



Integrace solárních soustav do bytových domů

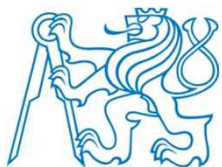
Bořivoj Šourek

Siemens, s.r.o., Building Technologies

Ústav techniky prostředí

Fakulta strojní, ČVUT v Praze





Solární tepelné soustavy pro BD

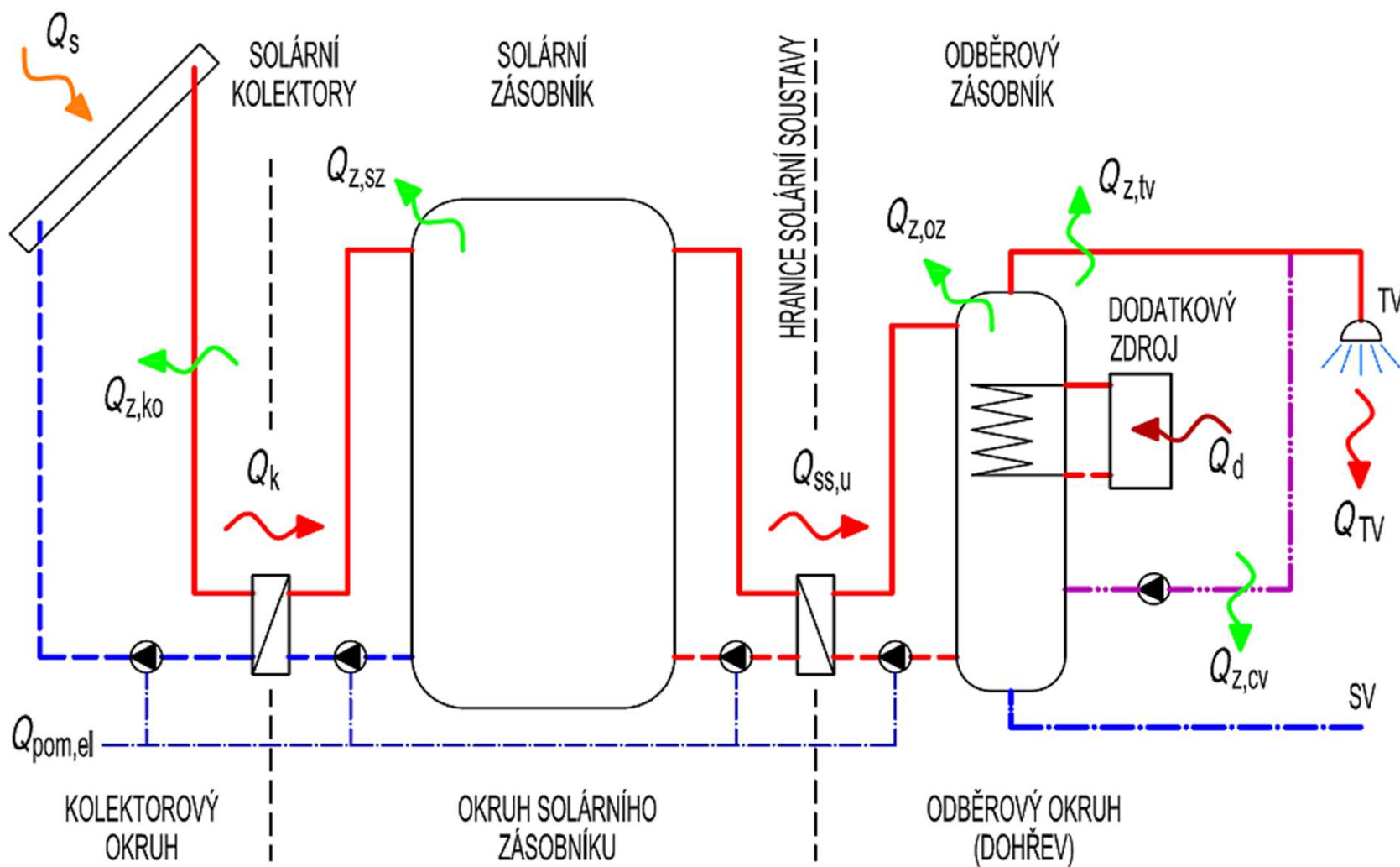
- **Typy solárních soustav**
 - příprava teplé vody
 - příprava teplé vody a vytápění (kombinované)
 - solární chlazení
 - předehřev vzduchu pro větrání
 - CZT + sezónní akumulace



archiv BD Orlová



Bilance solární soustavy

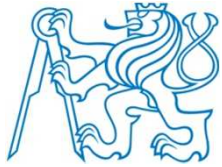




Parametry solární soustavy

- **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 [%]**

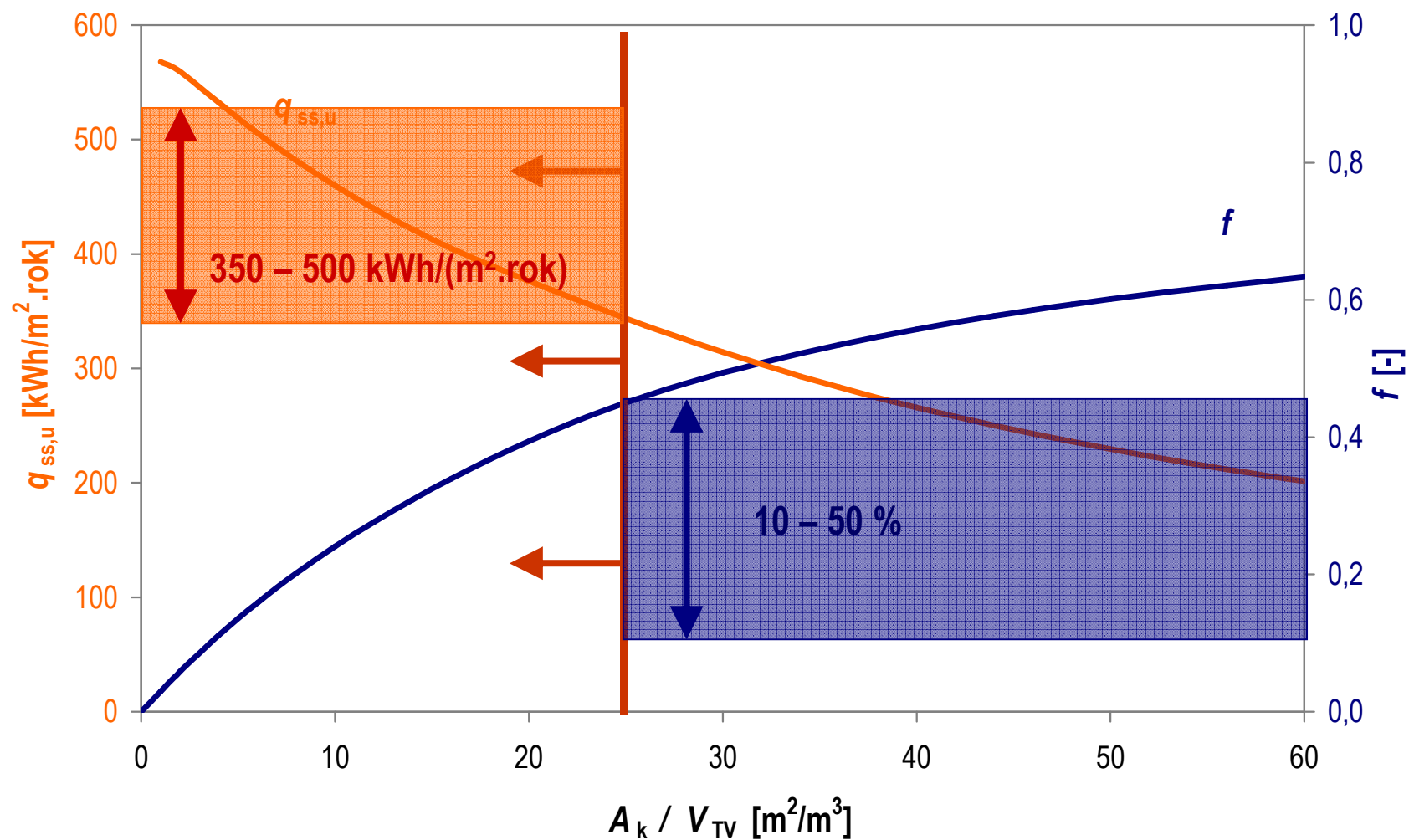
$f = 100 * \text{využitý zisk} / \text{potřeba tepla}$ (procentní krytí potřeby tepla)

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

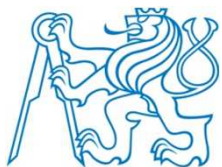
odhad: provoz 2000 h x příkon el. zařízení (čerpadla, pohony, reg.)
běžně **do 1 %** ze zisků ~ COP solární soustavy > 100



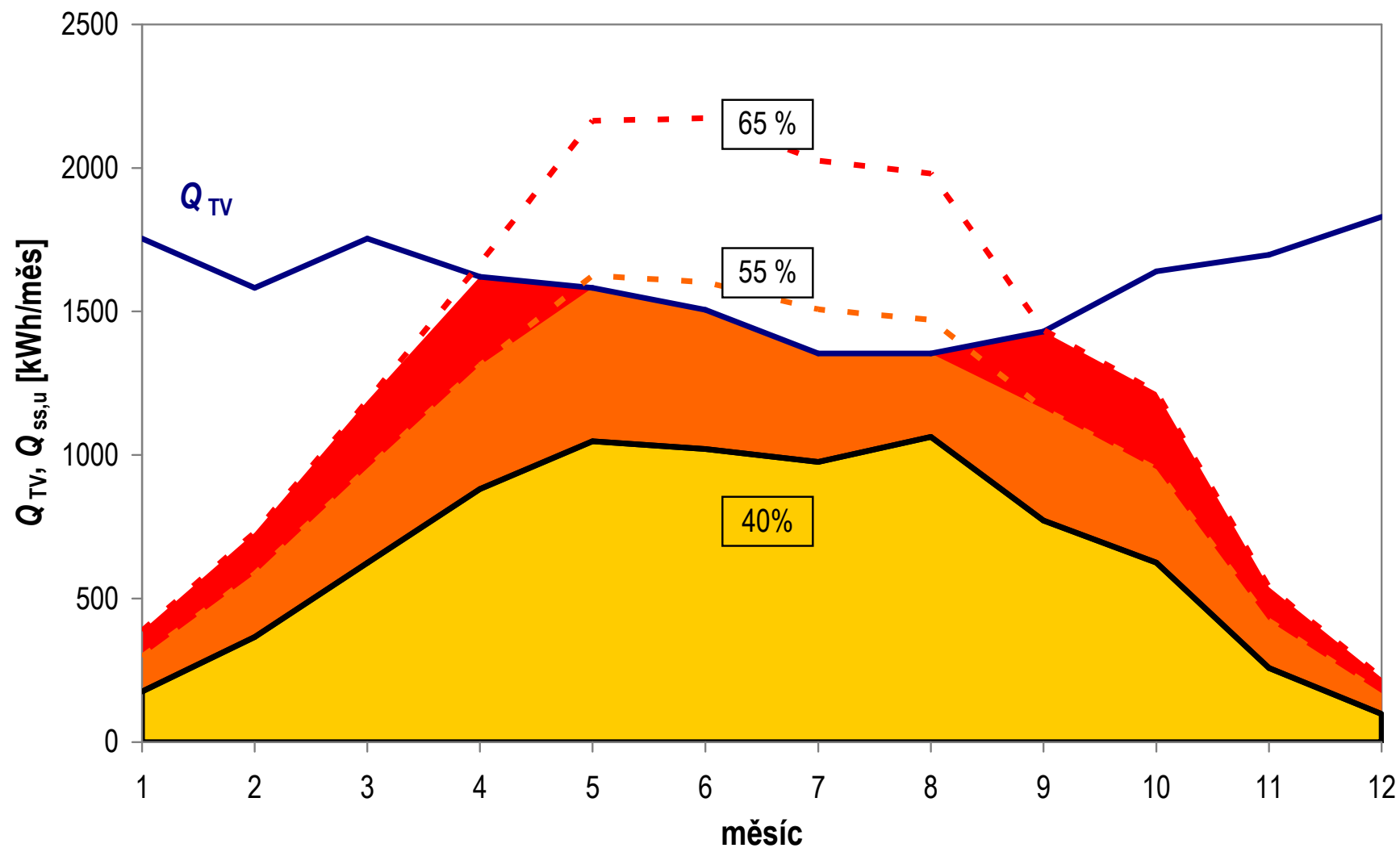
Bilance solární přípravy teplé vody



s rostoucím solárním pokrytím klesají měrné zisky z kolektorů



Bilance solární přípravy teplé vody





Zisky solárních soustav

závisí na návrhu a provedení solární soustavy:

- solární kolektory**

- typu solárního kolektoru, typu zásobníku (teplotní vrstvení)
- orientaci a sklonu kolektorů
- návrhu plochy solárních kolektorů vůči potřebě tepla (!)**

- tepelné ztráty**

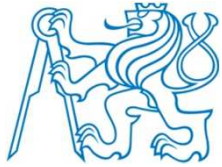
- úrovni tepelné izolace solární soustavy: **potrubí (!)**, zásobník
- délce rozvodů, povrchu zásobníku (kompaktní x rozdělení objemu)



Předpoklady návrhu solárních kolektorů

- snížení spotřeby tepla na přípravu teplé vody, resp. vytápění
 - úsporná opatření provádět jako první !
 - omezit spotřebu teplé vody a tepelné ztráty (rozvody, zásobníky, doba běhu cirkulace)
 - nízkoenergetické a energeticky pasivní domy

- věrohodné informace o spotřebě tepla (výpočet, měření)
 - reálné hodnoty spotřeby teplé vody: **40 l/(os.den)**, průběh léto/zima
 - bilance cirkulace teplé vody, stanovení tepelných ztrát přípravy TV
 - potřeba tepla na vytápění, účinnost otopné soustavy

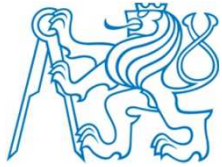


Kritéria návrhu plochy kolektorů

- ekonomické řešení** - maximalizace měrných zisků solární soustavy $q_{ss,u}$ [kWh/m²rok]
- ekologické řešení** - maximalizace solárního pokrytí f [%] - maximální nahrazení primárních paliv
- optimalizované řešení** - požadovaný solární podíl f (optimalizace návrhu)
- omezené řešení** - podmínky struktury budovy, omezující parametry (velikost střechy, možný sklon kolektorů, architektonické souvislosti)



správně navržená soustava splňuje očekávání investora



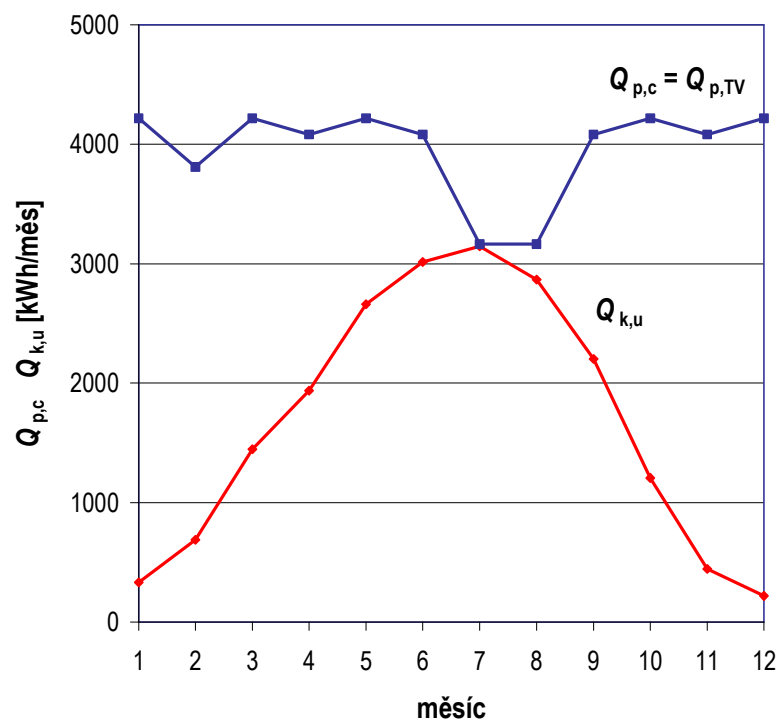
Návrh plochy solárních kolektorů

- pro zajištění určitého stupně pokrytí f potřeby tepla
- pro daný **návrhový den** / návrhový měsíc (provozní a klimatické okrajové podmínky) – **pro bytové domy: červenec**
- stanovení potřeby tepla pro přípravu teplé vody, vč. tepelných ztrát
- stanovení využitelných zisků ze solárních kolektorů
- z porovnání vyplývá potřebná plocha kolektorů A_k pro zvolené pokrytí potřeby tepla (nejčastěji 100 % v návrhovém měsíci)

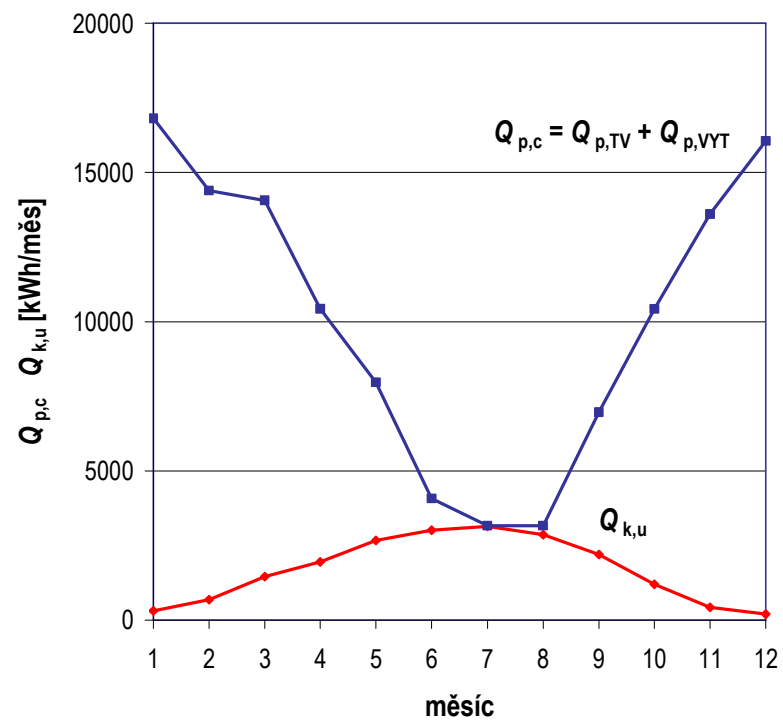


Návrh plochy solárních kolektorů

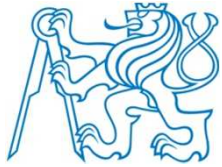
příprava teplé vody



příprava teplé vody a vytápění

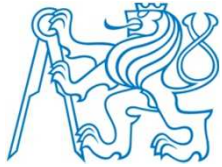


| f [%] | 10 % | 20 % | 30 % | 40 % | 50 % |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A_k [m ² /os] | 0,10 – 0,15 | 0,25 – 0,30 | 0,40 – 0,60 | 0,60 – 0,90 | 0,90 – 1,30 |
| $q_{ss,u}$ [kWh/m ² .rok] | 470 – 600 | 400 – 550 | 350 – 490 | 300 – 430 | 260 – 350 |



Bilancování zisků solární soustavy

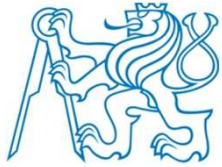
- pro danou plochu solárních kolektorů A_k
- pro **všechny měsíce roku**
- stanovení potřeby tepla pro přípravu teplé vody, vč. tepelných ztrát
- stanovení využitelných zisků ze solárních kolektorů
- z porovnání vyplývá využitelnost zisků z kolektorů pro krytí potřeby tepla, **přebytky nelze započítat**
- bilančních výpočtů je možné výhodně využít pro návrh plochy** (optimalizace návrhu z hlediska ekonomických parametrů)



Simulační nástroje (návrh, bilance)

- **Polysun (Professional, Designer)**
- **T-Sol (Professional, Expert)**
 - simulace s hodinovým krokem a menším, dynamické modely prvků (zásobník, kolektor), hodinové klimatické údaje pro různé oblasti
 - náročné na vstupní údaje, které často nejsou k dispozici (optická charakteristika kolektoru, rozměry potrubí, tloušťky izolací, profily spotřeby, atd.)
 - **nutná zkušenost**
 - cena (x0.000 Kč)

doporučuje se – relativně spolehlivý výpočet



Zjednodušené metody (návrh, bilance)

- **TNI 73 0302 - Energetické hodnocení solárních tepelných soustav**
 - vydal ÚNMZ, 2009, 210 Kč
 - program Bilance SS 5.5, Excel podle TNI 73 0302
 - zdarma ke stažení na <http://solab.fs.cvut.cz>, **Zelená úsporám (06/2010)**
 - jednoduchý výpočet s použitím Excel, **minimalizace vstupů** (oproti simulacím)
 - **paušální** zohlednění tepelných ztrát v aplikaci, tepelných ztrát solárního okruhu, teploty v kolektorech, dimenzování, ...

- platná v rozsahu pokrytí 30 až 75 %
- udává **mírně optimistické výsledky**



Výpočtový program Bilance SS 5.5

| A | | | B | | | C | | | D | | | E | | | F | | | G | | | H | | | I | | | J | | | |
|----|----------------------------|--|---|------------------------|--|---|---|--|---|-----|--|---|------------|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|--|
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Akce: | | | | | | Počet jednotek (osob, míst, lůžek, sprch ap.): | | | 4 | | | jednotek | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | Spotřeba na jednotku: | | | 50 | | | l/jedn.den | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Adresa: | | | | | | Je snížená spotřeba tepla v letních měsících u obytných budov | | | NE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | Příprava teplé vody a vytápění | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | Denní spotřeba teplé vody $V_{TV,den}(15^\circ\text{C} / 60^\circ\text{C})$ | | | 200 | | | l/den | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Typ budovy | | | Typ spotřeby | | | $V_{TV,den,os}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | [[os.den] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Obytné budovy | | | Nízký standard | | | 10 - 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | Střední standard | | | 20 - 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | Vysoký standard | | | 40 - 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | Nízké (letní) vytížení | | | $0.75 \times V_{TV}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Nemocnice, domovy důchodců | | | Nízké (letní) vytížení | | | 25 - 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | Zbylá část roku | | | 30 - 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Studentské domovy, koleje | | | Nízké (letní) vytížení | | | 20 - 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | Zbylá část roku | | | 25 - 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | Školy | | | Nízké (letní) vytížení | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | Zbylá část roku | | | 5 - 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | Hostince, restaurace* | | | Nízký standard | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | Střední standard | | | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | Vysoký standard | | | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | Ubytovací zařízení** | | | Nízký standard | | | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | Střední standard | | | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | Vysoký standard | | | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | Sportovní zařízení*** | | | Nízký standard | | | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | Střední standard | | | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | Vysoký standard | | | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | sprchu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

teplá voda

vytápění

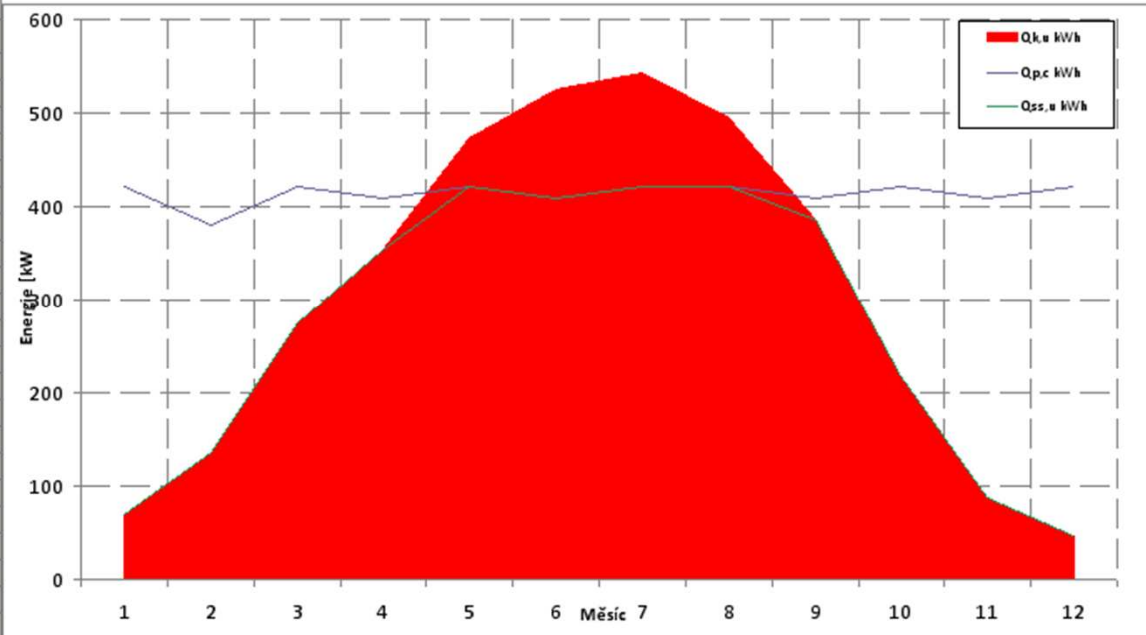
bazén

kolektory



Výpočtový program Bilance SS 5.5

| 2 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S |
|----|-------|----|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------|---|---|---|
| 3 | měsíc | n | t _{ep} | t _{ec} | G _{T,m} | η _k | H _{T,den} | H _{T,měs} | Q _{K,U} | Q _{p,TV} | Q _{p,VYT} | Q _{p,BV} | Q _{p,o} | Q _{CCU} | V _{TV,den} | Q _{p,VYT} | | | |
| 4 | dny | °C | °C | W/m ² | — | kWh/m ² .den | kWh/m ² | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | l/den | GJ | | | |
| 4 | 1 | 31 | -1,5 | 2,2 | 418 | 0,36 | 1,10 | 34,2 | 70 | 422 | 0 | 0 | 422 | 70 | | | | | |
| 5 | 2 | 28 | 0 | 3,4 | 489 | 0,43 | 1,97 | 55,3 | 137 | 381 | 0 | 0 | 381 | 137 | | | | | |
| 6 | 3 | 31 | 3,2 | 6,5 | 535 | 0,48 | 3,20 | 99,2 | 275 | 422 | 0 | 0 | 422 | 275 | | | | | |
| 7 | 4 | 30 | 8,8 | 12,1 | 527 | 0,52 | 3,96 | 118,8 | 354 | 408 | 0 | 0 | 408 | 354 | | | | | |
| 8 | 5 | 31 | 13,6 | 16,6 | 521 | 0,55 | 4,84 | 150,1 | 473 | 422 | 0 | 0 | 422 | 422 | | | | | |
| 9 | 6 | 30 | 17,3 | 20,6 | 517 | 0,57 | 5,29 | 158,6 | 525 | 408 | 0 | 0 | 408 | 408 | | | | | |
| 10 | 7 | 31 | 19,2 | 22,5 | 512 | 0,59 | 5,19 | 160,7 | 543 | 422 | 0 | 0 | 422 | 422 | | | | | |
| 11 | 8 | 31 | 18,6 | 22,6 | 515 | 0,59 | 4,71 | 145,9 | 494 | 422 | 0 | 0 | 422 | 422 | | | | | |
| 12 | 9 | 30 | 14,9 | 19,4 | 516 | 0,57 | 3,95 | 118,4 | 386 | 408 | 0 | 0 | 408 | 386 | | | | | |
| 13 | 10 | 31 | 9,4 | 13,8 | 488 | 0,51 | 2,40 | 74,5 | 219 | 422 | 0 | 0 | 422 | 219 | | | | | |
| 14 | 11 | 30 | 3,2 | 7,3 | 427 | 0,41 | 1,21 | 36,4 | 87 | 408 | 0 | 0 | 408 | 87 | | | | | |
| 15 | 12 | 31 | -0,2 | 3,5 | 387 | 0,34 | 0,77 | 24,0 | 47 | 422 | 0 | 0 | 422 | 47 | | | | | |
| 16 | | | | | | | | 1176 | 3608 | 4967 | 0 | 0 | 4967 | 3247 | 0 | | | | |



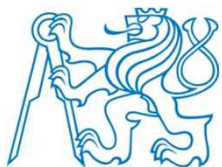
| | |
|---------------------|--------------------|
| V _{TV,den} | Q _{p,VYT} |
| l/den | GJ |
| 0 | 0 |

| | |
|------------------|-----------------------------|
| q _{CCU} | 406 kWh/m ² .rok |
| f | 65 % |
| Q _{CCU} | 3247 kWh/rok |

Zadat profil spotřeby TV

Zadat hodnoty získané výpočtem p
ČSN EN 13 790

podle TNI 730302
zpracoval
ing. Bořivoj Šourek
borivoj.sourek@fs.cvut.cz
ke stažení na:
solab.fs.cvut.cz

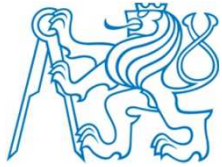


Solární příprava teplé vody v BD

- nejčastější** – není vázána na stavební řešení
- předehřev nebo ohřev studené vody** – snadno integrovatelná do systému před stávající přípravu teplé vody
- nutné vycházet z reálné spotřeby TV v objektu
- návrh plochy kolektorů na letní období



archiv BD Orlová



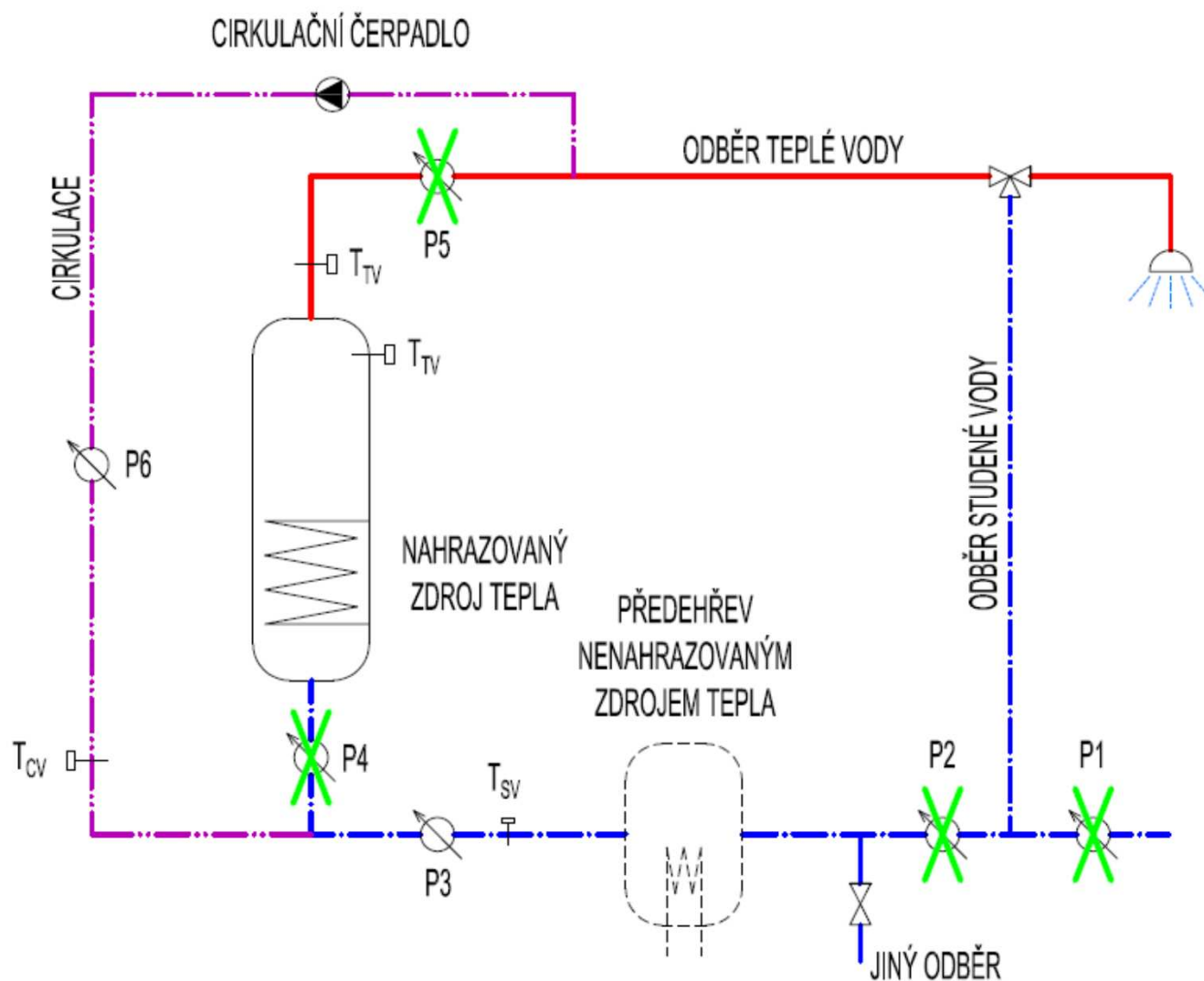
Stanovení spotřeby tepla na TV

- **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**

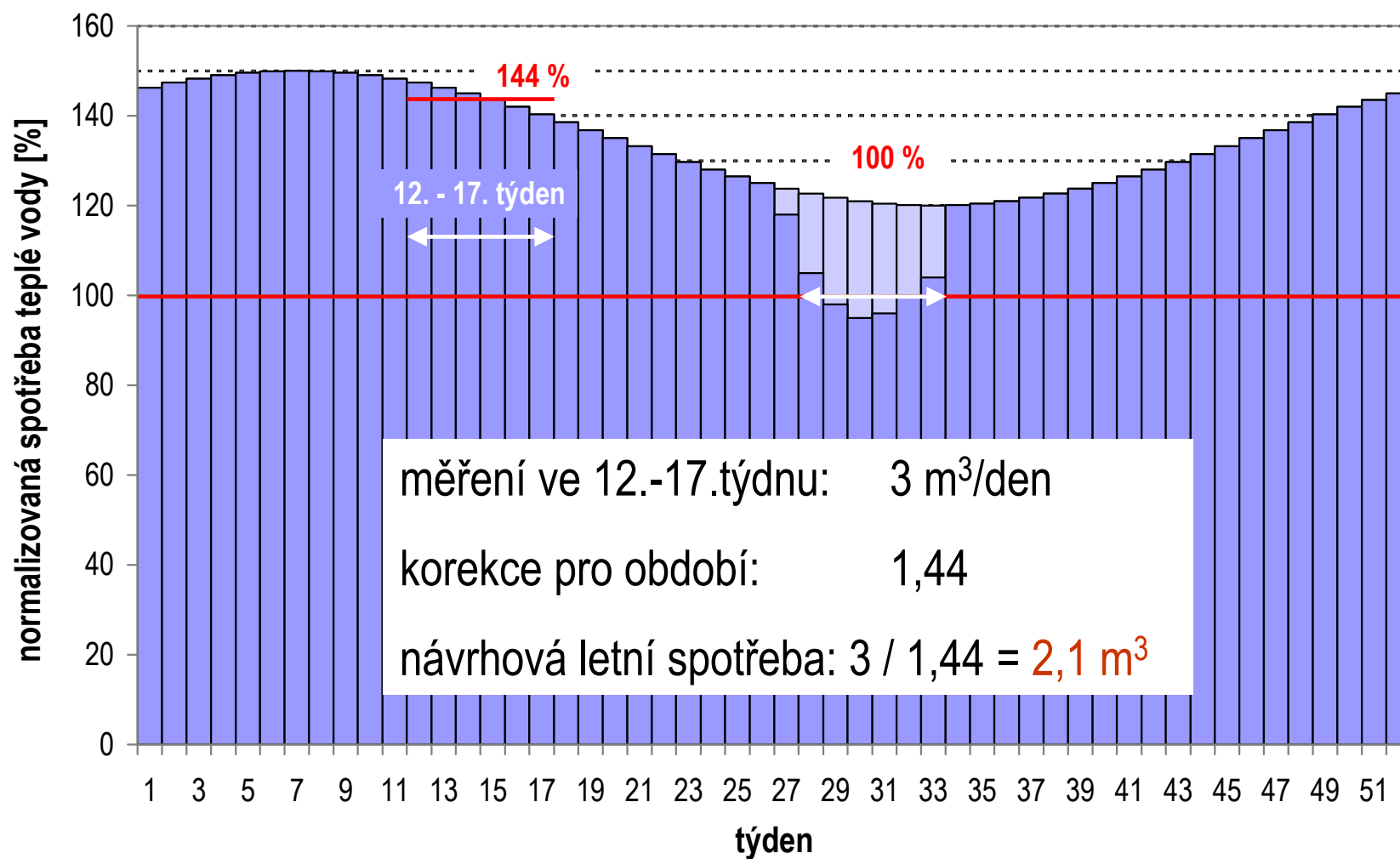


Měření spotřeby tepla na přípravu TV



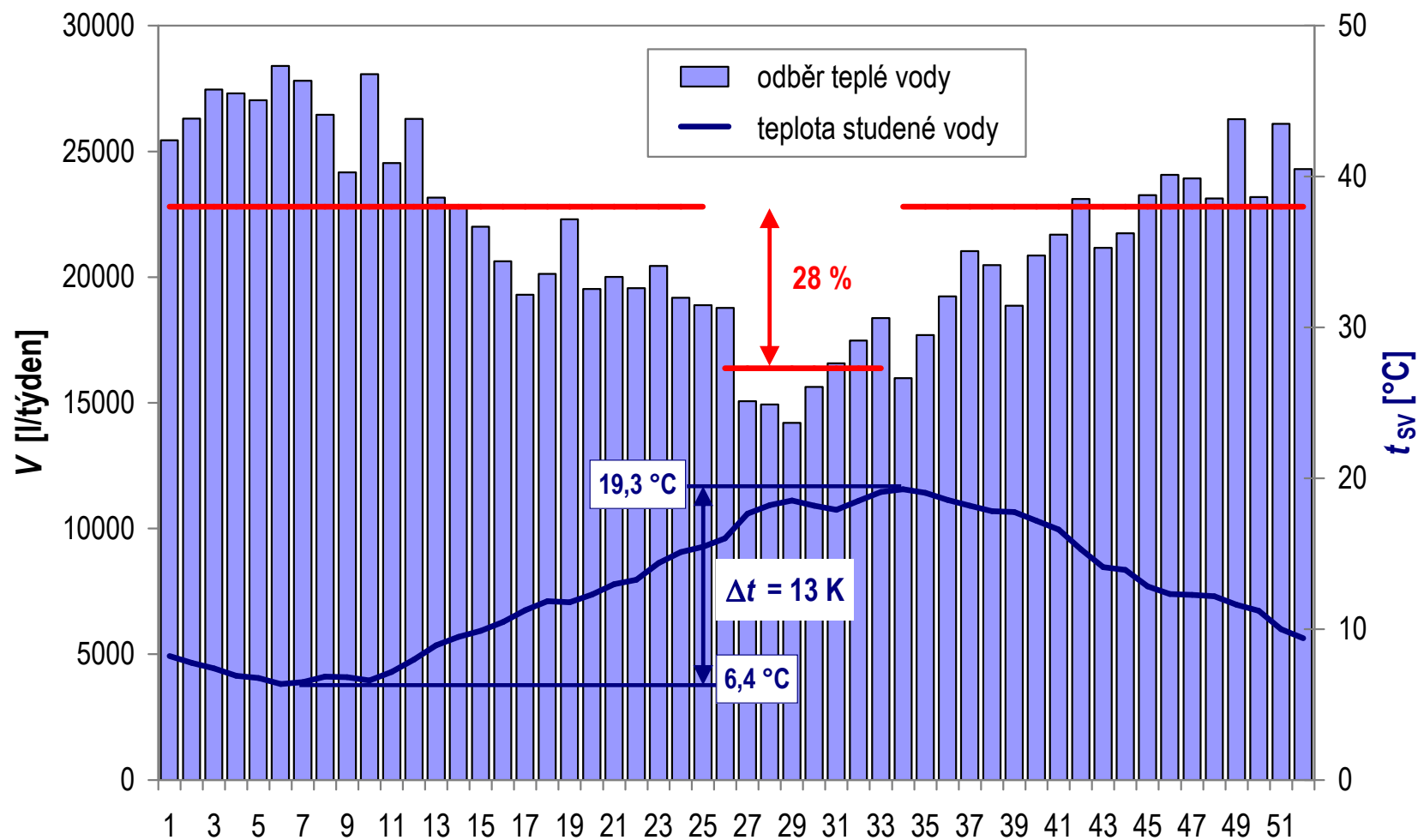


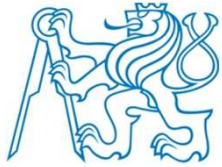
Vyhodnocení krátkodobého měření





Měření v BD Stodůlky





Tepelné ztráty přípravy TV

- denní tepelná ztráta $Q_{z,TV}$**
 - vlastní přípravy TV (zásobníky, ohřivač)
 - rozvod teplé vody (TV, CV)

- výpočet podle norem** (precizní, ale komplikovaný, náročný na vstupní údaje, součinitele U , délky rozvodů)
 - ČSN EN 15316-3-2: rozvody TV a CV (využití denních profilů odběru, běhu CV)
 - ČSN EN 15316-3-3: příprava, zásobníky (využití denních profilů odběru, využití denních profilů nabíjení)

- simulační výpočet** (náročný na vstupní údaje, součinitele U , délky rozvodů)
 - pouze některé simulační programy, hydraulické schéma rozvodů teplé vody



Tepelné ztráty přípravy TV

□ paušální přírážka

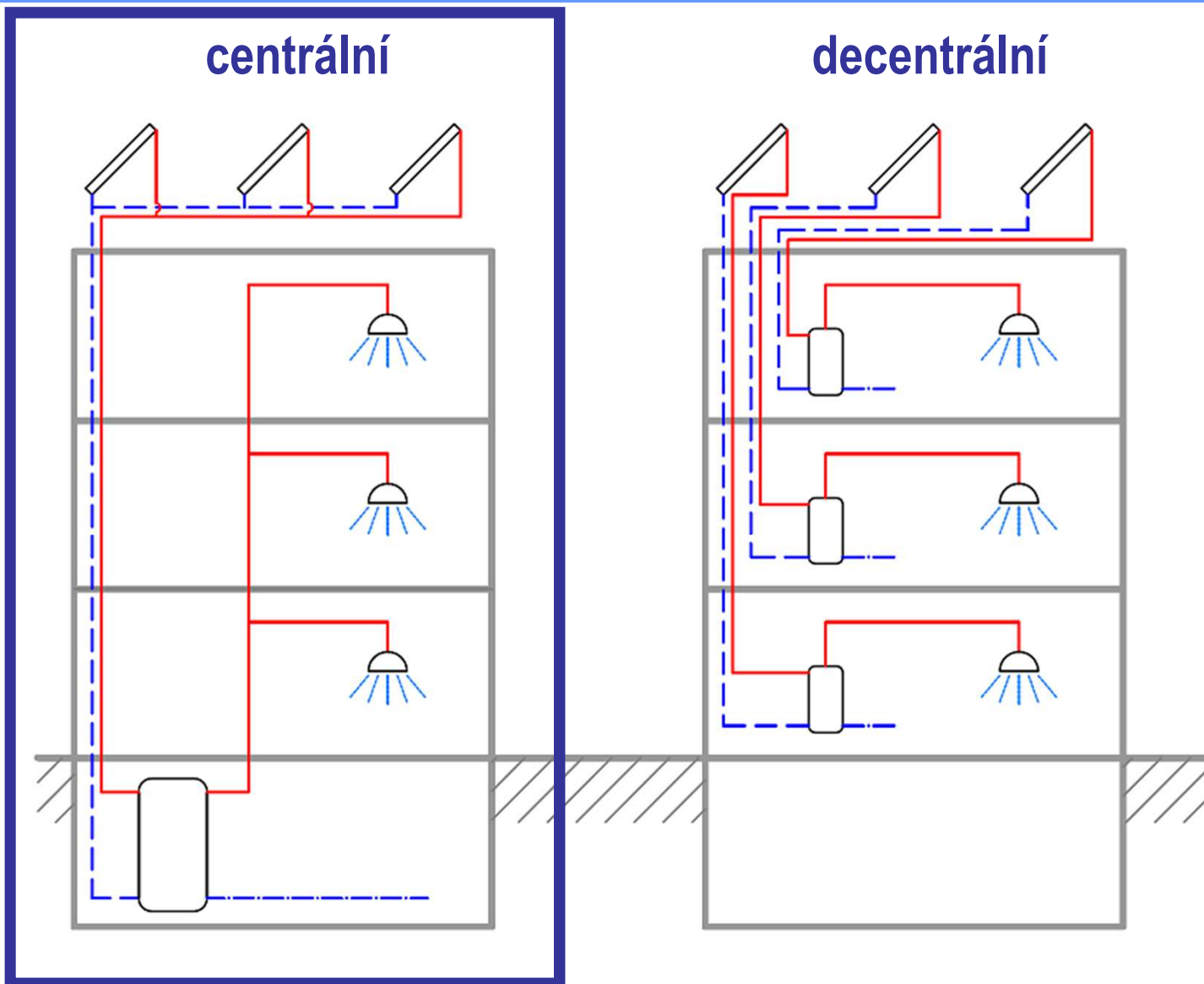
$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} = Q_{TV} + Q_{z,TV} = (1 + z) \cdot Q_{TV}$$

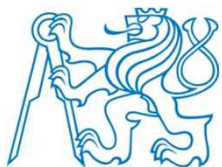
| Typ přípravy TV | z |
|---|--------|
| Lokální průtokový ohřev | 0,00 |
| Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace | 0,15 |
| Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací | 0,30 |
| Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací | 1,00 |
| CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV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

zdroj: TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup



Hydraulická zapojení – základní koncept



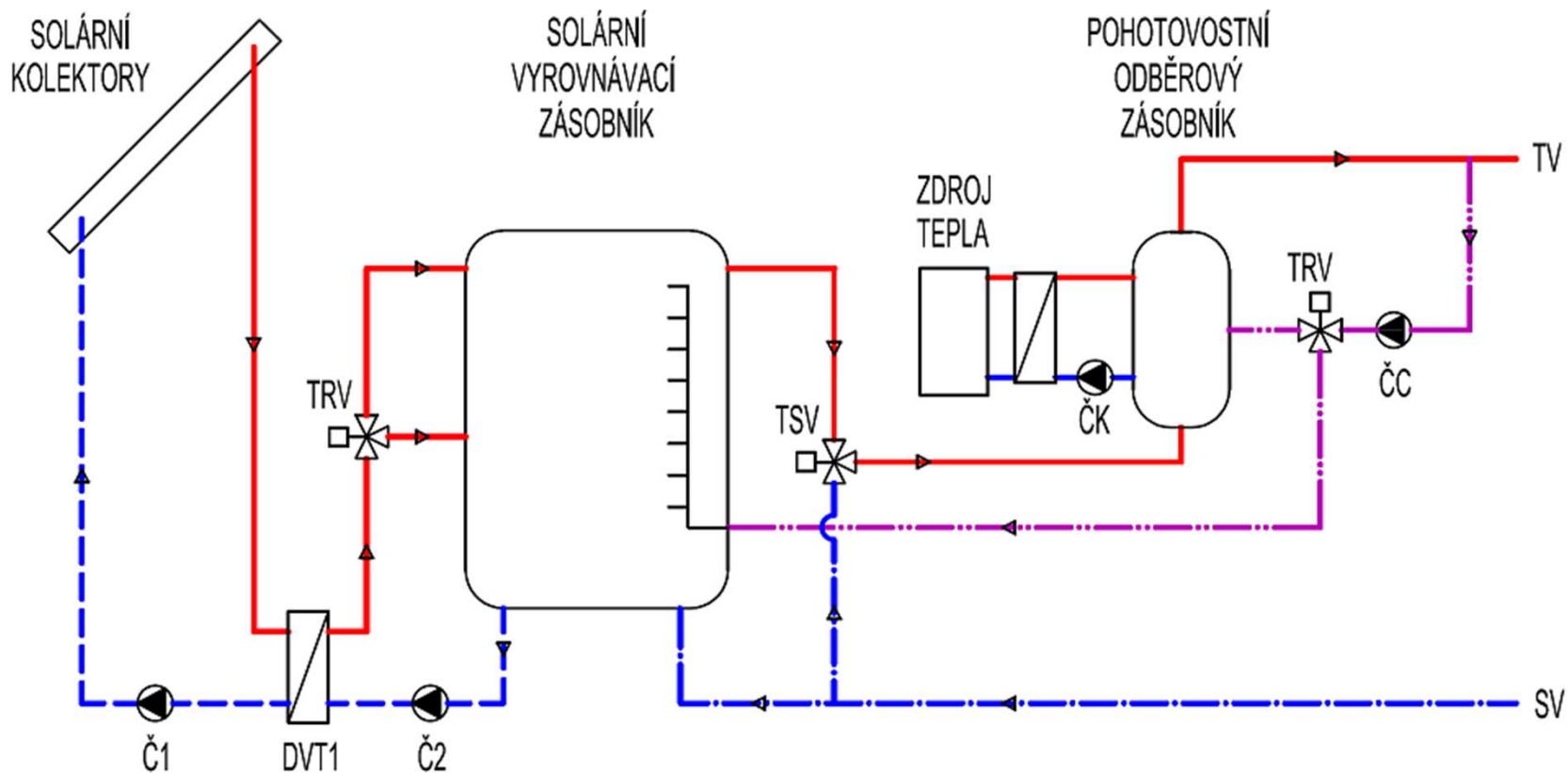


Solární příprava se zásobníky TV

velkoobjemový tlakový vyrovnávací zásobník

stratifikace na přívodu z výměníku, stratifikace na cirkulaci

ochrana proti legionelle jiným způsobem než termickou desinfekcí

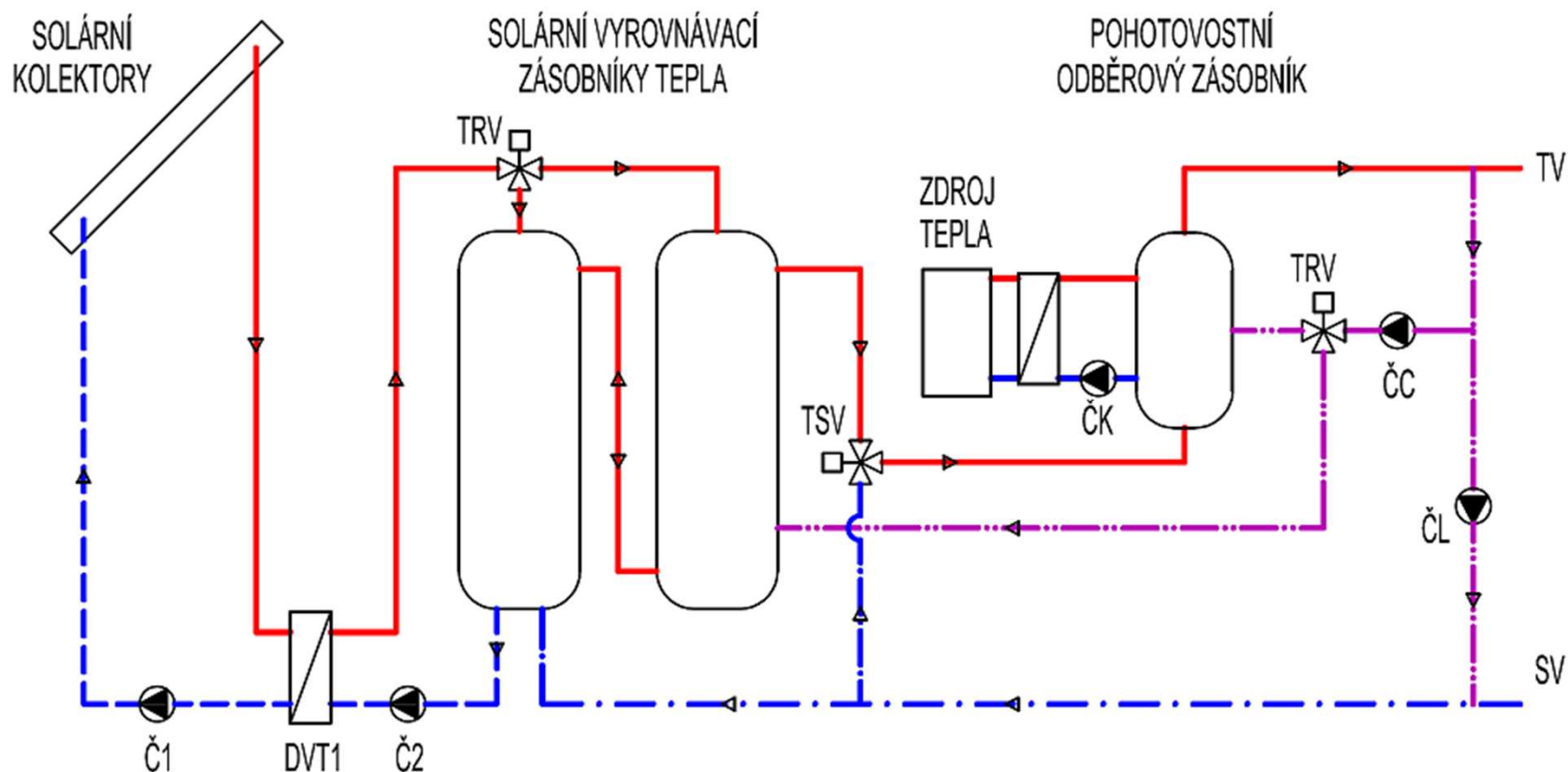




Solární příprava se zásobníky TV

objem rozdělený do více zásobníků

přívod z výměníku rozdělen podle teploty, cirkulace do nejteplejšího zásobníku
ochrana proti legionelle termickou desinfekcí (čerpadlo ČL)



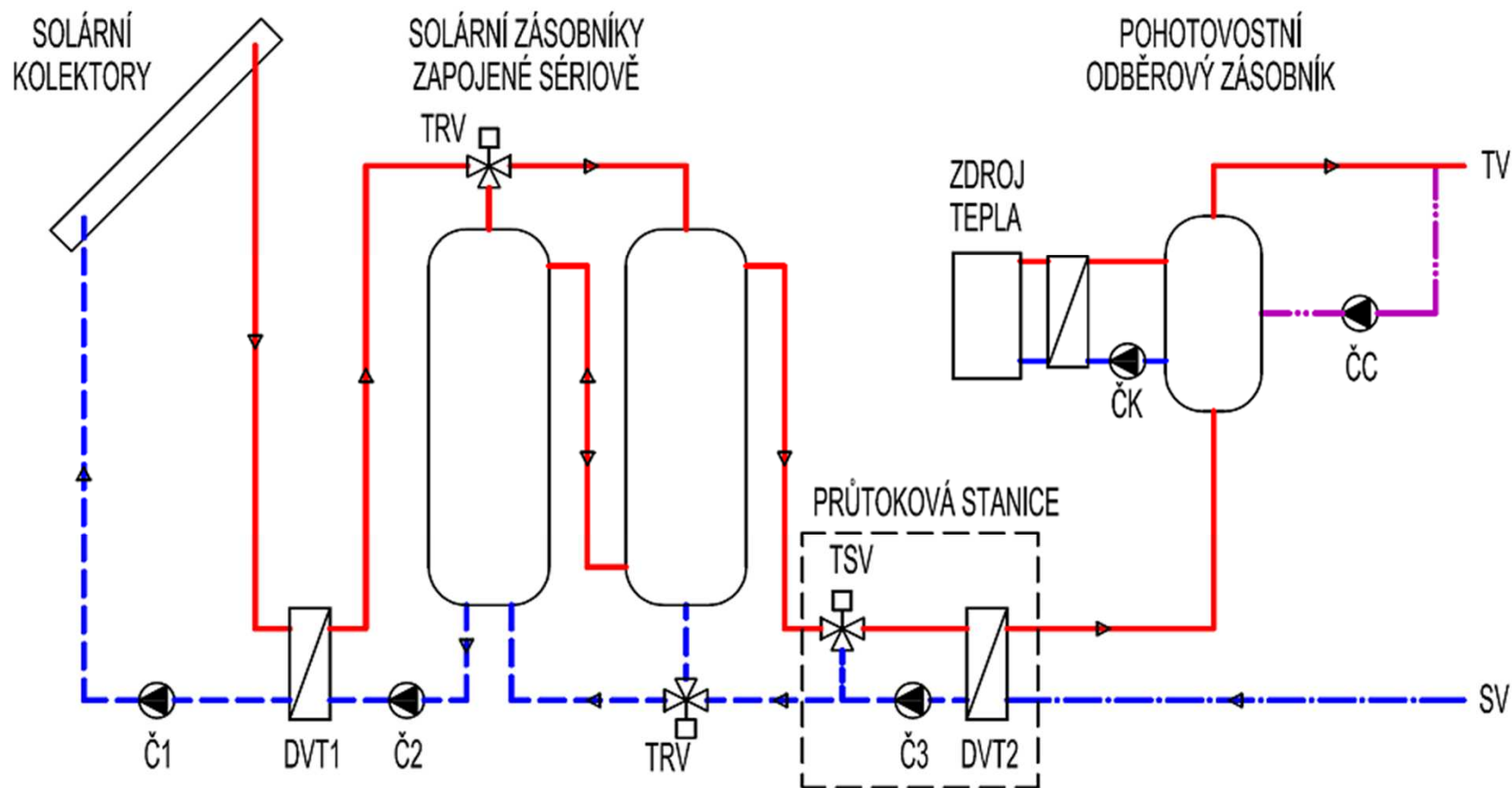


Solární příprava se zásobníky tepla

objem rozdělený do více zásobníků

přívod z výměníku rozdělen podle teploty, cirkulace do pohotovostního zás.

ochrana proti legionelle není nutná: průtokový ohřev

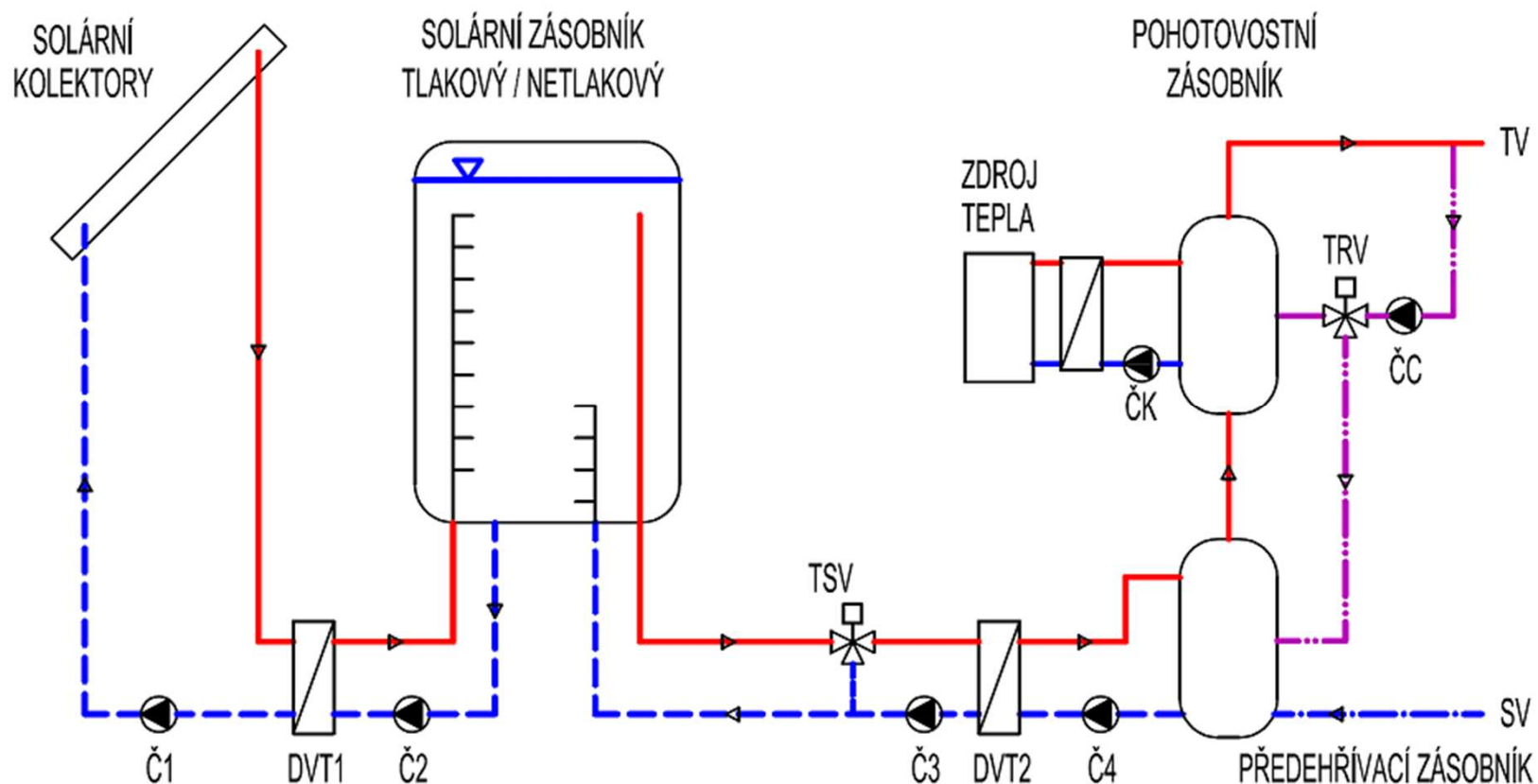




Solární příprava se zásobníky tepla

velkoobjemový beztlaký zásobník

stratifikace na přívodu ze sol. výměníku, stratifikace zpátečky z TV výměníku
ochrana proti legionelle není nutná: malé objemy pohotovostních zásobníků

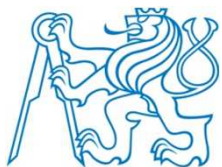




Solární vytápění v BD

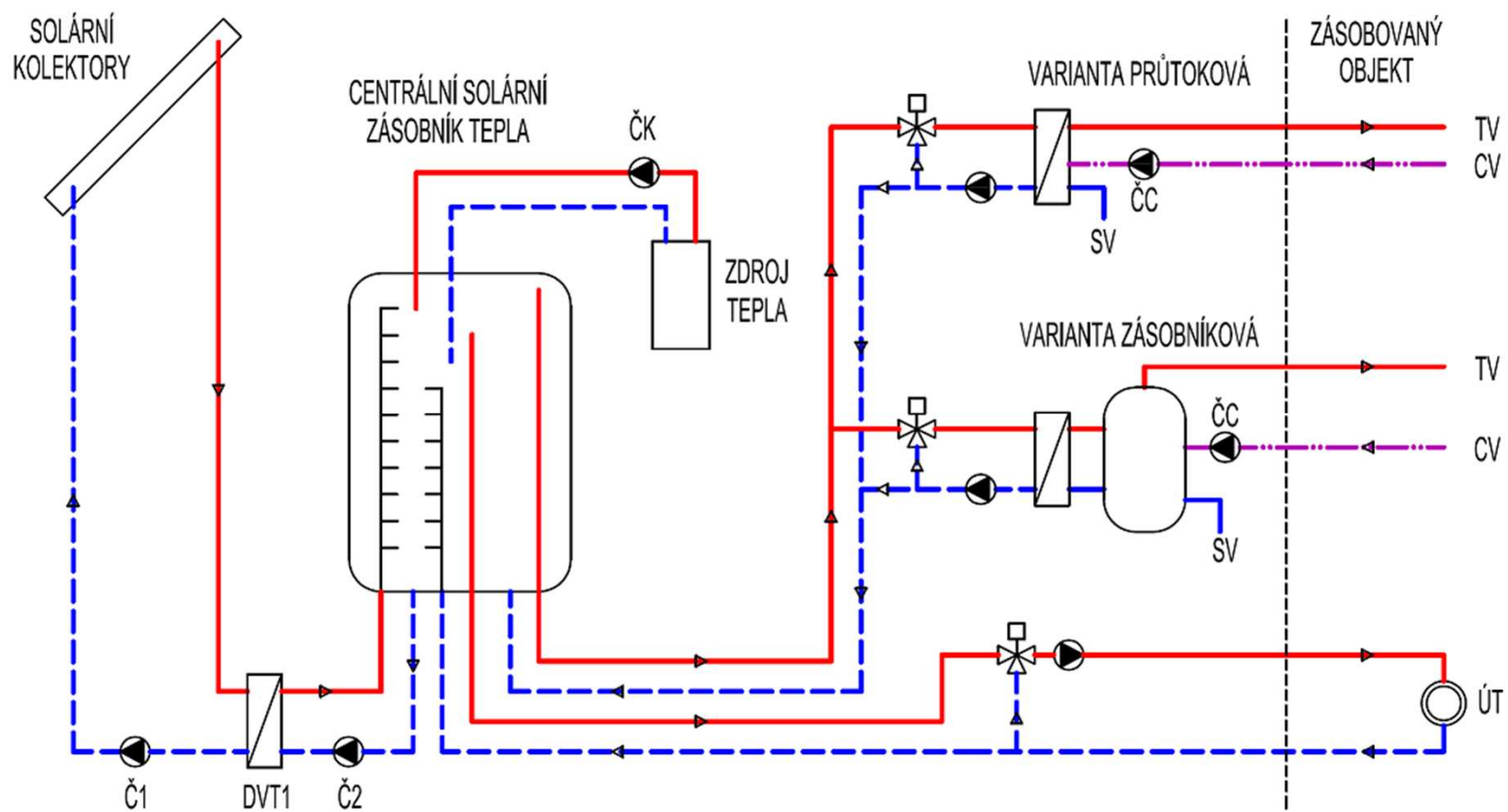
- není časté
- ohřev otopné vody – složitější integrace do stávajícího systému, regulace
- nutné vycházet především z reálné **spotřeby TV** v objektu
- návrh plochy kolektorů na letní období**





Solární vytápění – centrální příprava TV

čtyřtrubkový rozvod (přívodní + zpětné, teplá + cirkulace)
menší bytové domy, kratší rozvody

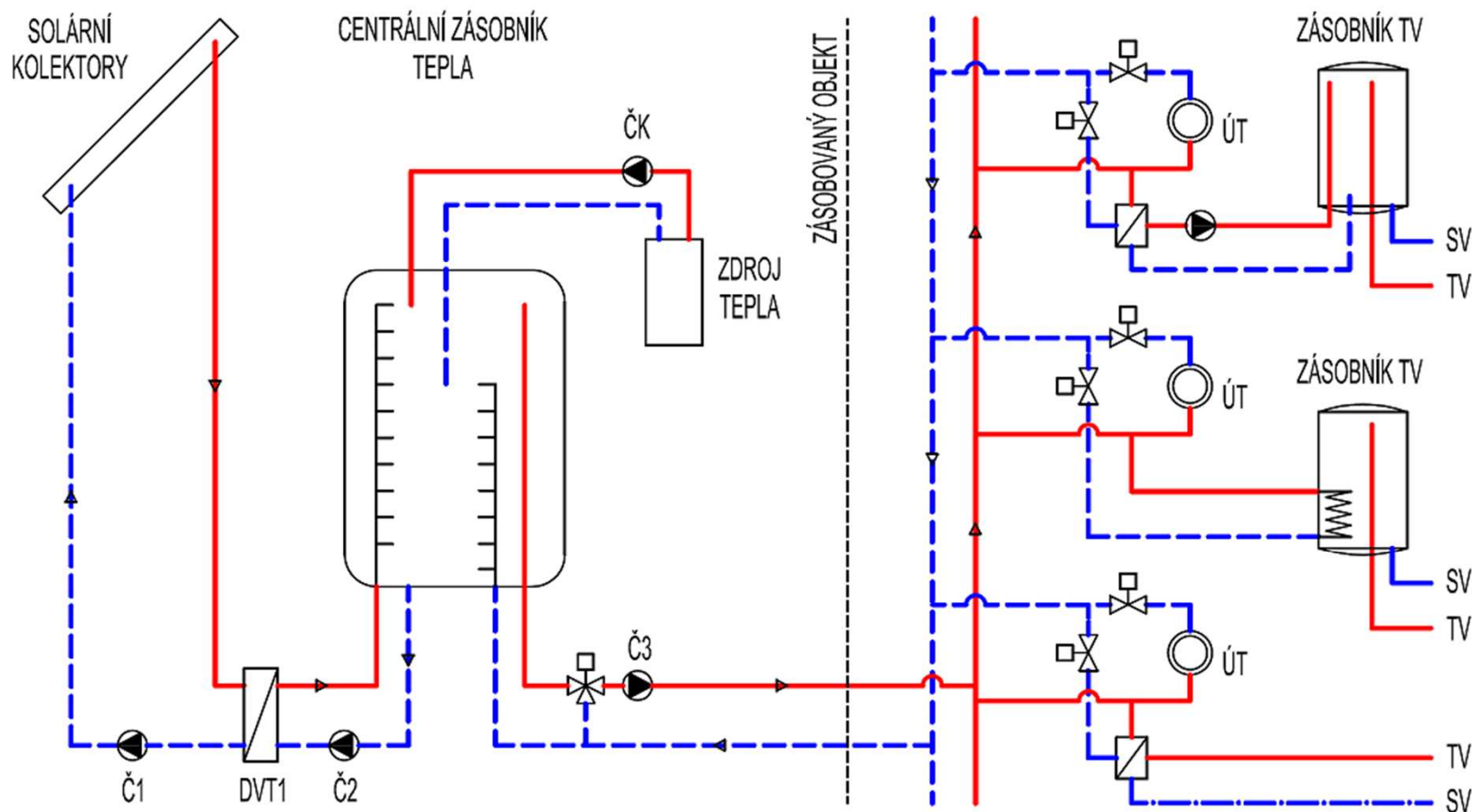


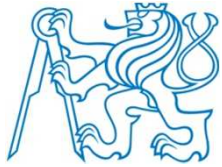


Solární vytápění – místní příprava TV

dvojtrubkový rozvod (přívodní + zpětné)

tlakově závislé bytové předávací stanice, regulace OS a příprava TV v bytech





Vliv návrhu plochy na dimenzování prvků

průtok solární soustavou

- návrh světlosti potrubí
- návrh tloušťky izolace

nízký průtok ~ 10 až 20 l/(h.m²), vyšší ohřátí, nutnost stratifikačních zásobníků

menší světlosti, menší tloušťky izolace, nižší náklady na rozvod

tlakové ztráty solární soustavy, členění a hydraulika okruhů

- oběhové čerpadlo

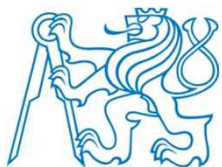
objem solární soustavy

- velikost expanzní nádoby, případně nárazníkové nádoby

výměník tepla (výkon)

zásadně externí deskový výměník (> 20 m²)

nosné konstrukce



Děkuji za pozornost

Bořivoj Šourek

Siemens, s.r.o., Building Technologies

Ústav techniky prostředí, FS ČVUT v Praze

borivoj.sourek@siemens.com

Československá společnost pro
sluneční energii (národní sekce
ISES)

<http://www.solarnispolecnost.cz>

<http://www.solar-info.cz>

Solární laboratoř ÚTP FS ČVUT v Praze

<http://solab.fs.cvut.cz>



SOLAB

Solární laboratoř Ústavu techniky prostředí
Fakulty strojní ČVUT v Praze

