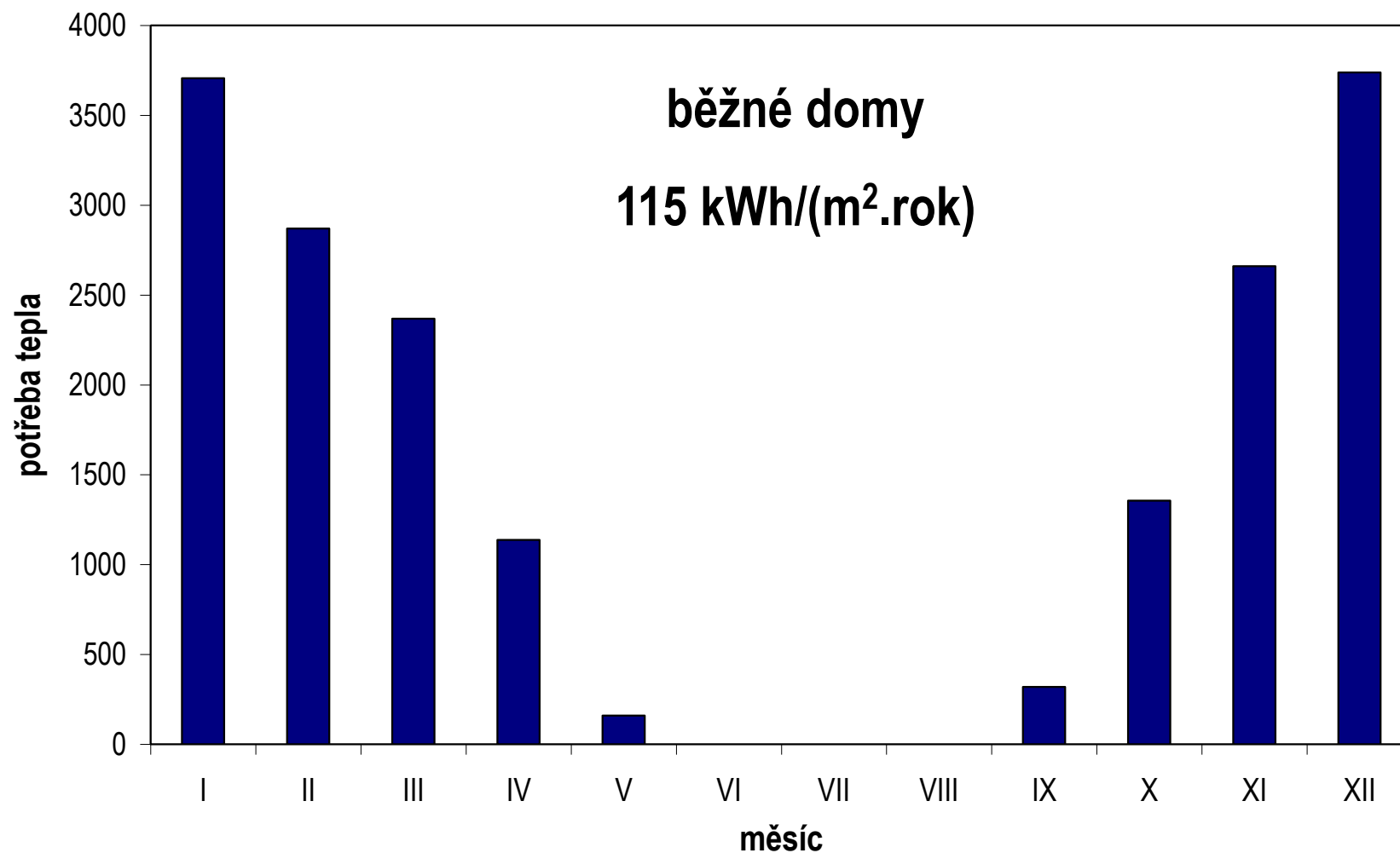
Potřeba tepla na vytápění

- korekční součinitel denostupňové metody

Energetická náročnost budovy (vytápění)	ε
<i>běžný standard</i> tepelné vlastnosti konstrukcí vyhláškou požadované	0,75
<i>nízkoenergetický standard,</i> vyhláškou doporučené tepelné vlastnosti konstrukcí	0,60
<i>pasivní standard</i> tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot	0,50

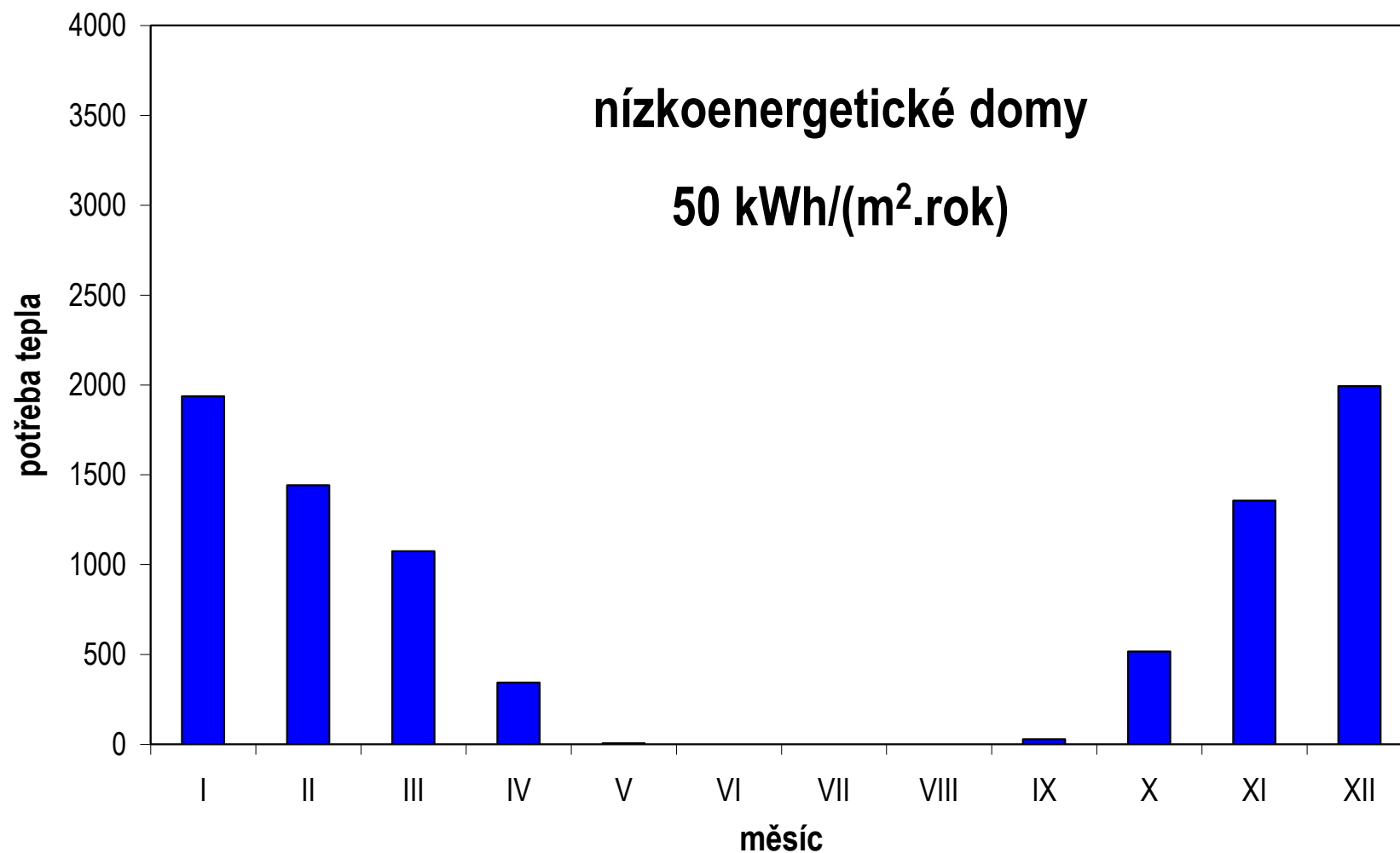


Potřeba tepla na vytápění



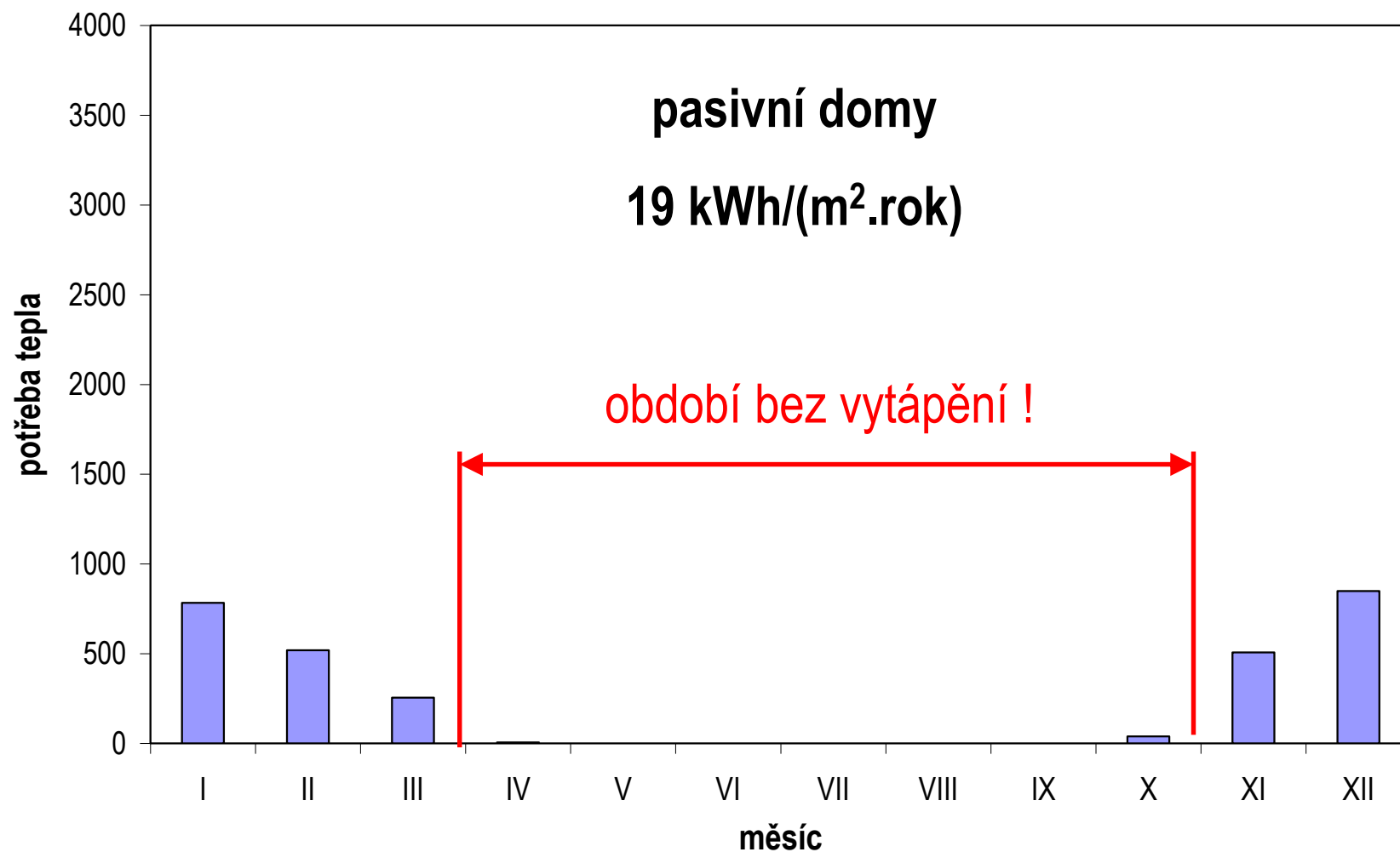


Potřeba tepla na vytápění





Potřeba tepla na vytápění





Tepelné ztráty otopné soustavy

- **tepelné ztráty otopné soustavy $Q_{z,VYT}$**
 - vlastní ohřev otopné vody (kombinovaný zásobník, část pro OS)
 - rozvod otopné vody (tepelné ztráty do nevytápěných místností)
 - setrvačnost otopné soustavy (přetápění, zvýšení dodávky energie)
- **podrobný výpočet** (precizní, náročný na vstupní údaje)
 - ČSN EN 15316-2-1: sdílení tepla („účinnost“ otopných ploch)
 - ČSN EN 15316-2-3: rozvody tepla (otopné vody)
- **paušální přírážka** - zjednodušené stanovení (TNI 73 0302)

$$Q_{p,VYT} = Q_{VYT} + Q_{z,VYT} = (1 + v) \cdot Q_{VYT}$$



Teoreticky využitelný zisk kolektorů

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

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

- účinnost solárního kolektoru v dané aplikaci η_k
- skutečná dávka slunečního ozáření plochy kolektoru H_T
 - tabulky v TNI 73 0302– *jednotné klimatické údaje*
- tepelné ztráty solární soustavy
 - paušální procentní srážka p
 - tabulky v TNI 73 0302 *podle typu a velikosti solární soustavy*



Účinnost solárního kolektoru

- účinnost solárního kolektoru η_k (střední denní, resp. 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 teplotu kapaliny $t_{k,m}$ v kolektoru během dne
 - tabulky v TNI 73 0302 *podle typu a velikosti solární soustavy*
- 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*



Účinnost solárního kolektoru

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

Typ aplikace	$t_{k,m}$ [°C]
Předehřev teplé vody, pokrytí < 35 %	35
Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %	40
Příprava teplé vody, pokrytí > 70 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí < 25 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí > 25 %	60



Tepelné ztráty solární soustavy

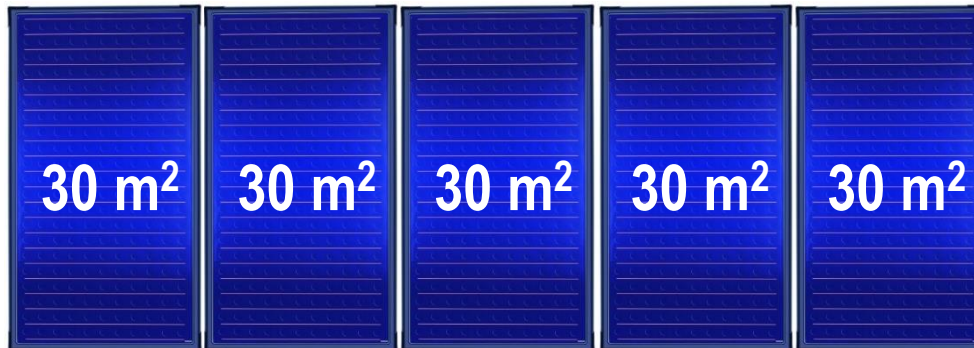
■ paušální srážka

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p)$$

Typ solární soustavy	p
Příprava teplé vody, do 10 m ²	0,20
Příprava teplé vody, od 10 do 50 m ²	0,10
Příprava teplé vody, od 50 do 200 m ²	0,05
Příprava teplé vody, nad 200 m ²	0,03
Příprava teplé vody a vytápění, do 10 m ²	0,30
Příprava teplé vody a vytápění, od 10 do 50 m ²	0,20
Příprava teplé vody a vytápění, od 50 do 200 m ²	0,10
Příprava teplé vody a vytápění, nad 200 m ²	0,06



Tepelné ztráty solární soustavy

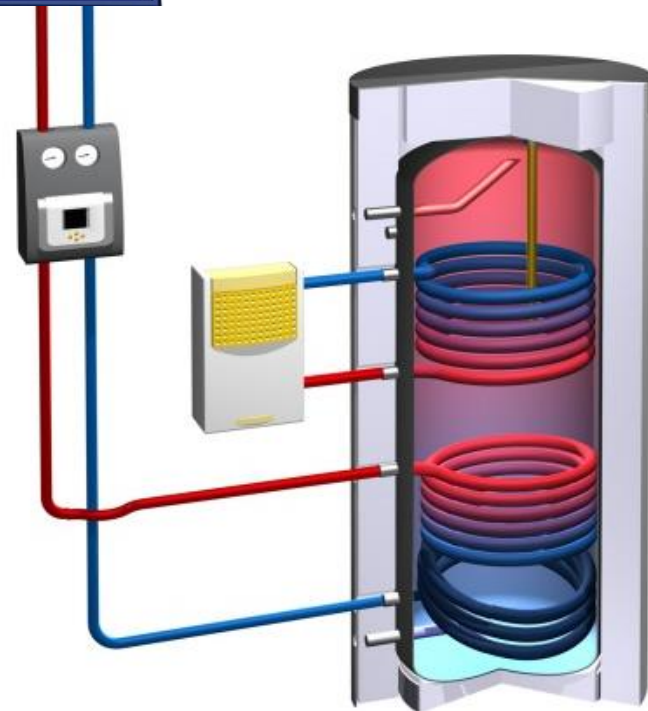


$$Q_{k1} = 9 \text{ MWh} \quad Q_{z,ss} = 0,9 \text{ MWh}$$

$$p = \frac{0,9}{9} = 10 \%$$

$$Q_{k1} = 45 \text{ MWh} \quad Q_{z,ss} = 1,2 \text{ MWh}$$

$$p = \frac{1,2}{45} = 3 \%$$





Návrh plochy solárních kolektorů

Návrh plochy solárních kolektorů A_k

- pro daný **návrhový** měsíc
 - klimatické a provozní okrajové podmínky
- pro zajištění pokrytí potřeby tepla
 - podle typu aplikace, podle místní dispozice

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1 - p) = Q_{p,c}$$



Návrh plochy kolektorů: příprava TV

■ rodinné domy

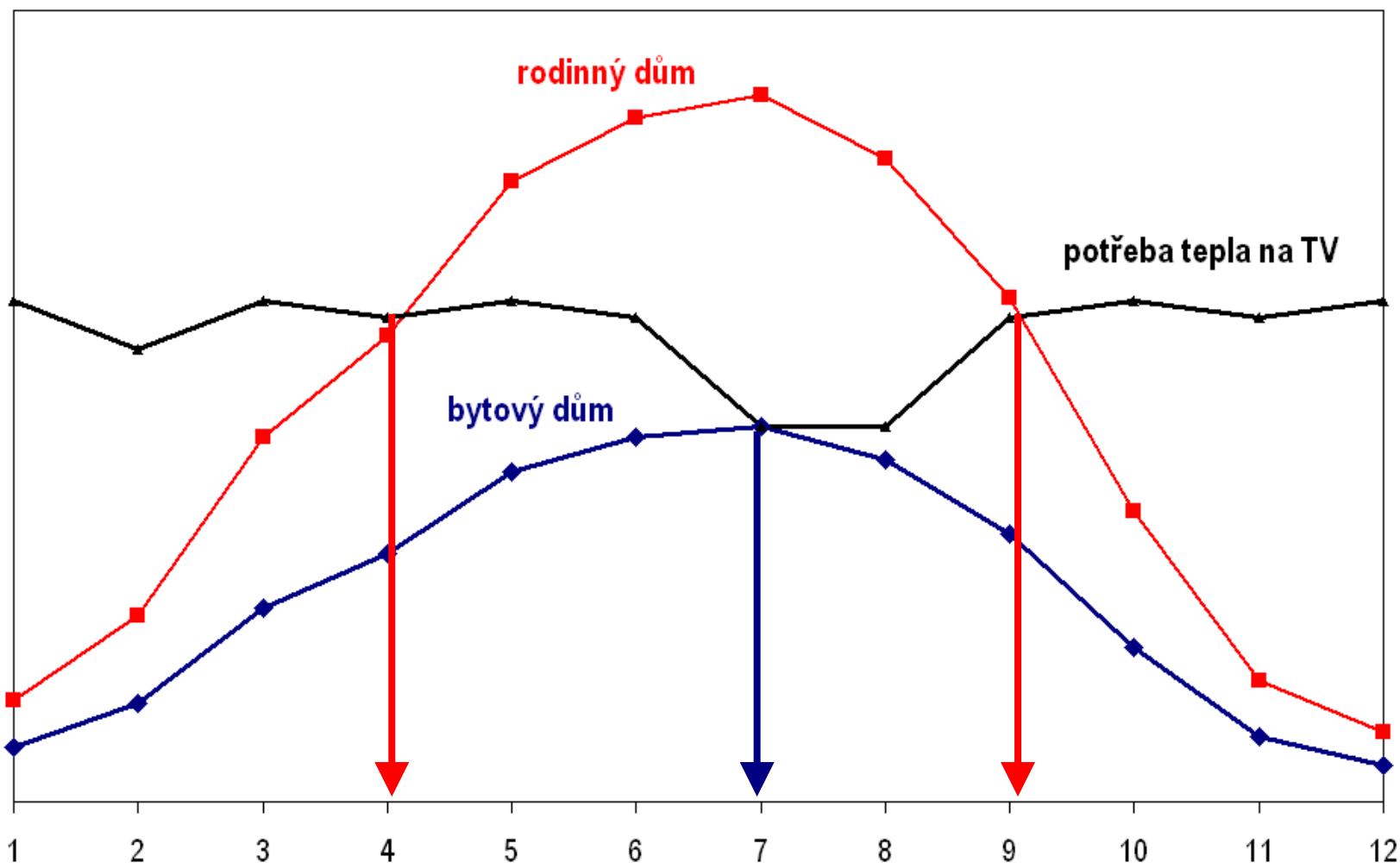
- návrhové měsíce **duben a září** (100% návrhové pokrytí)
- střední teplota teplotonosné kapaliny $t_{k,m} = 40\text{ °C}$
- odpovídá pokrytí cca **60 %** roční potřeby tepla na přípravu TV

■ bytové domy

- návrhový měsíc **červenec** (100% návrhové pokrytí)
- střední teplota teplotonosné kapaliny $t_{k,m} = 40\text{ °C}$
- odpovídá pokrytí **40 - 50 %** roční potřeby tepla na přípravu TV



Návrh plochy kolektorů: příprava TV



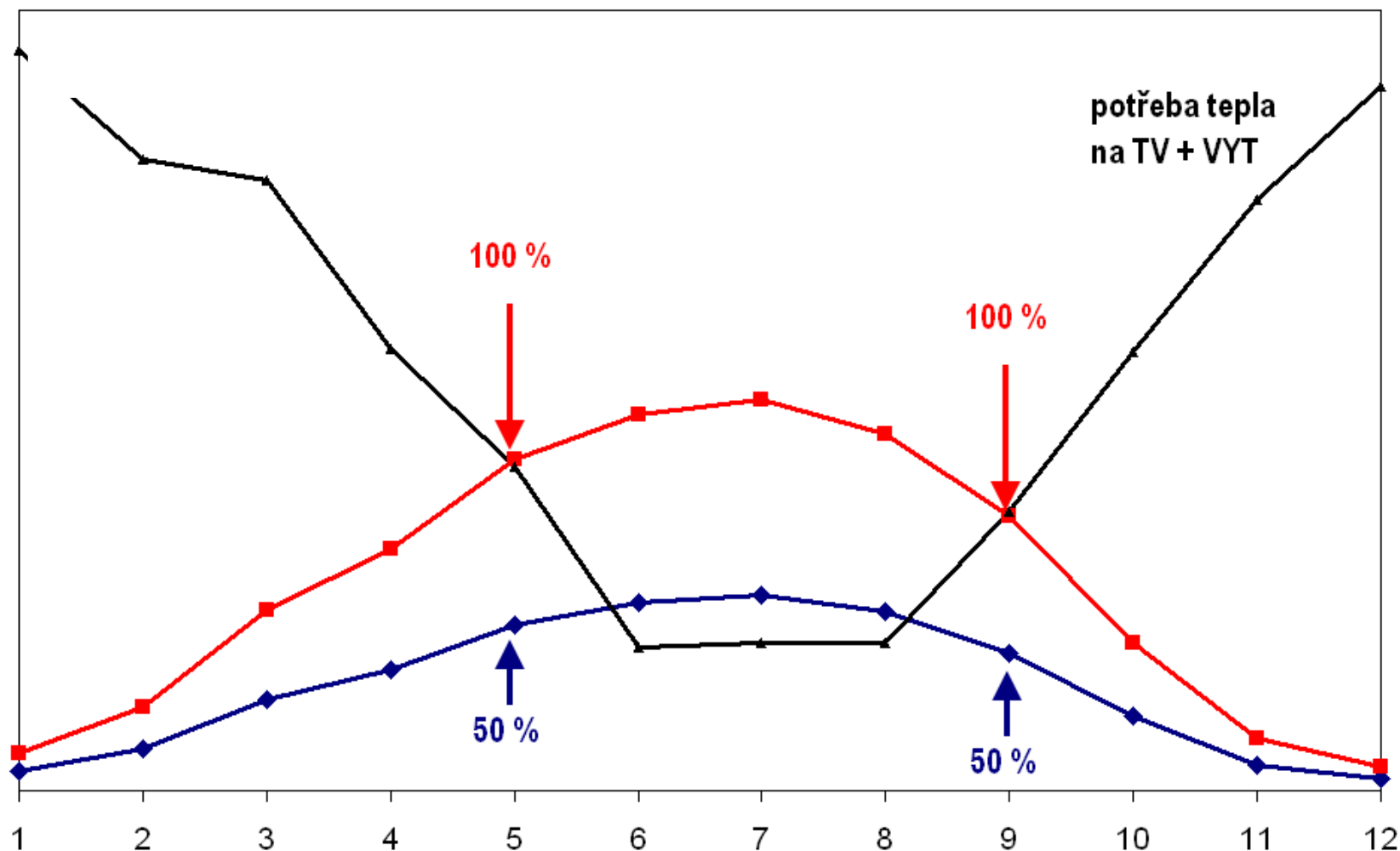


Návrh plochy kolektorů: TV + VYT

- **příprava TV a vytápění**
 - návrhové měsíce **květen a září**
 - střední teplota teplonosné kapaliny **$t_{k,m} = 50\text{ °C}$**
 - uvážit smysluplné využití letních přebytků
 - uvážit stupeň pokrytí v přechodových měsících (100 % ?)



Návrh plochy kolektorů: TV + VYT





Vliv plochy na dimenzování prvků

- **průtok solární soustavou**
 - návrh světlosti potrubí
 - návrh tloušťky izolace
- **tlakové ztráty solární soustavy, členění a hydraulika okruhů**
 - oběhové čerpadlo
- **objem solární soustavy**
 - velikost expanzní nádoby, případně nárazníkové nádoby
- **nosné konstrukce**
- **výměník tepla (výkon)**



Bilancování tepelných zisků

Bilancování solární soustavy (TNI 73 0302)

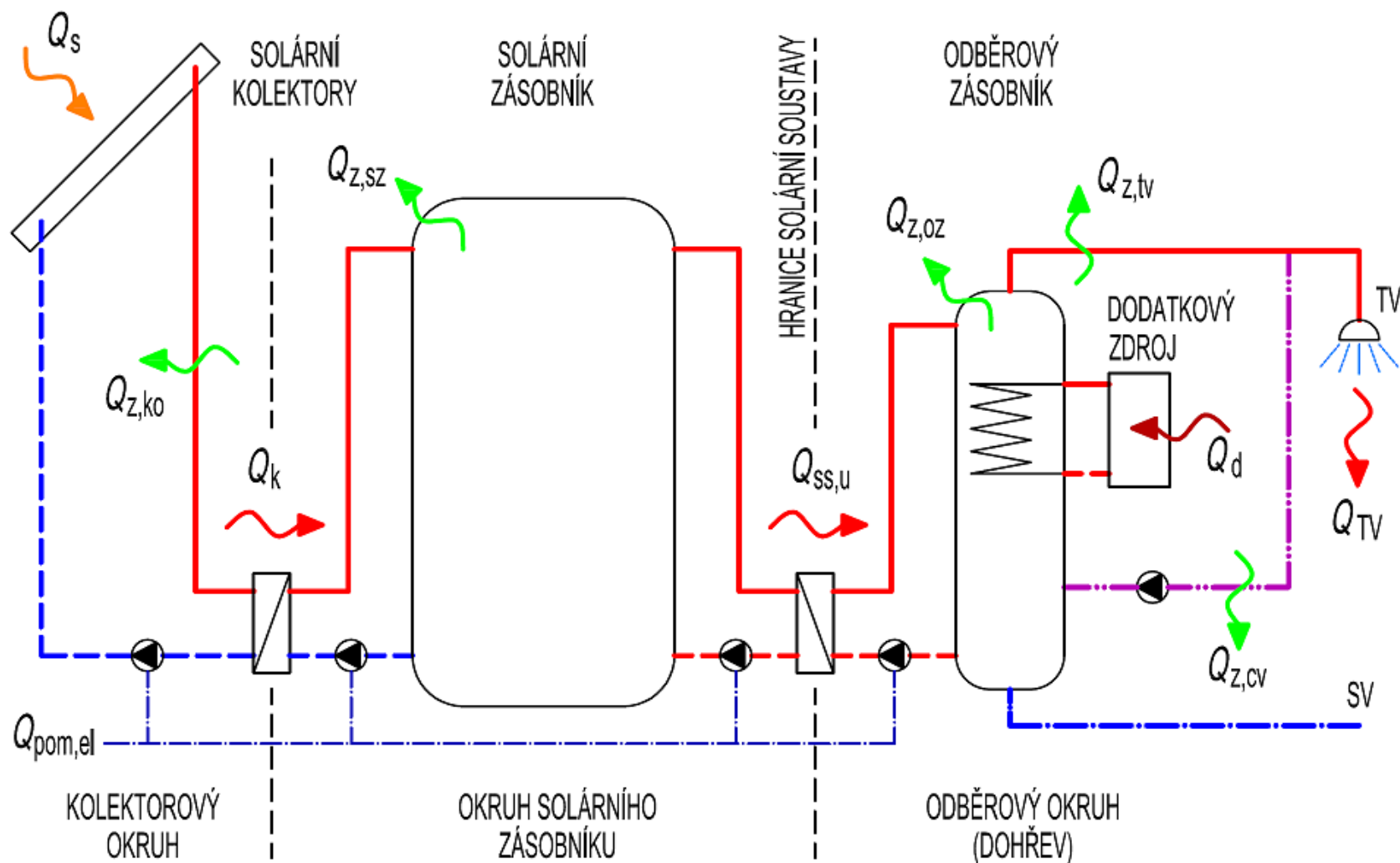
- pro danou plochu solárních kolektorů A_k
- pro **všechny měsíce roku** (referenční dny, okrajové podmínky roku)

$$Q_{ss,u} = \min (Q_{k,u}; Q_{p,c})$$

- z porovnání v jednotlivých měsících vyplývá využitelnost zisků z kolektorů pro krytí potřeby tepla
- **přebytky nelze započítat (!)**



Bilance solární soustavy





Parametry solární soustavy

- **Roční solární zisk [kWh/rok]**
 - dodaný do solárního zásobníku Q_k
 - dodaný do odběru (spotřebiče) – využitý zisk soustavy $Q_{ss,u}$
- **Roční úspora energie Q_u [kWh/rok]**
 - závisí na skutečné **provozní účinnosti** nahrazovaného zdroje tepla η_{nz}
jak ji určit ? je známa?
 - spotřeba provozní el. energie pro pohon solární soustavy
 - podklad pro výpočet úspory primární energie, úspory emisí



Parametry solární soustavy

- **Měrný roční solární zisk $q_{ss,u}$ [kWh/(m².rok)]**
 - vztažený k ploše apertury kolektoru A_a
 - měrná roční úspora nahrazované energie
 - ekonomické kritérium: úspora / m² x investice / m²

- **Solární pokrytí, solární podíl f [%]**

$f = 100 * \text{využitý zisk} / \text{potřeba tepla}$ (procentní krytí potřeby tepla)

- **Spotřeba pomocné elektrické energie $Q_{pom,el}$ [kWh/rok]**

odhad: provoz 2000 h x příkon el. zařízení (čerpadla, pohony, reg.)

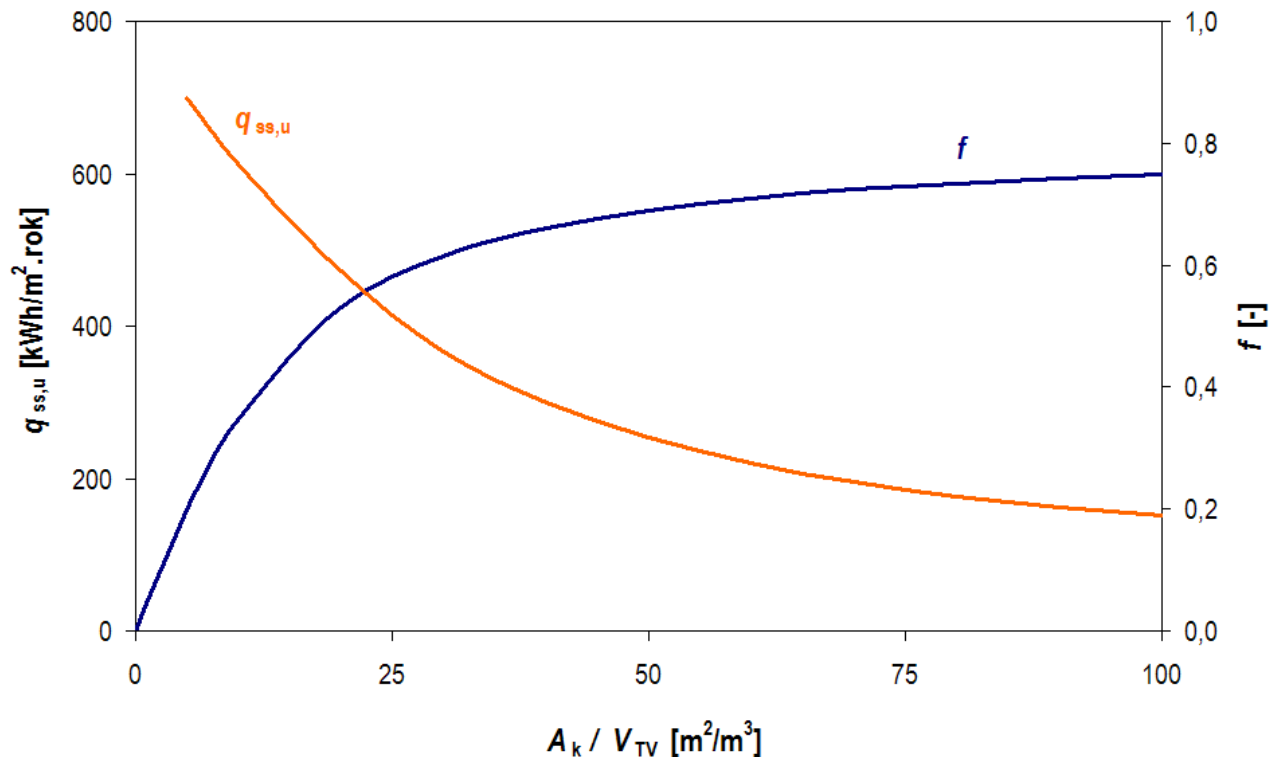
běžně **do 1 %** ze zisků



Solární soustavy – základní parametry

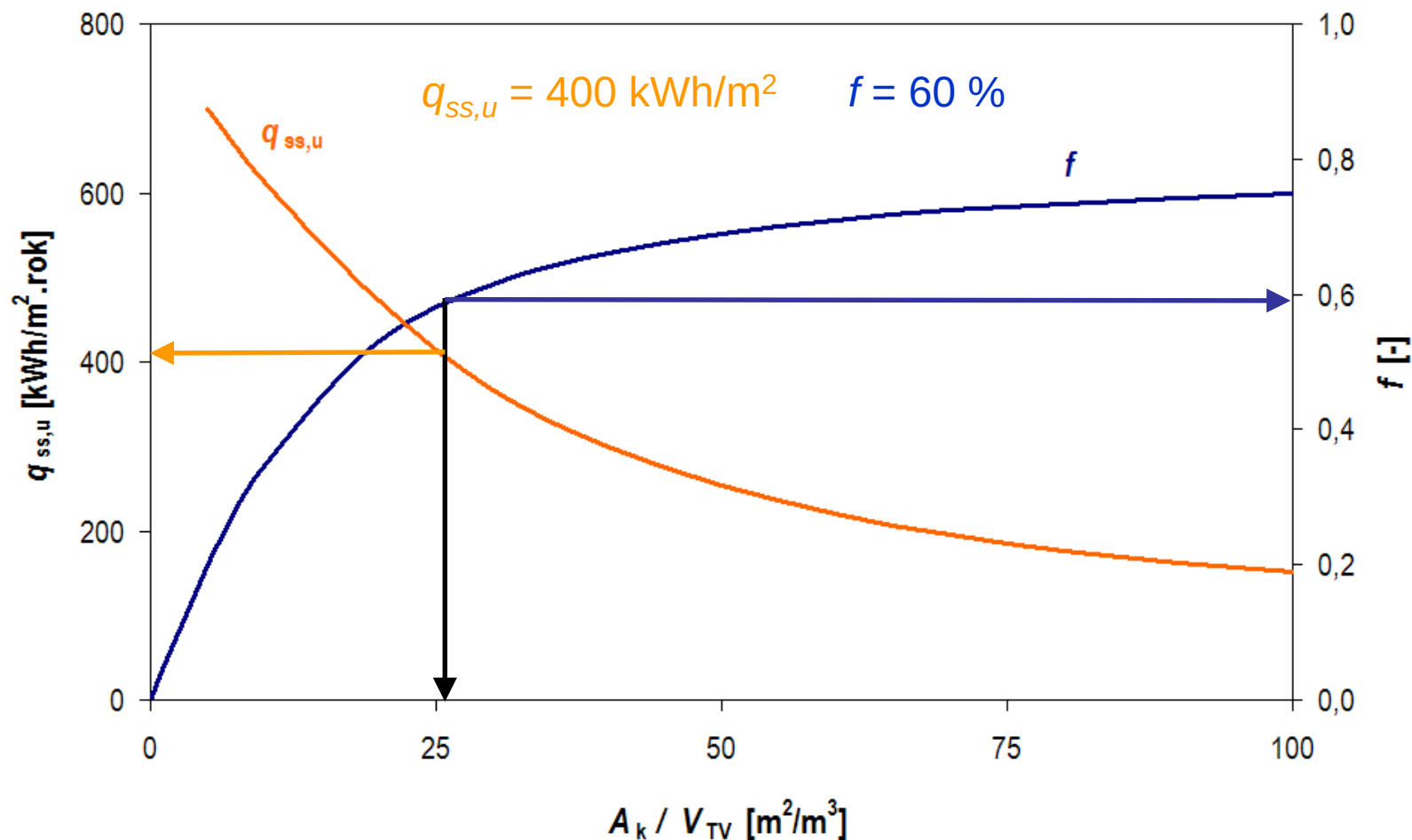
- měrné využité solární zisky $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok]

- solární podíl
$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} = 1 - \frac{Q_d}{Q_{p,c}} = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{s,u} + Q_d} \quad [-]$$



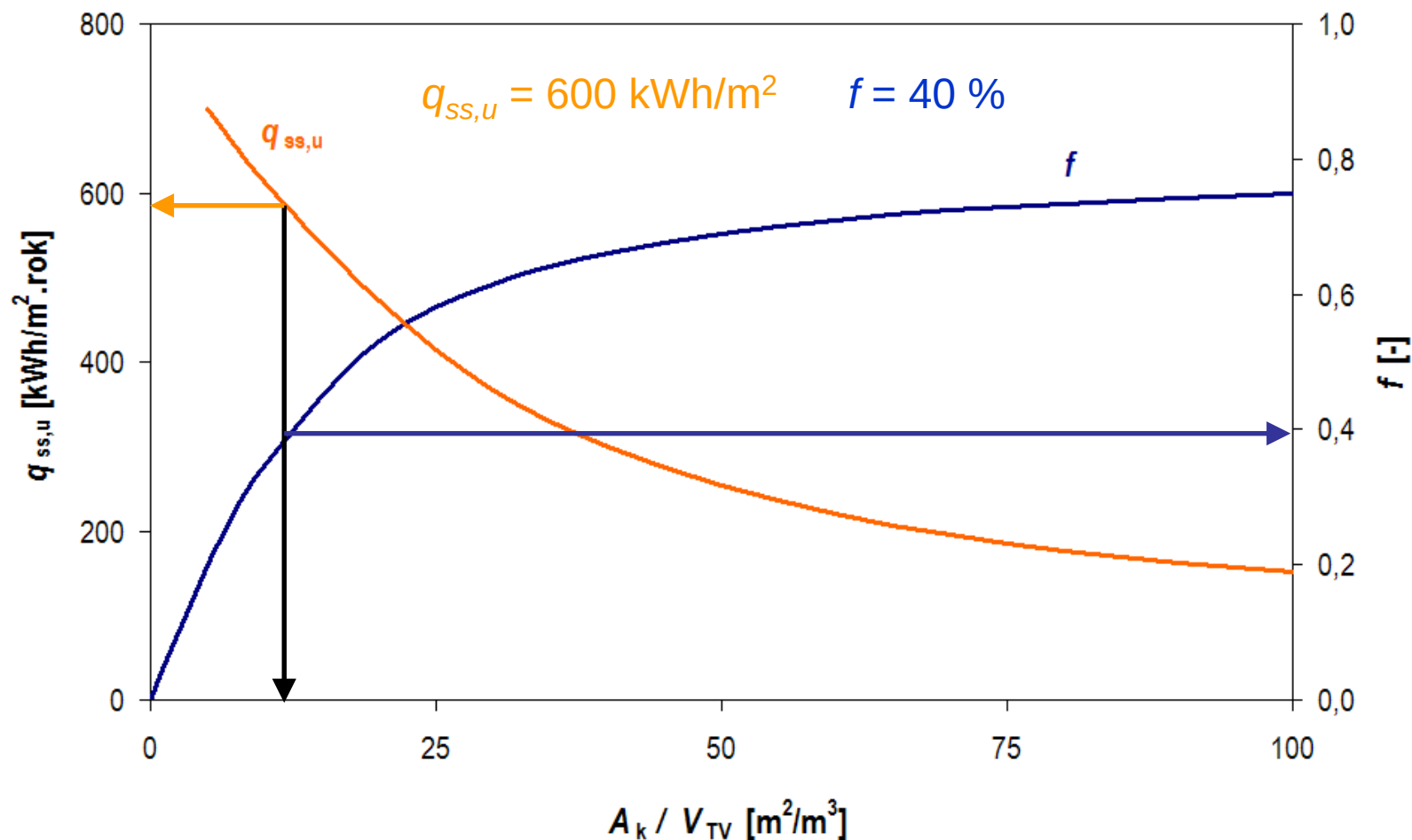


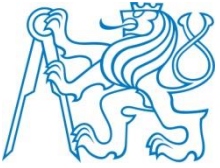
Bilance solární přípravy teplé vody



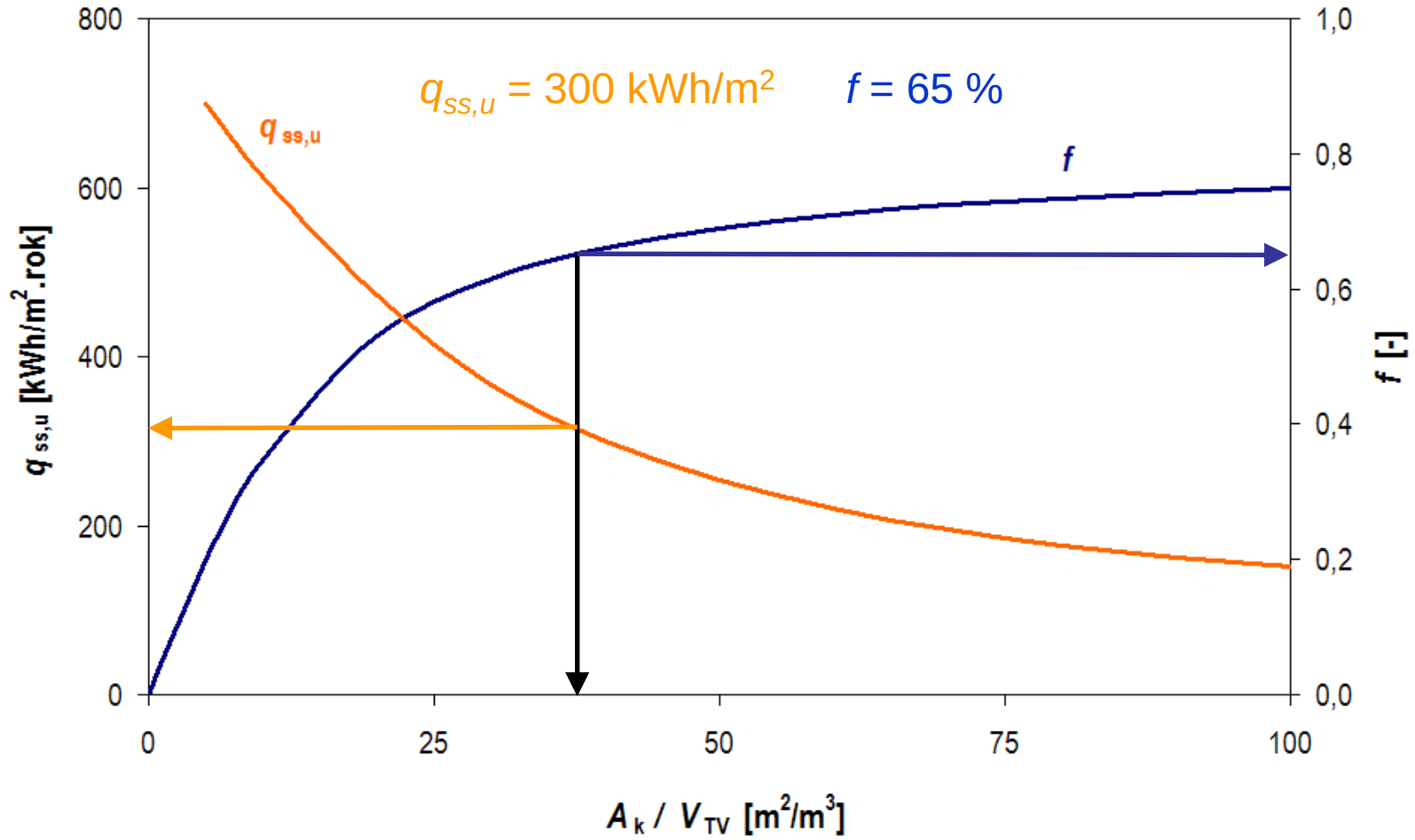


Bilance solární přípravy teplé vody





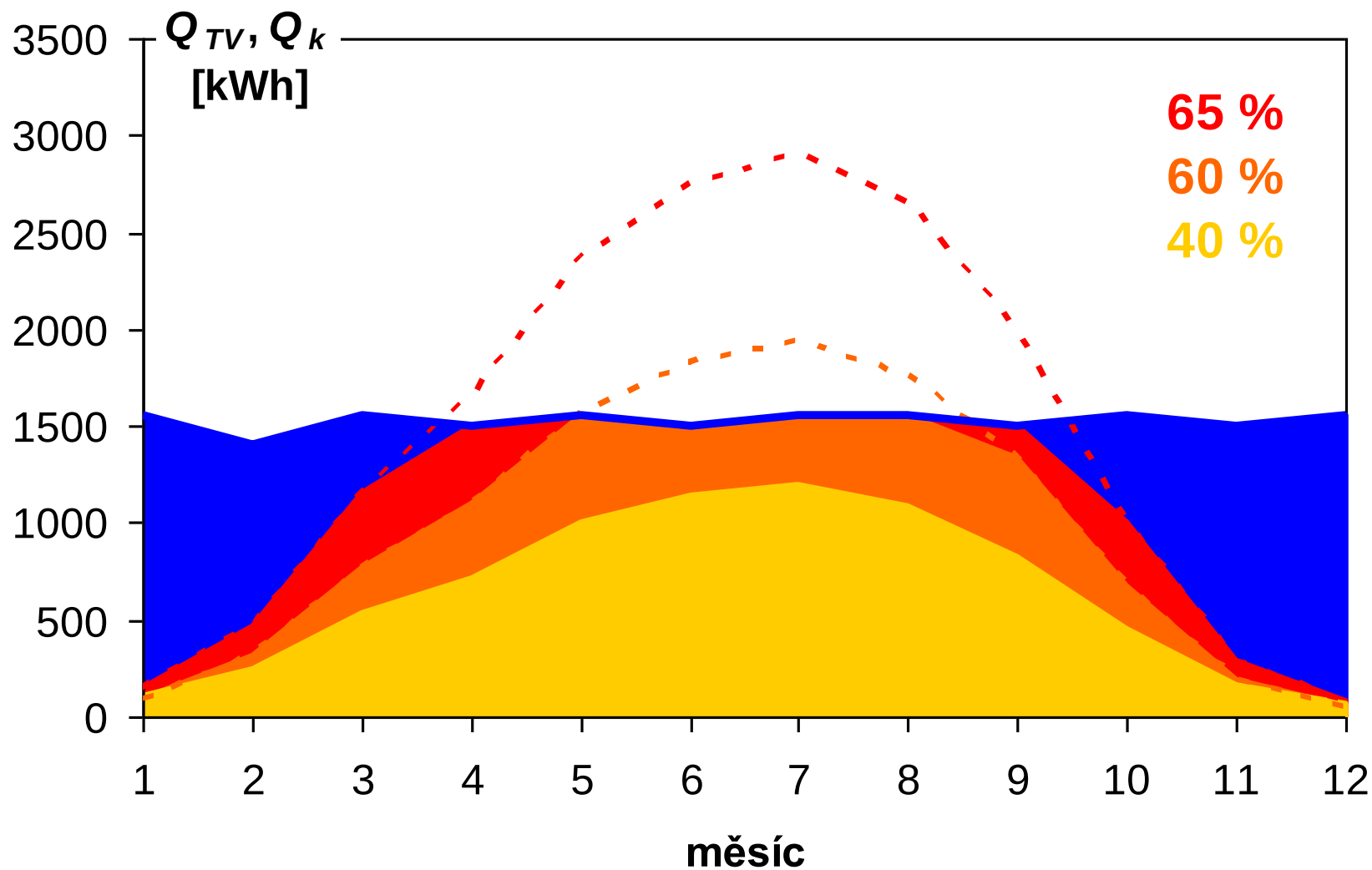
Bilance solární přípravy teplé vody

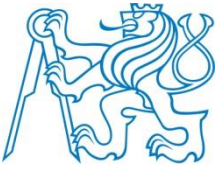


s rostoucím solárním pokrytím klesají měrné zisky soustavy



Bilance solární přípravy teplé vody





Přehled solárních soustav

- příprava teplé vody
- kombinované soustavy
- ohřev bazénové vody
- hydraulická zapojení
- typické zisky

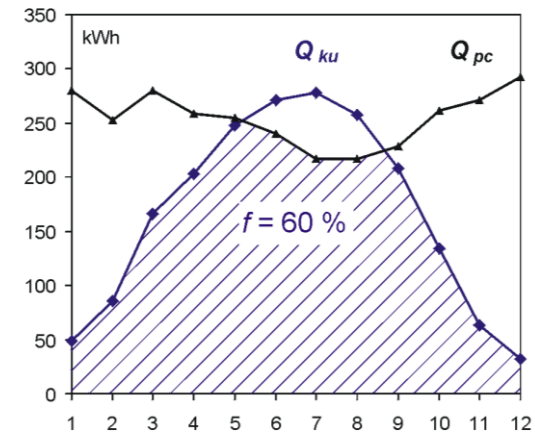




Solární soustavy pro přípravu TV

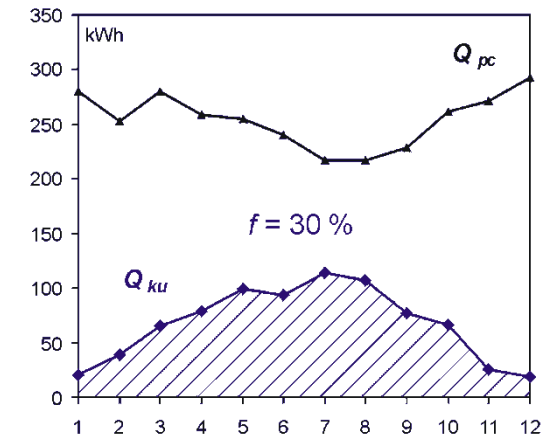
■ rodinné domy

- (3 až 6 m²; 250 až 400 l), solární podíl 50 až 70 %
- solární zisky **300 až 400 kWh/m².rok**



■ bytové domy, ústavy, hotely, ...

- (od 25 až 200 m²; 1 až 8 m³), solární podíl 40 až 50 %
- solární zisky **400 až 500 kWh/m².rok**



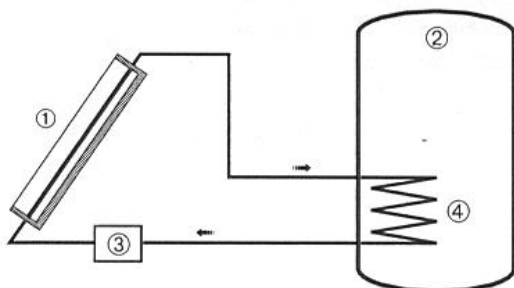
■ předehřev teplé vody

- solární podíl 20 až 40 %
- solární zisky **500 až 600 kWh/m².rok**

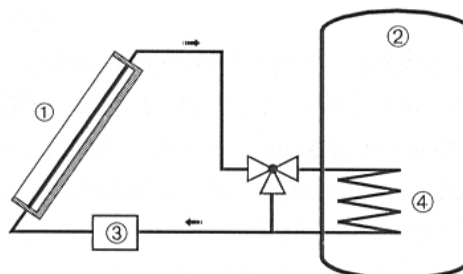


Solární soustavy pro přípravu TV

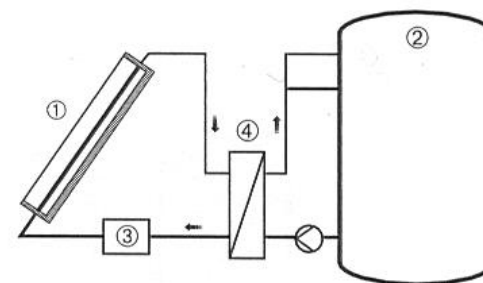
rodinné domy



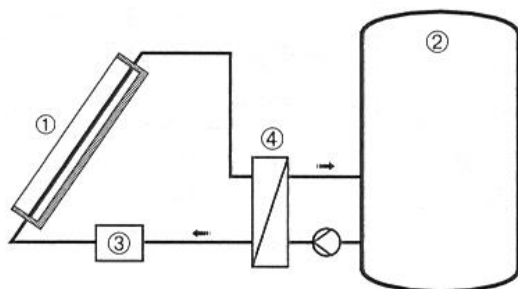
„standardní provedení“ (viz obr. 3.1) – vnitřní tepelný výměník



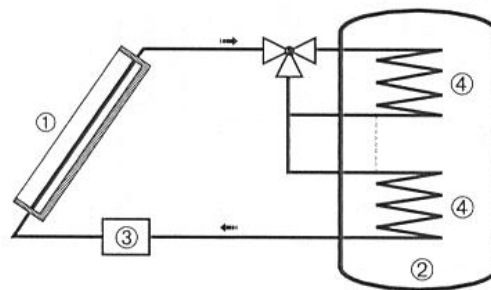
„standardní provedení“ s bypassem pro předehřátí solárního okruhu pro větší soustavy



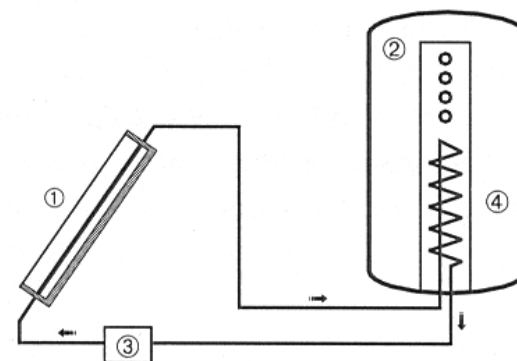
nabíjení ve vrstvách přes venkovní tepelný výměník



venkovní tepelný výměník pro větší soustavy



nabíjení ve vrstvách přes vnitřní tepelný výměník v různých výškách zásobníku

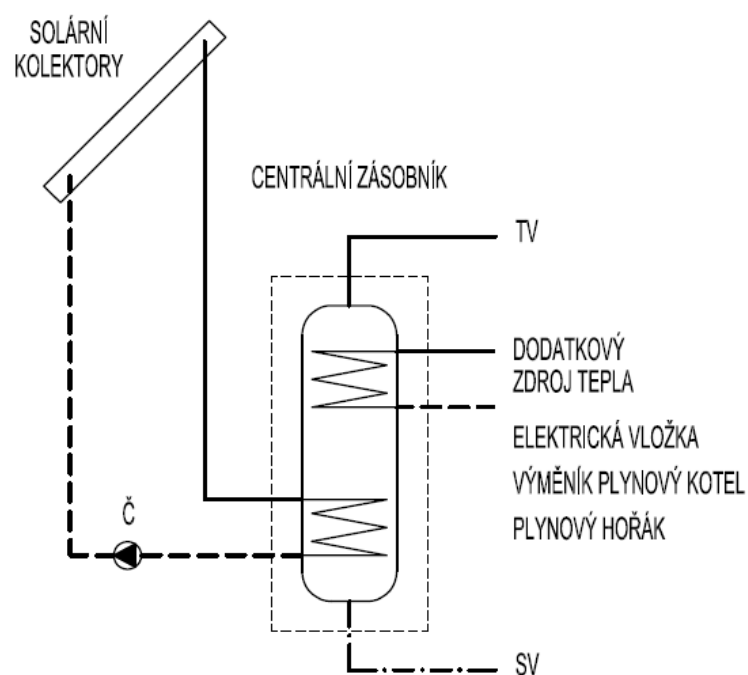
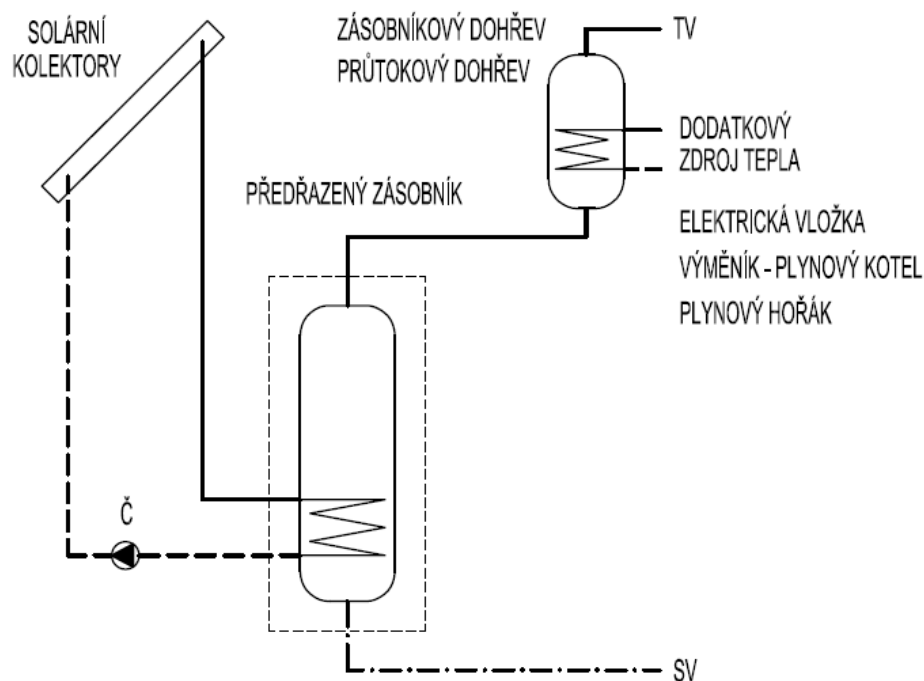


nabíjení ve vrstvách přes vnitřní tepelný výměník se samotížným efektem



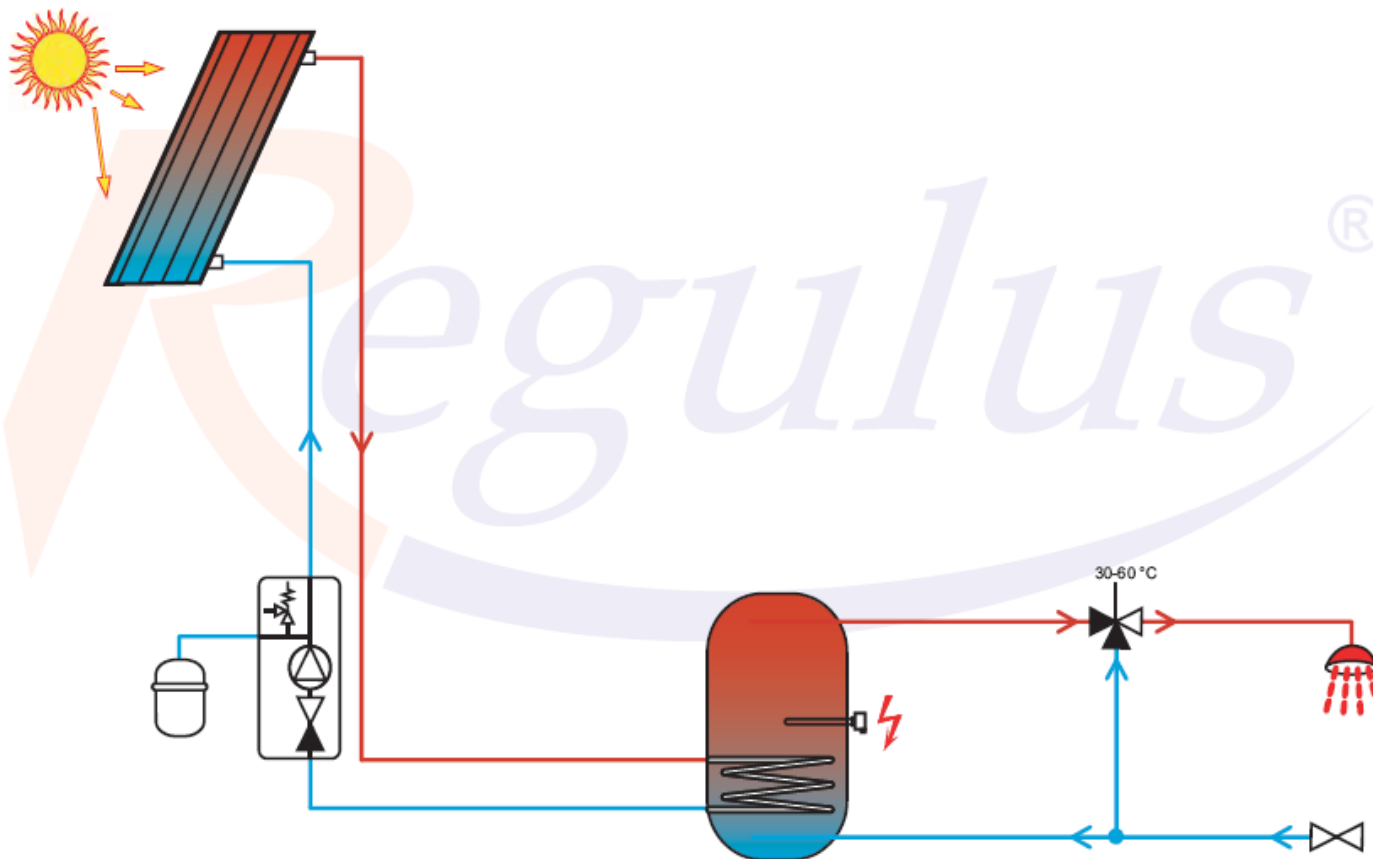
Solární soustavy pro přípravu TV

rodinné domy



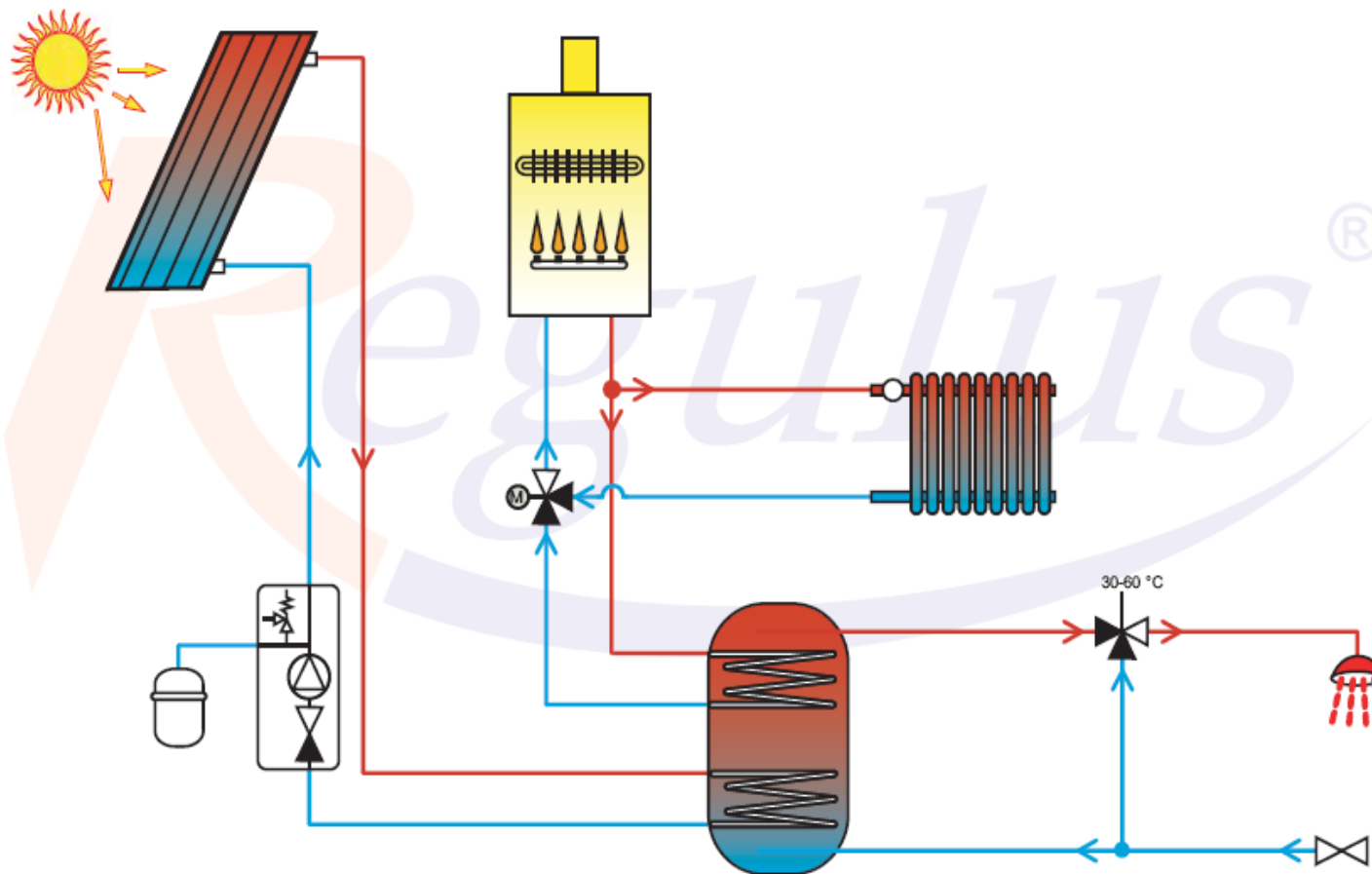


Příprava teplé vody



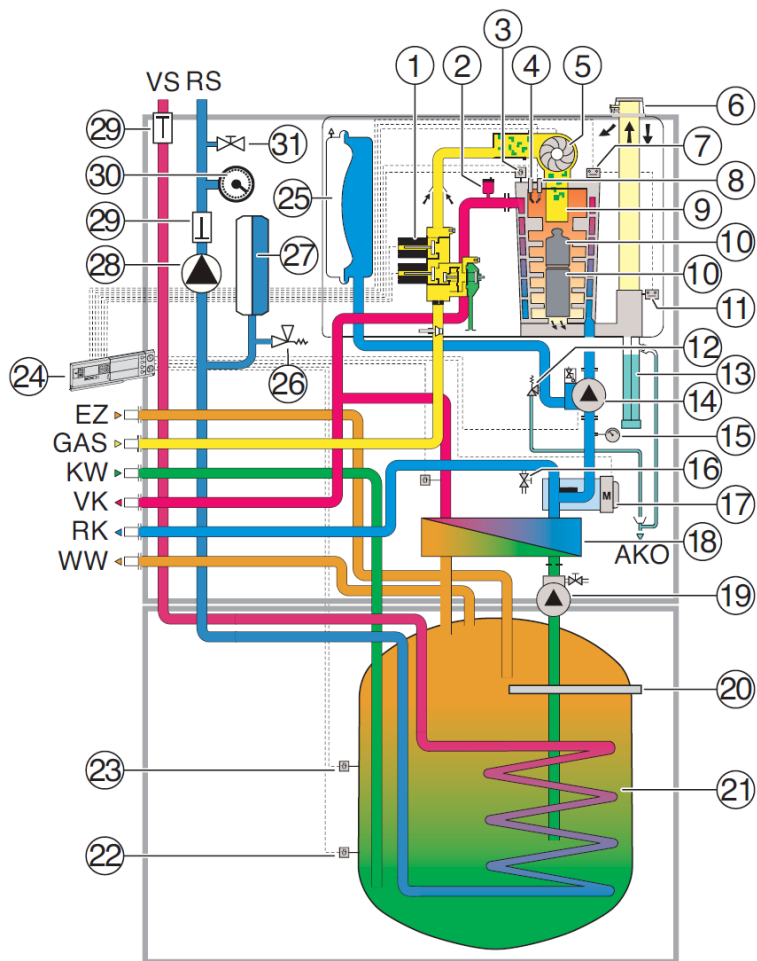


Příprava teplé vody



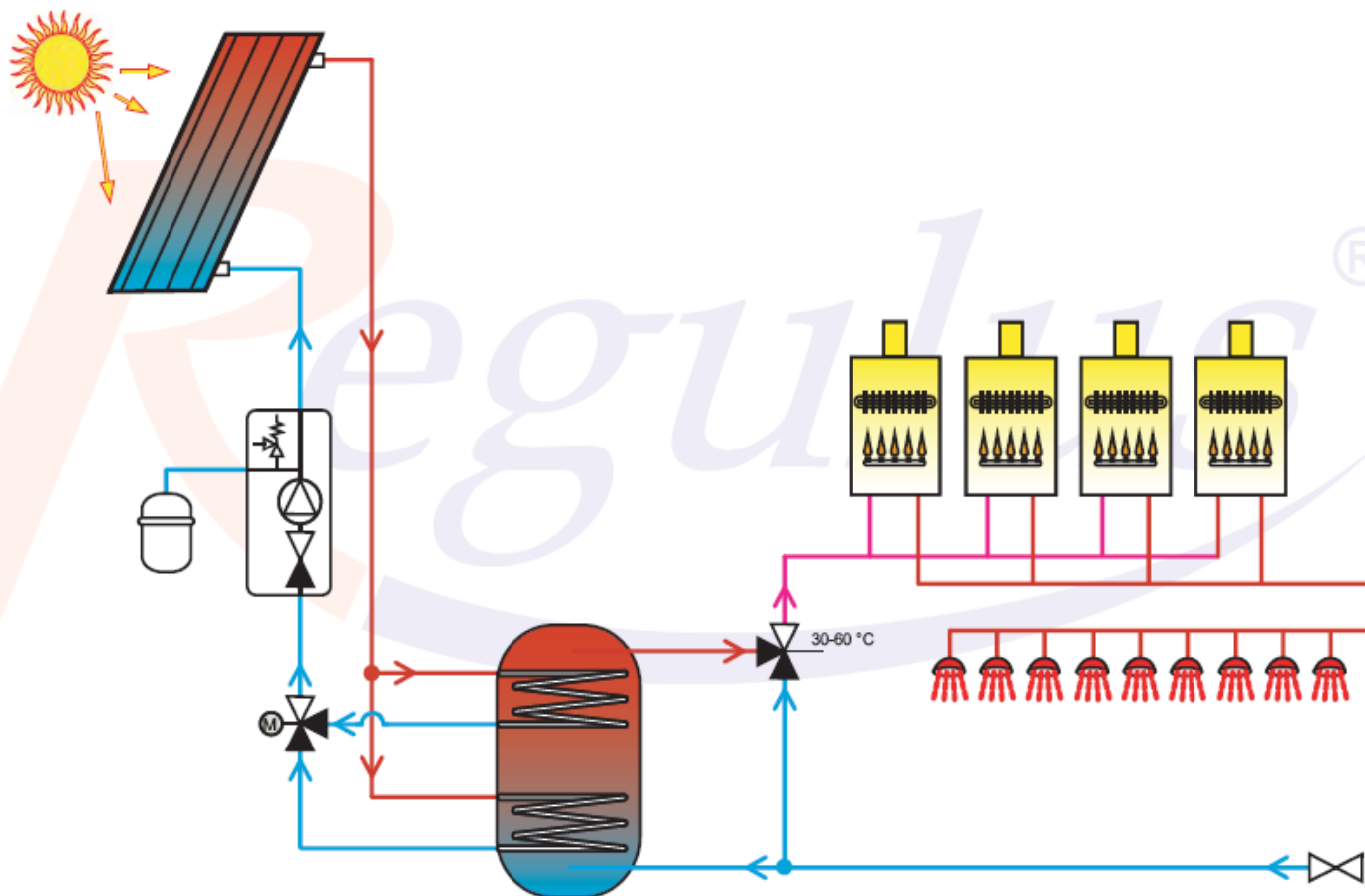


Příprava TV – kompaktní provedení



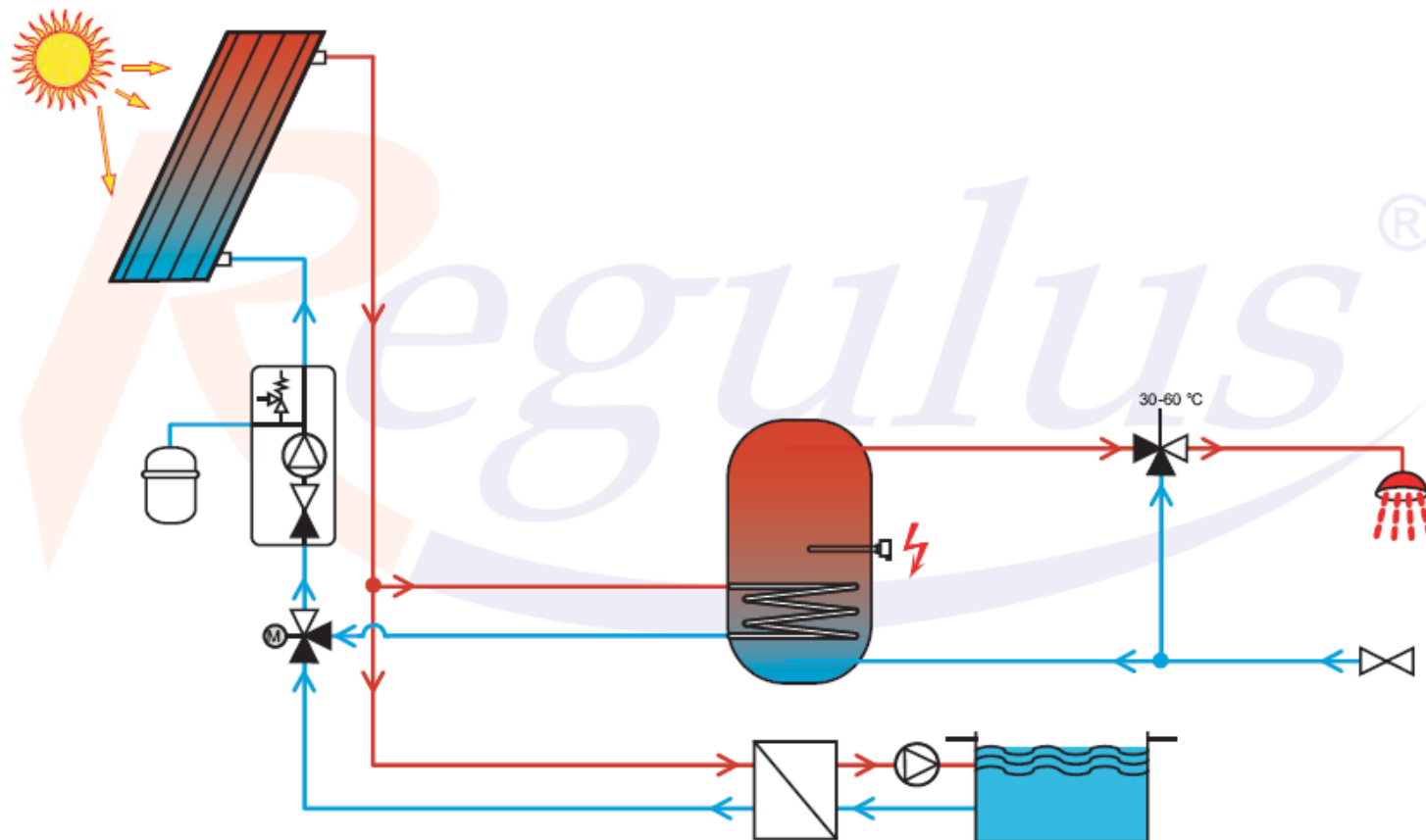


Příprava teplé vody





Příprava teplé vody a ohřev bazénu





Solární soustava Meziboří



správní objekt firmy
Doterm Servis

realizace 1996
kancelářské prostory
dílny
turistická ubytovna

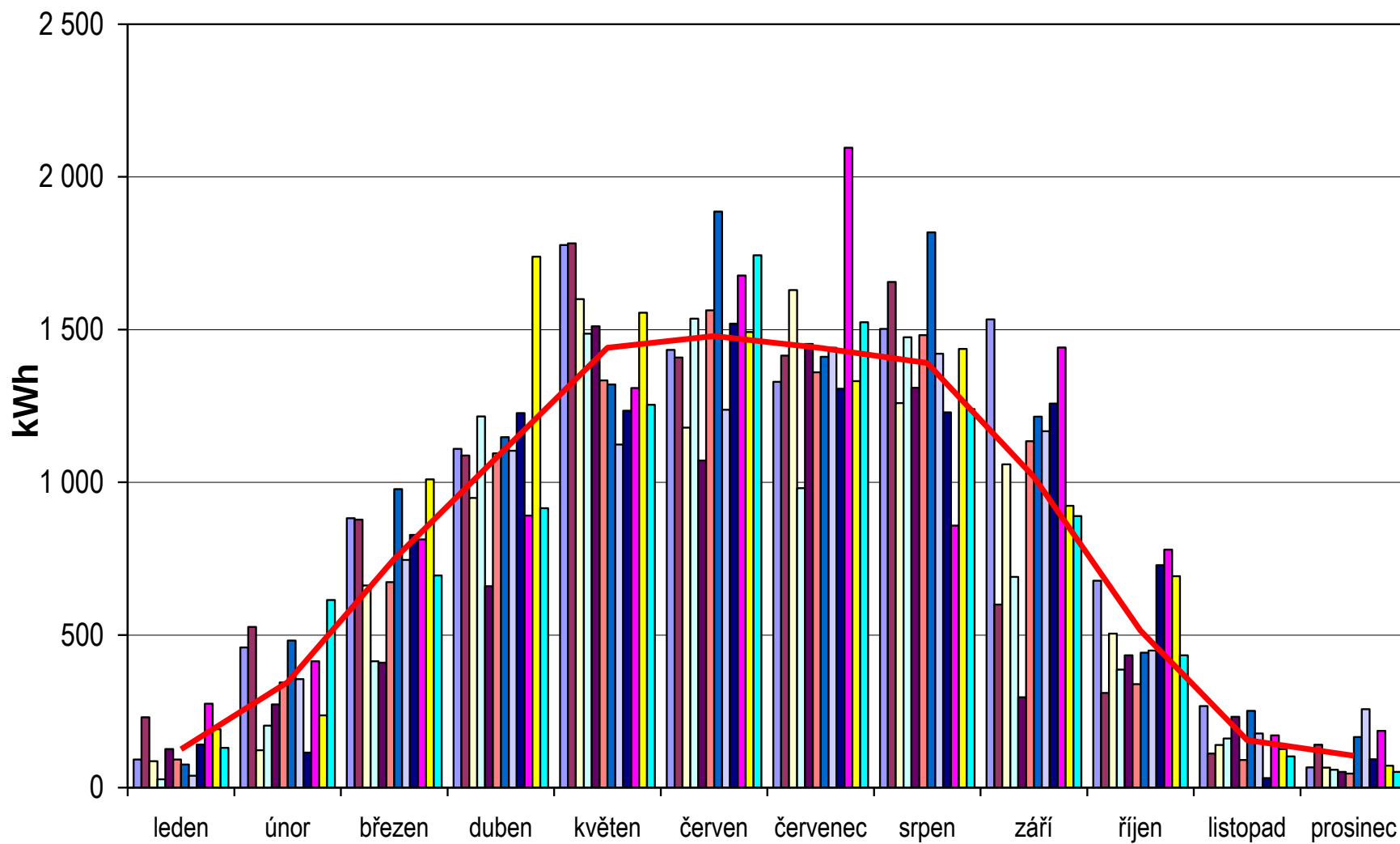
měření za více než 12 let

příprava TV

15 ks plochých kolektorů Heliostar = 27 m²



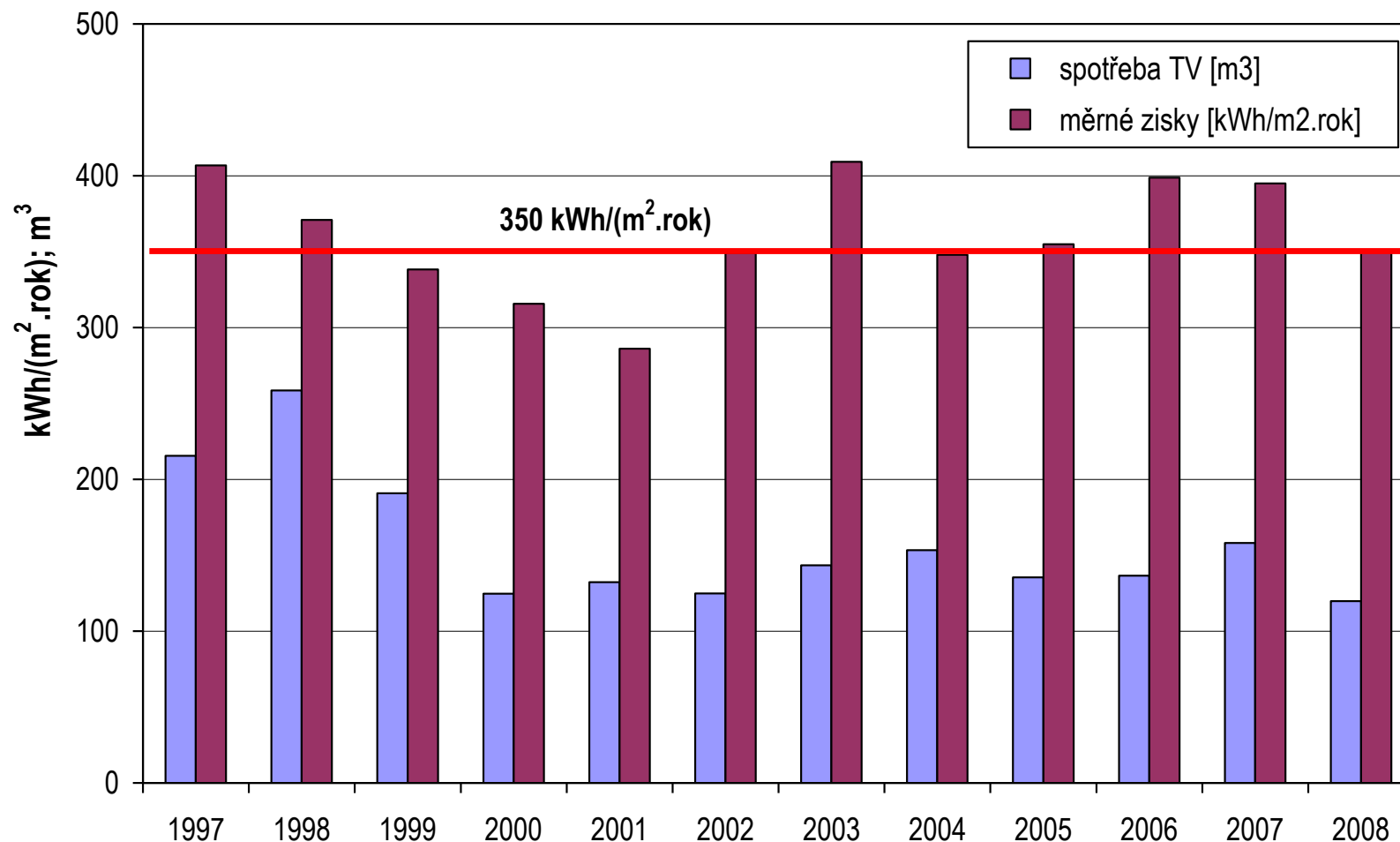
Solární soustava Meziboří

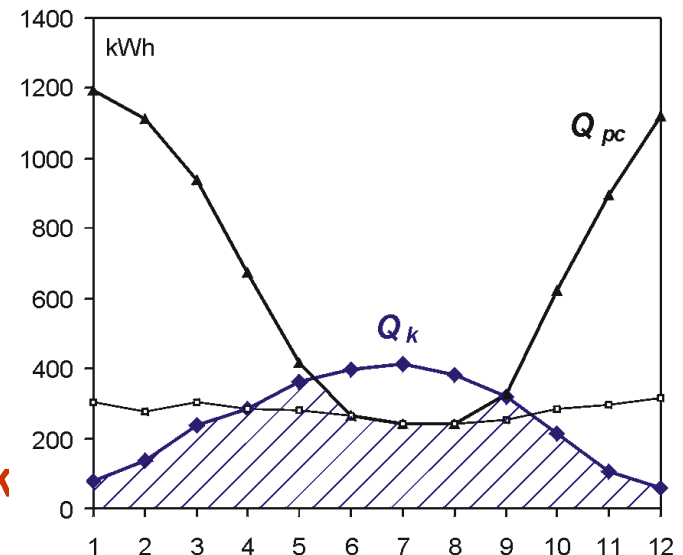




Solární soustava Meziboří

roční spotřeba TV: 130 až 150 m³ (vysoký podíl tepelných ztrát TV+solar)

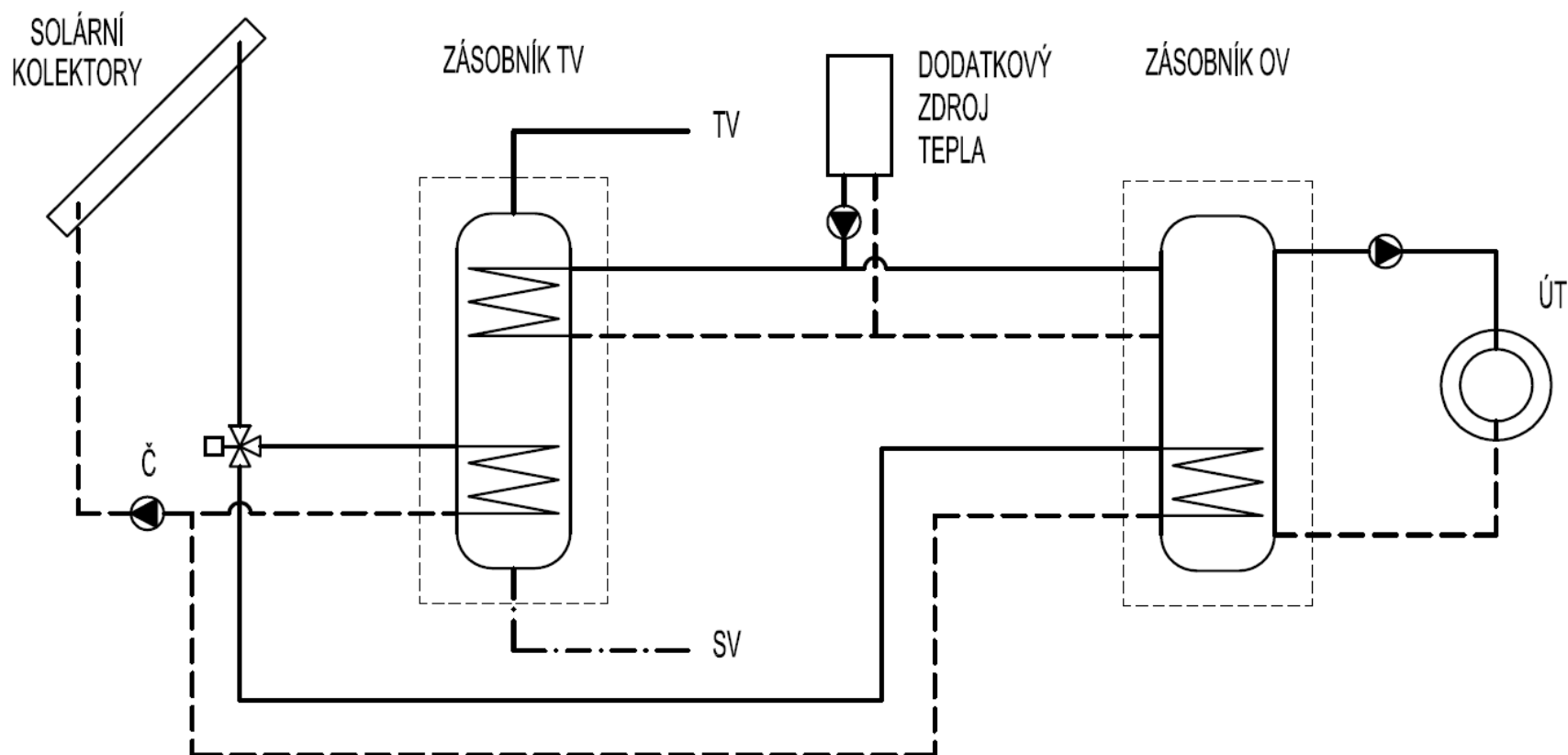






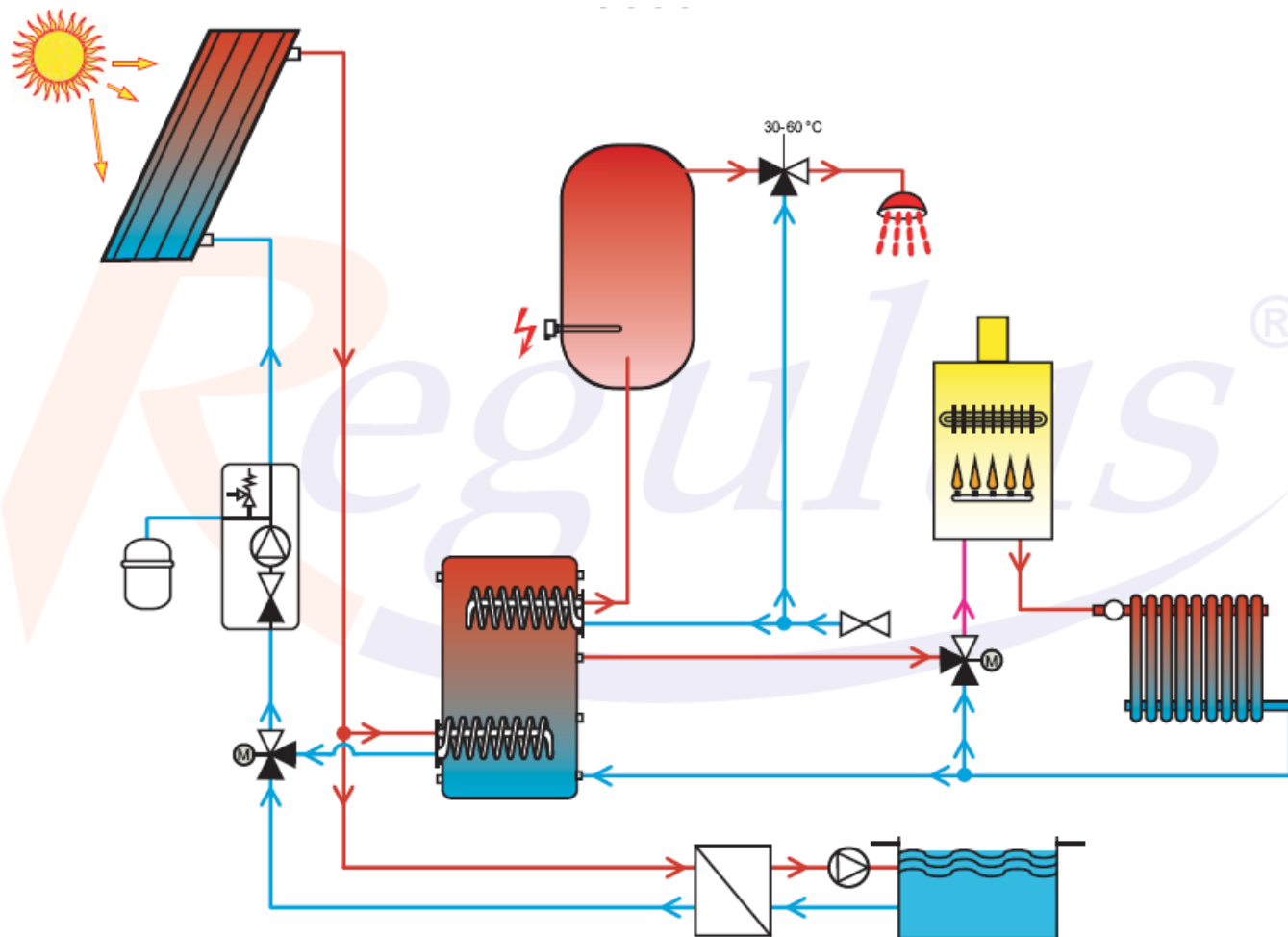
Kombinované solární soustavy (TV+VYT)

rodinné domy





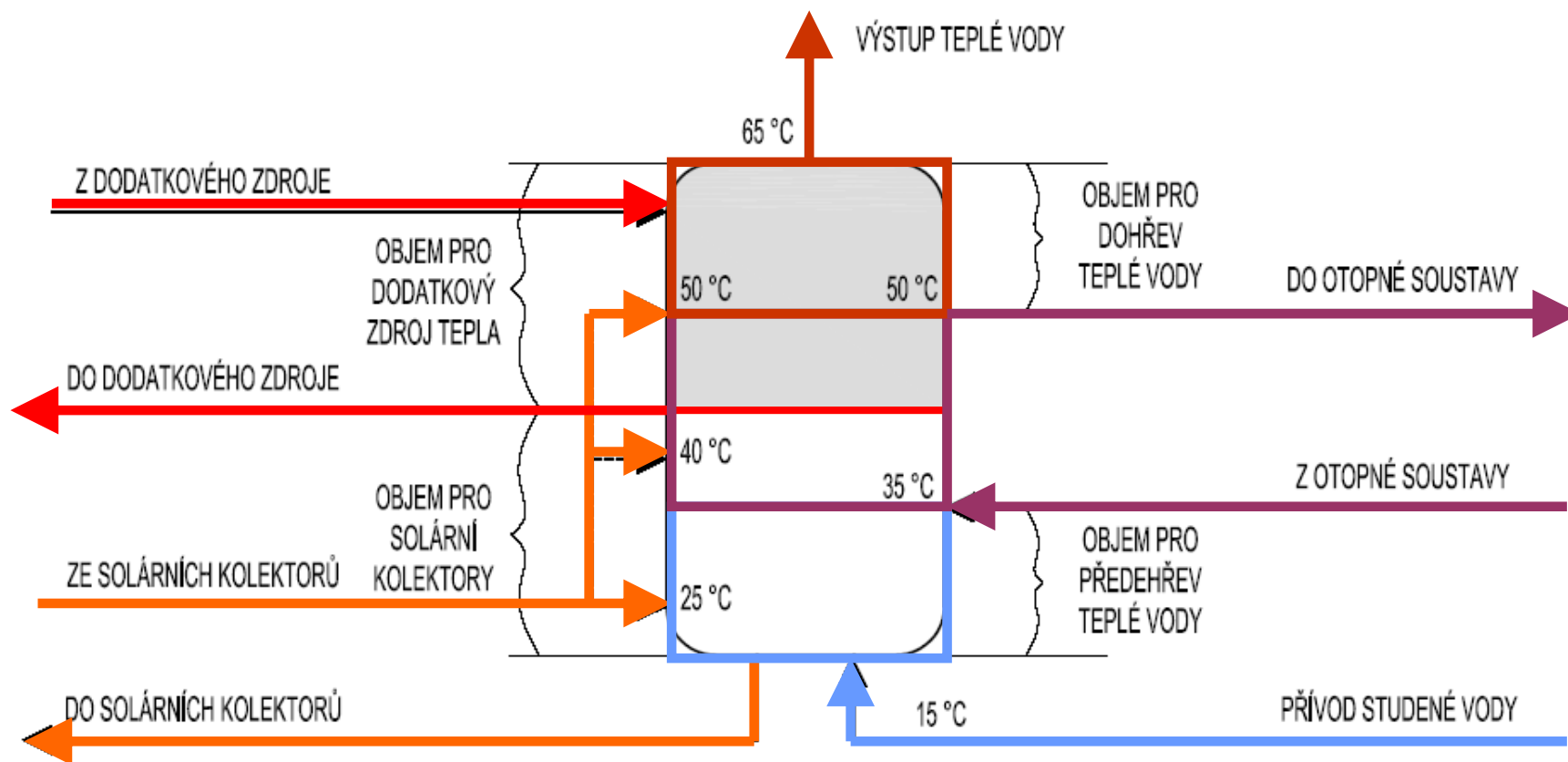
Příprava TV, ohřev bazénu, vytápění





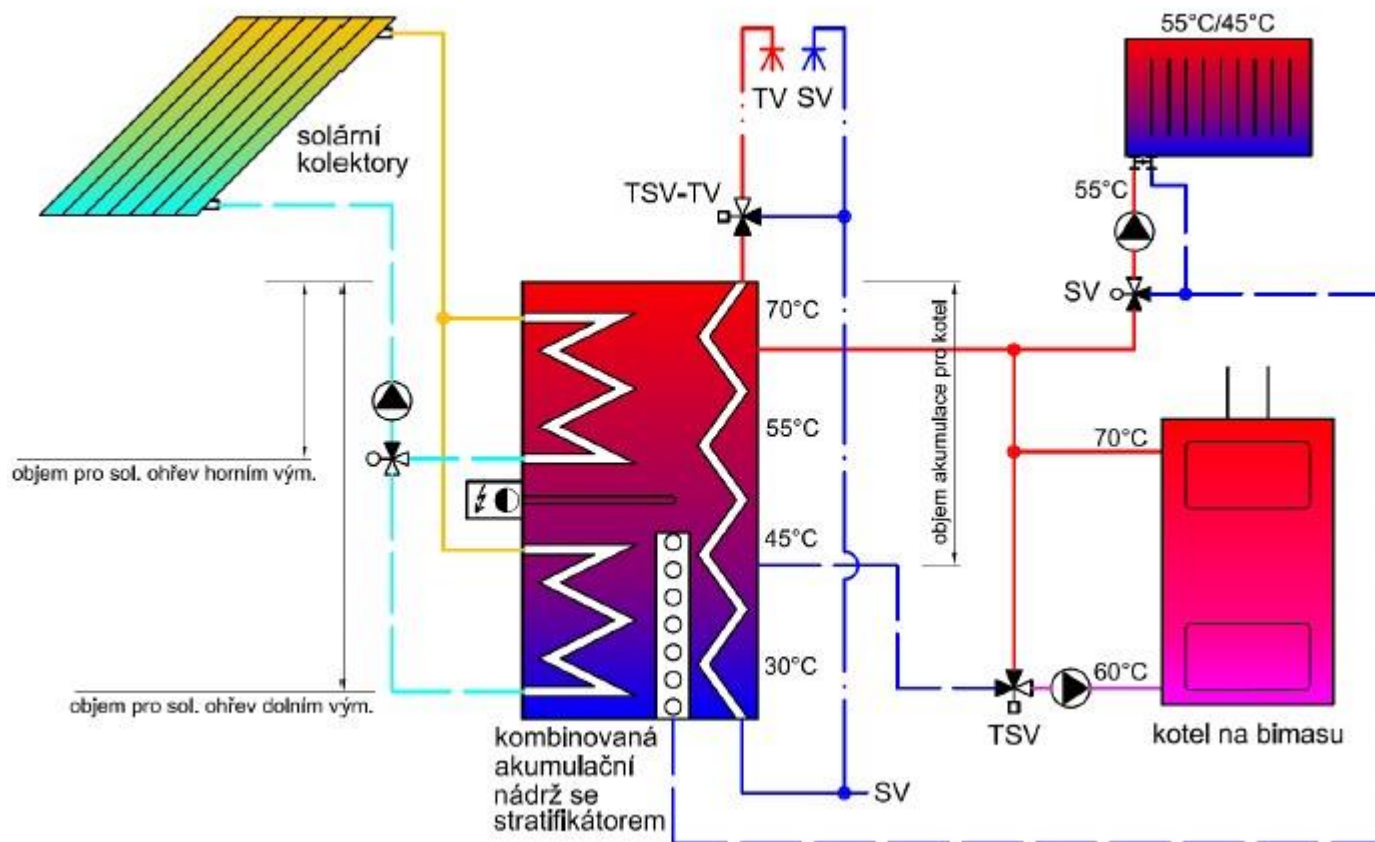
Kombinované solární soustavy (TV+VYT)

rodinné domy



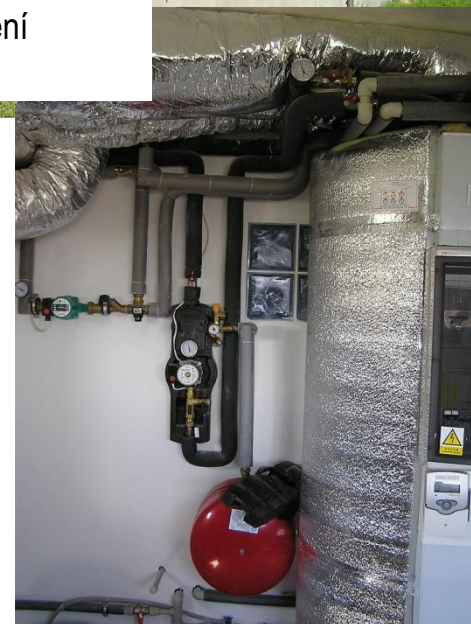


Kombinace s kotlem na biomasu





Příprava teplé vody a vytápění





Solární soustava Mnichovice

rodinný dům, 4 osoby, ztráta 5,2 kW, plocha kolektorů 7,3 m², sklon 60°

monitoring: regulátor, měřicí ústředna, kalorimetr (cejch na vodu)





Solární soustava Mnichovice

vyhodnocení za rok 2009

