

Integrace solárních soustav do bytových domů

Bořivoj Šourek

Siemens, s.r.o., Building Technologies

Ústav techniky prostředí

Fakulta strojní, ČVUT v Praze





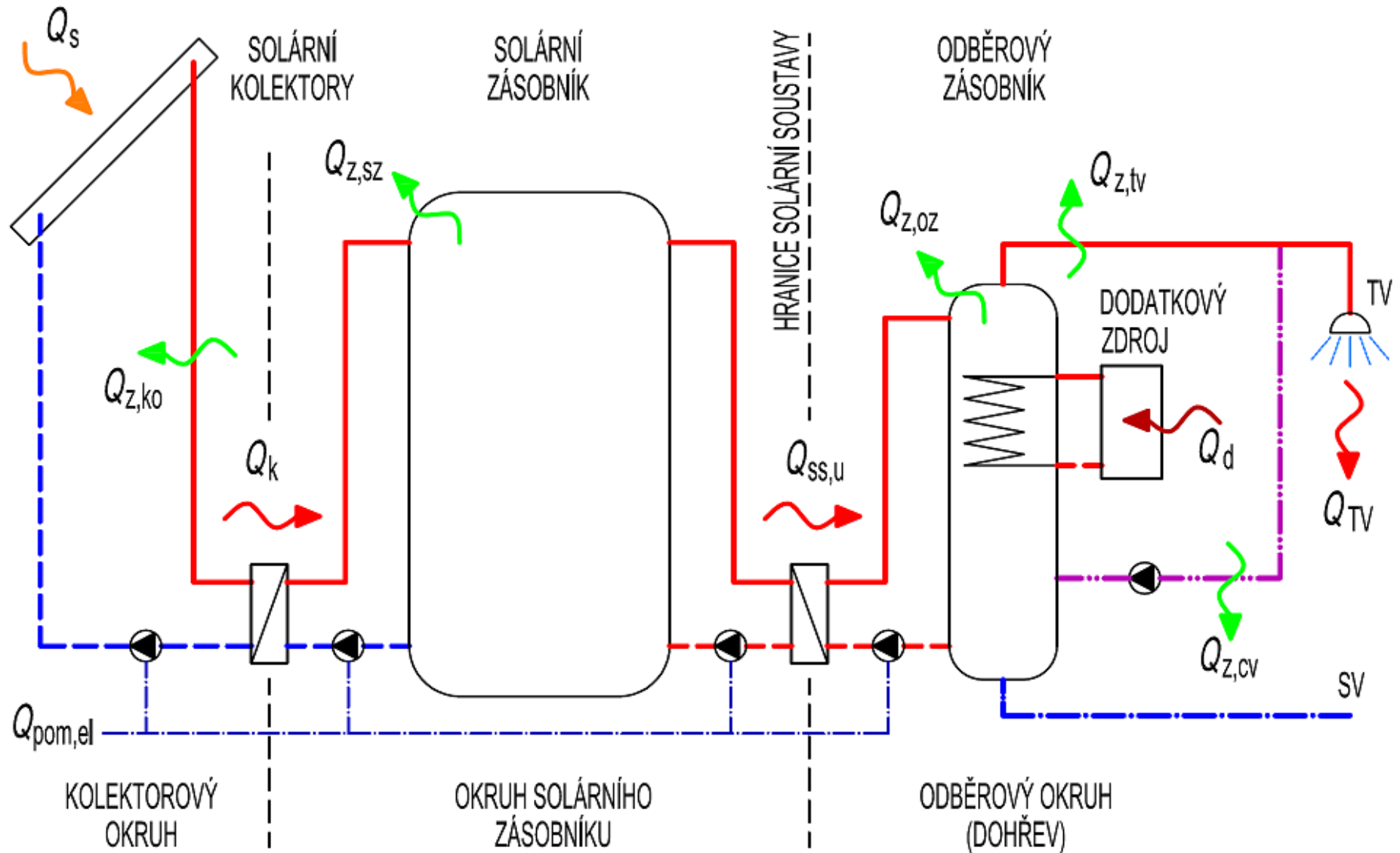
Solární tepelné soustavy pro BD

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





Bilance solární soustavy

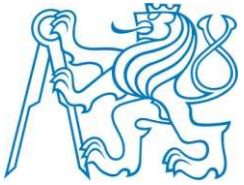




Parametry solární soustavy

- **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

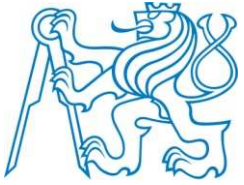
- **Měrný roční solární zisk $q_{ss,u}$ [kWh/(m².rok)]**
 - vztažený k ploše apertury kolektoru A_a
 - měrná roční úspora nahrazované energie
 - ekonomické kritérium: úspora / m² x investice / m²

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

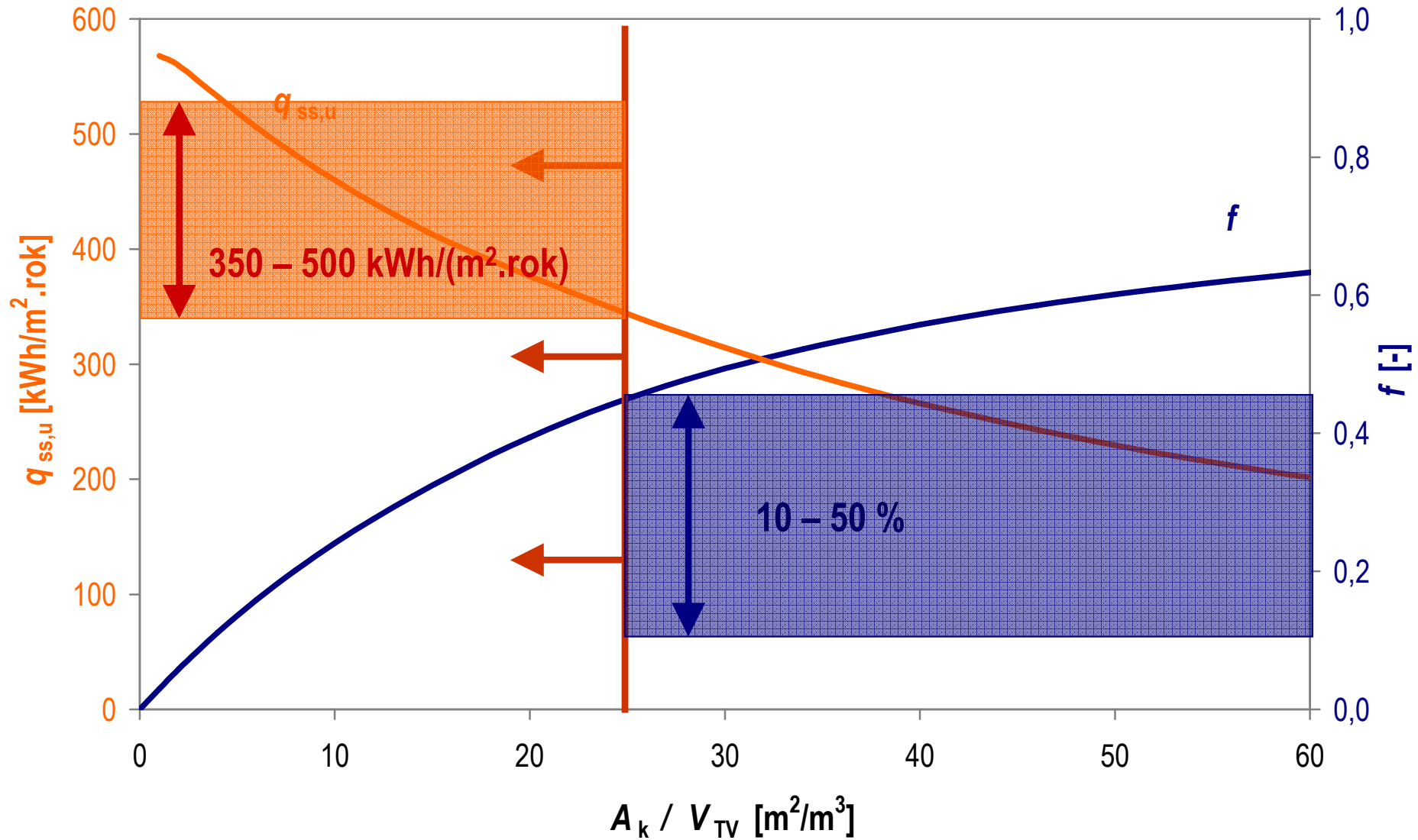
$f = 100 * \text{využitý zisk} / \text{potřeba tepla}$ (procentní krytí potřeby tepla)

- **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



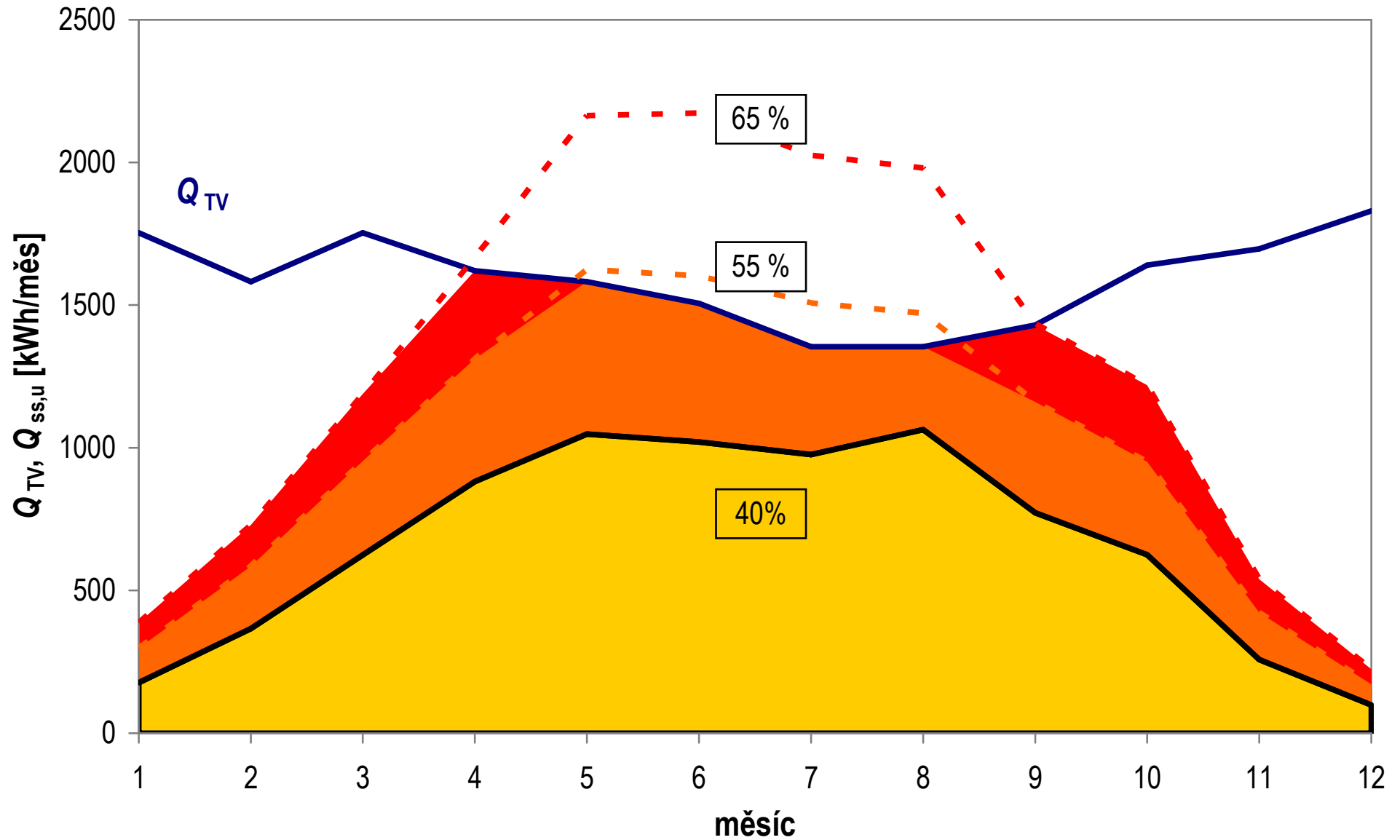
Bilance solární přípravy teplé vody



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



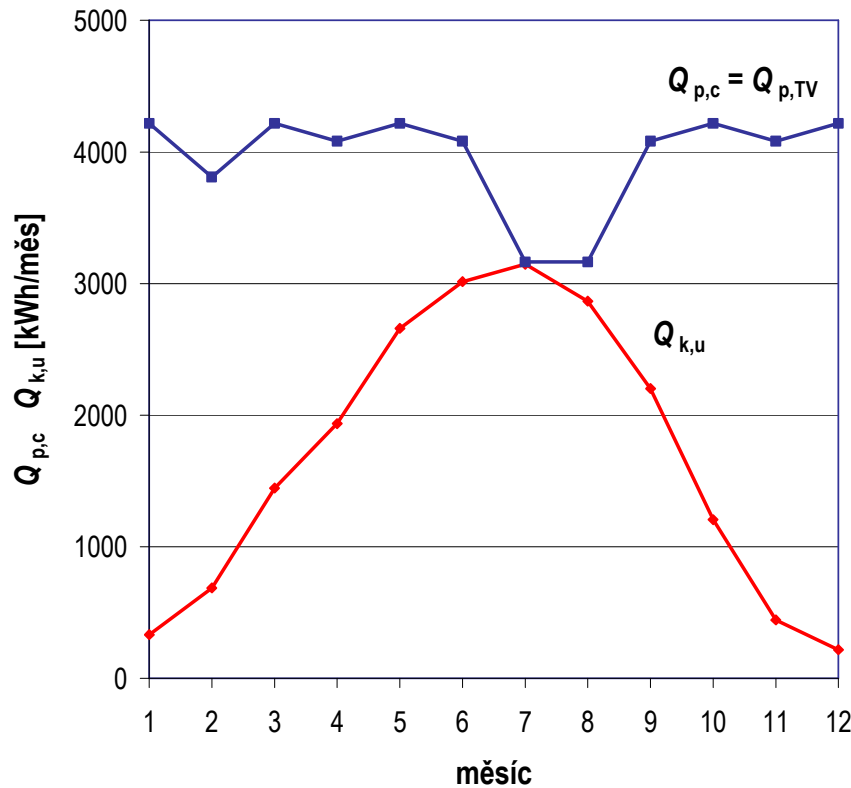
Návrh plochy solárních kolektorů

- 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)

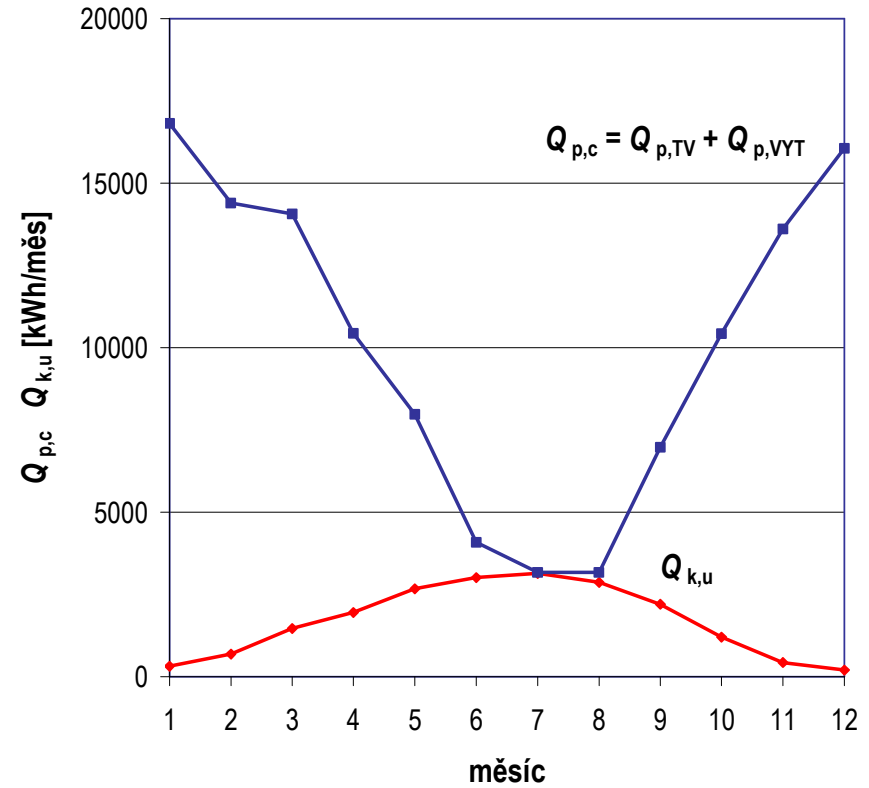


Návrh plochy solárních kolektorů

příprava teplé vody



příprava teplé vody a vytápění

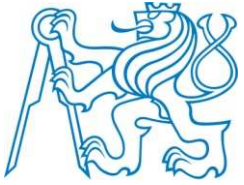


f [%]	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
A_k [m ² /os]	0,10 – 0,15	0,25 – 0,30	0,40 – 0,60	0,60 – 0,90	0,90 – 1,30
$q_{ss,u}$ [kWh/m ² .rok]	470 – 600	400 – 550	350 – 490	300 – 430	260 – 350



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 Balance 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	$V_{TV,den,ob}$		Studená voda t_{ev}	10	$^\circ\text{C}$			
9			[l/os.den]		Teplá voda t_{TV}	55	$^\circ\text{C}$			
10	Obytné budovy	Nízký standard	10 - 20		Srážka z tepelných zisků kolektorů vlivem tep. ztrát ρ	0,2	Příprava teplé vody	vytápění, od 10 do 50 m ²		přírážka CZT
11		Střední standard	20 - 40		Přírážka na tep. ztráty při přípravě teplé vody γ	0,3	Centrální zásobování teplem	ohřev s řízenou cirkulací		2,1
12		Vysoký standard	40 - 80		Vytápění objektu - použít data z výpočtu podle ČSN EN 13790					
13		Nízké (letní) vytížení	$0,75 \times V_{TV}$		Tepelná ztráta domu Q_z	12	kW			
14	Nemocnice, domovy důchodců	Nízké (letní) vytížení	25 - 30		Vnitřní výpočtová teplota t_{iw}	20	$^\circ\text{C}$			
15		Zbývá část roku	30 - 60		Venkovní výpočtová teplota t_{ew}	-12	$^\circ\text{C}$			
16	Studentské domovy, koleje	Nízké (letní) vytížení	20 - 25		Předpokládaná energetická náročnost budovy (vytápění)		pasivní standard, tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot			
17		Zbývá část roku	25 - 50		Přírážka na tepelné ztráty otopné soustavy ν	5	%			
18	Školy	Nízké (letní) vytížení	0		Bazén					
19		Zbývá část roku	5 - 10		Plocha vodní hladiny bazénu A_b	24	m ²			
20	Hostince, restaurace*	Nízký standard	5		Typ bazénu		Vnější - mimo doby provozu zadržovaný			
21		Střední standard	15		Teplota bazénové vody v době provozu t_{wp}	24	$^\circ\text{C}$			
22		Vysoký standard	30		Teplota bazénové vody mimo dobu provozu t_{wn}	24	$^\circ\text{C}$			
23	Ubytovací zařízení**	Nízký standard	20		Teplota vzduchu v prostorech bazénu v době provozu t_{up}		$^\circ\text{C}$			
24		Střední standard	35		Teplota vzduchu v prostorech bazénu mimo provoz t_{un}		$^\circ\text{C}$			
25		Vysoký standard	70		Denní provozní doba bazénu τ_p	8	h			
26	Sportovní zařízení***	Nízký standard	30		Počet návštěvníků za měsíc		osob/měs			
27		Střední standard	60		Parametry solárních kolektorů					
28		Vysoký standard	100		Optická účinnost η_0	0,78	-			
29	sprchu				Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1	3,5	W/m ² .K			
30					Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2	0,004	W/m ² .K ²			
31					Počet kolektorů	4	ks			
32					Plocha apertury solárního kolektoru A_{k1}	2	m ²			
33					Celková plocha apertury kolektorů	8	m ²			
34					Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	50	$^\circ\text{C}$	Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí < 25 %		
35					Sklon kolektoru β	45	$^\circ$			
36					Azimut kolektoru γ (iib = 0 $^\circ$)	0	$^\circ$			

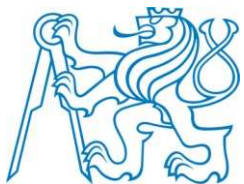
navod a komentář \ Zadání \ VYHODNOCENÍ \ BAZ \ data solar \ data /

teplá voda

vytápění

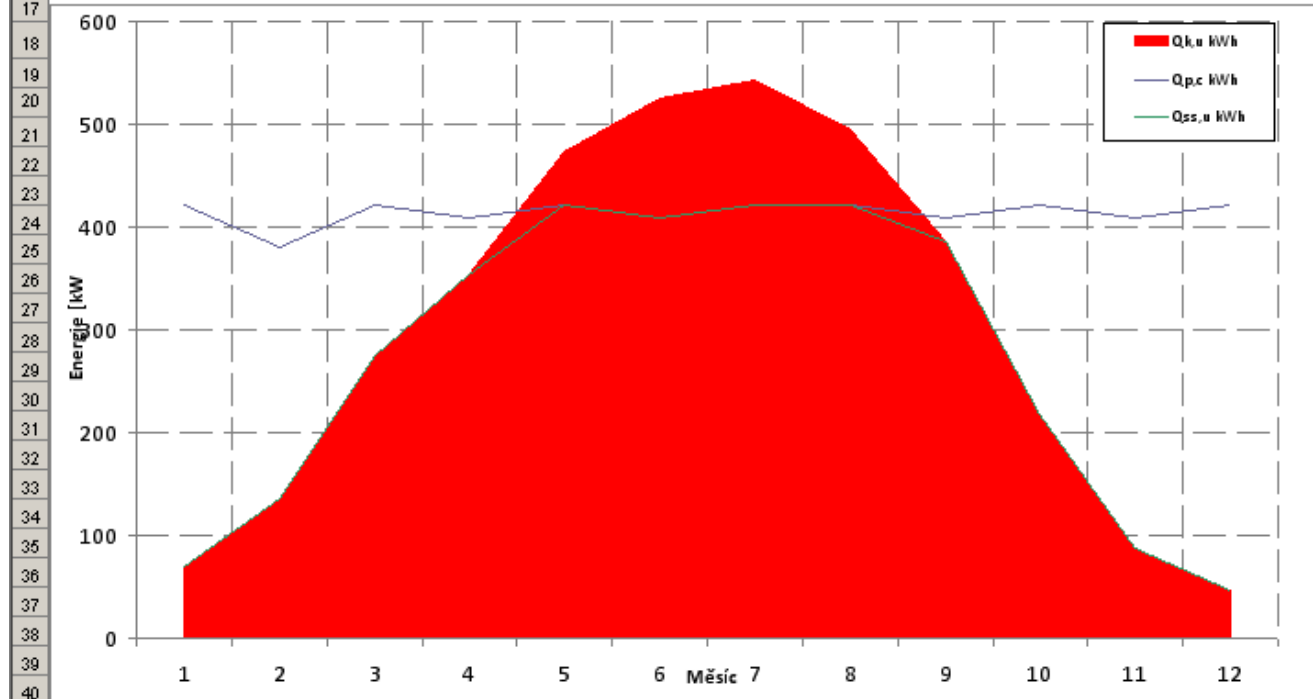
bazén

kolektory



Výpočtový program Balance SS 5.5

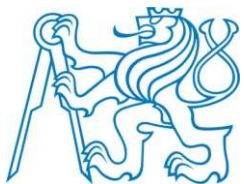
2	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
3	měsíc	n	t _{ep}	t _{ec}	G _{T,m}	η _k	H _{T,den}	H _{T,měs}	Q _{k,u}	Q _{p,TV}	Q _{p,VYT}	Q _{p,BV}	Q _{p,o}	Q _{ss,u}	V _{TV,den}		Q _{p,VYT}		
4	dny	°C	°C	W/m ²	-	kWh/m ² .den	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	l/den		GJ		
5	1	31	-1,5	2,2	418	0,36	1,10	34,2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



V _{TV,den}		Q _{p,VYT}
l/den		GJ
	Zadat profil spotřeby TV	Zadat hodnoty získané výpočtem p ČSN EN 13 790
0		0

q _{ss,u}	406 kWh/m ² .rok
f	65 %
Q _{ss,u}	3247 kWh/rok

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

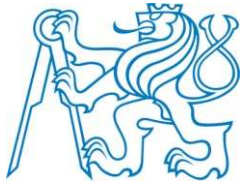


Solární příprava teplé vody v BD

- **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

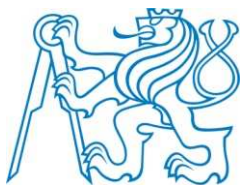


archiv BD Orlová

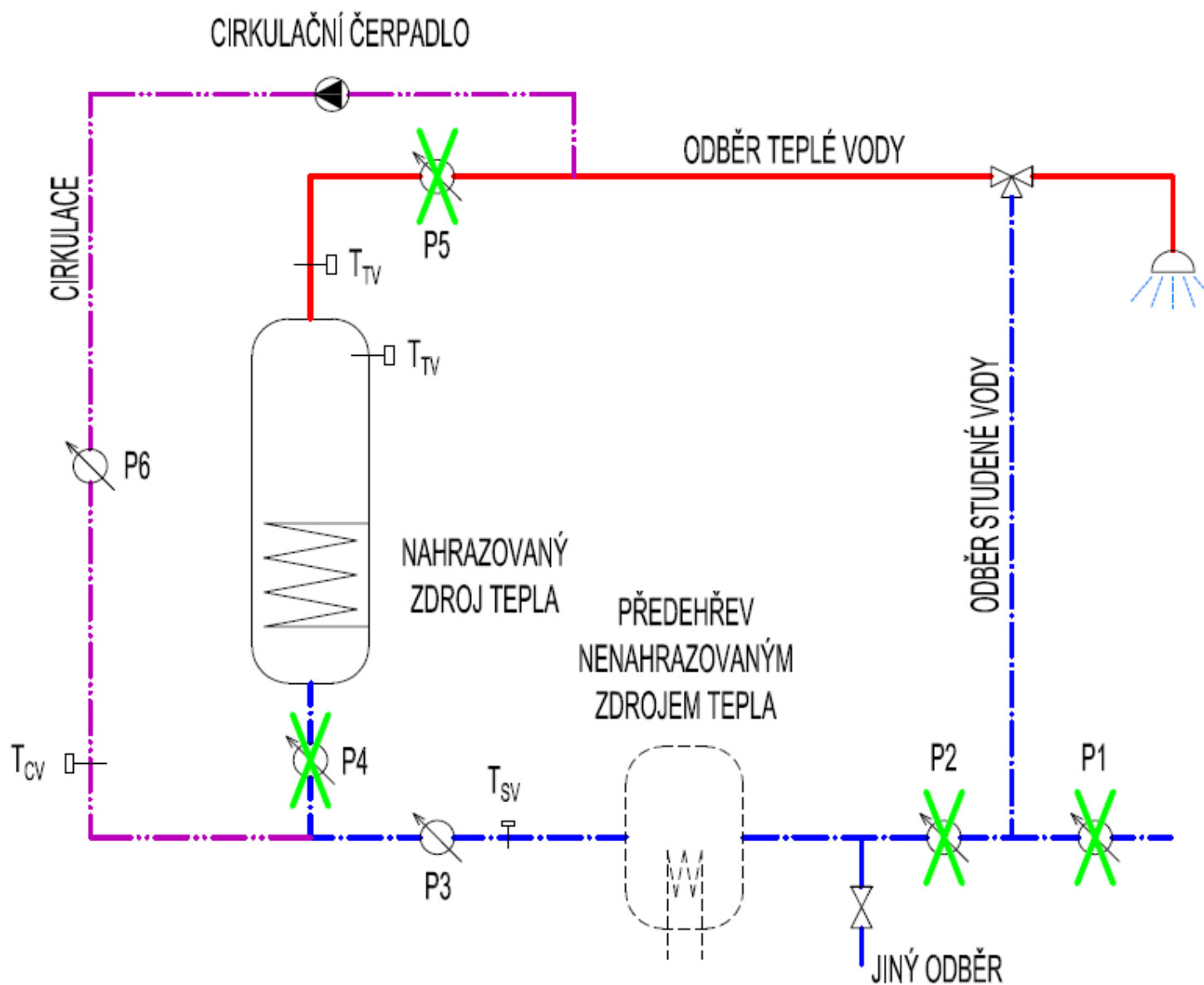


Stanovení spotřeby tepla na TV

- **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**

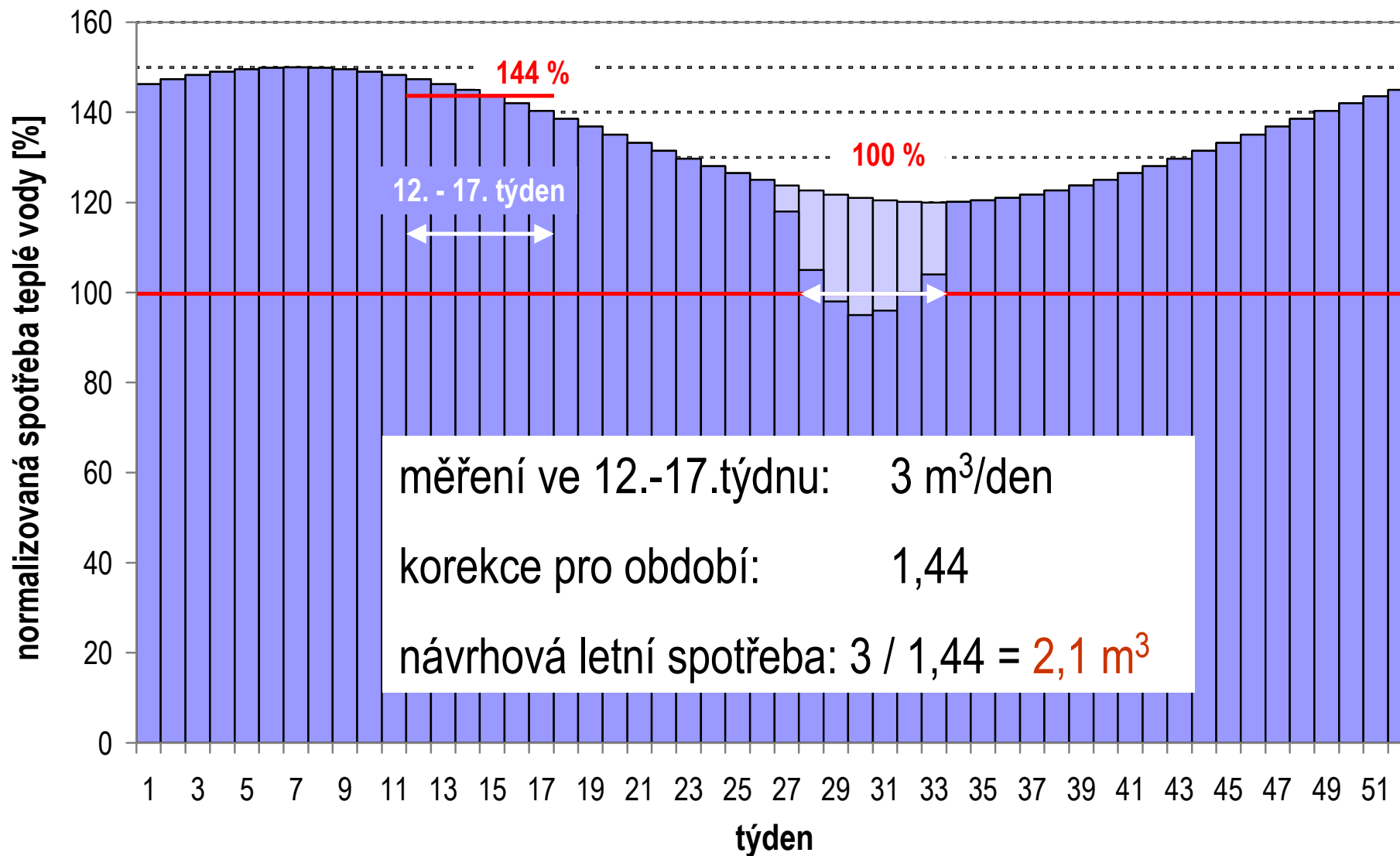


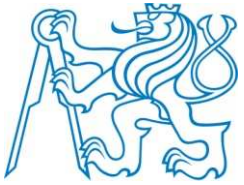
Měření spotřeby tepla na přípravu TV



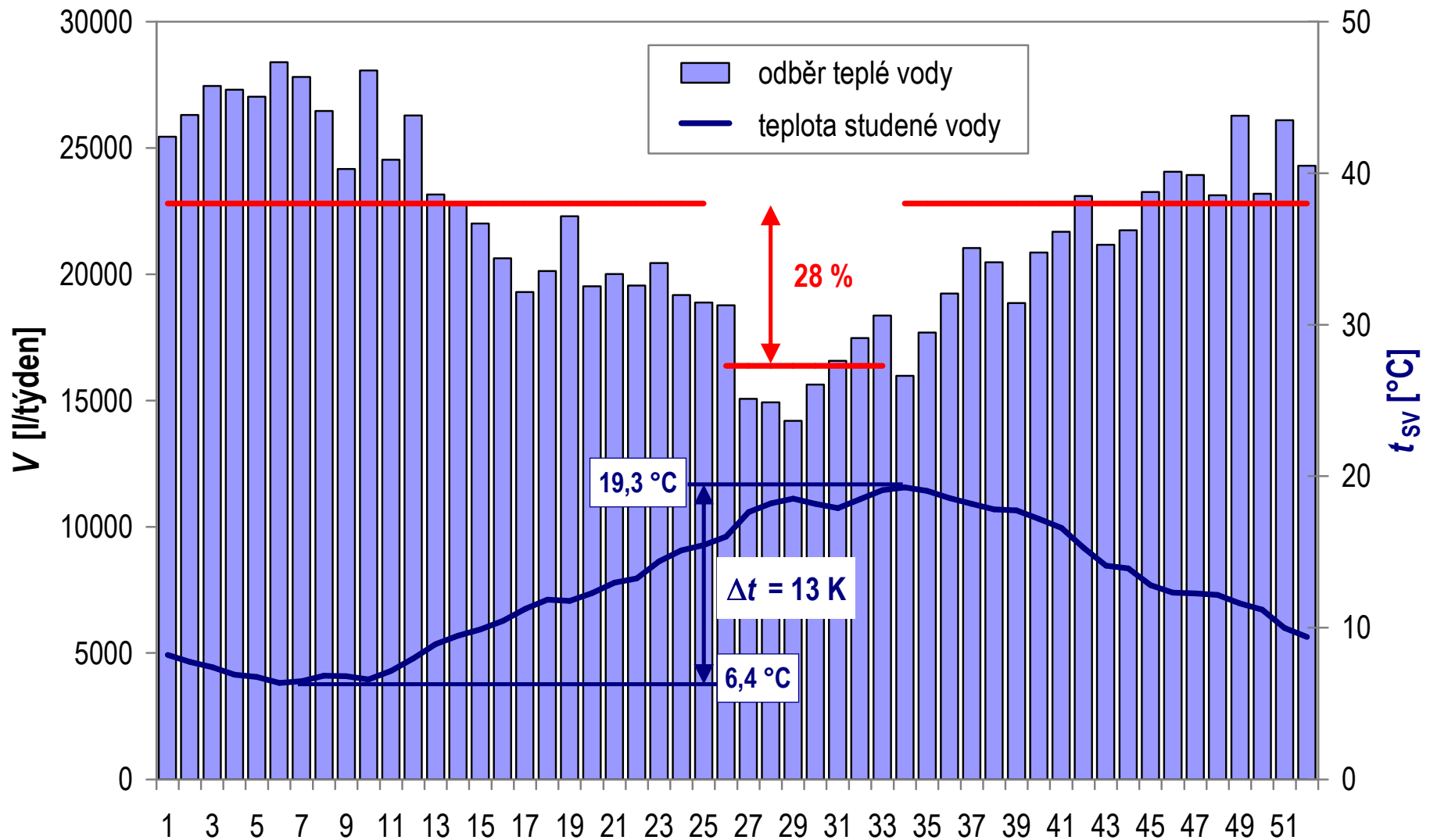


Vyhodnocení krátkodobého měření





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

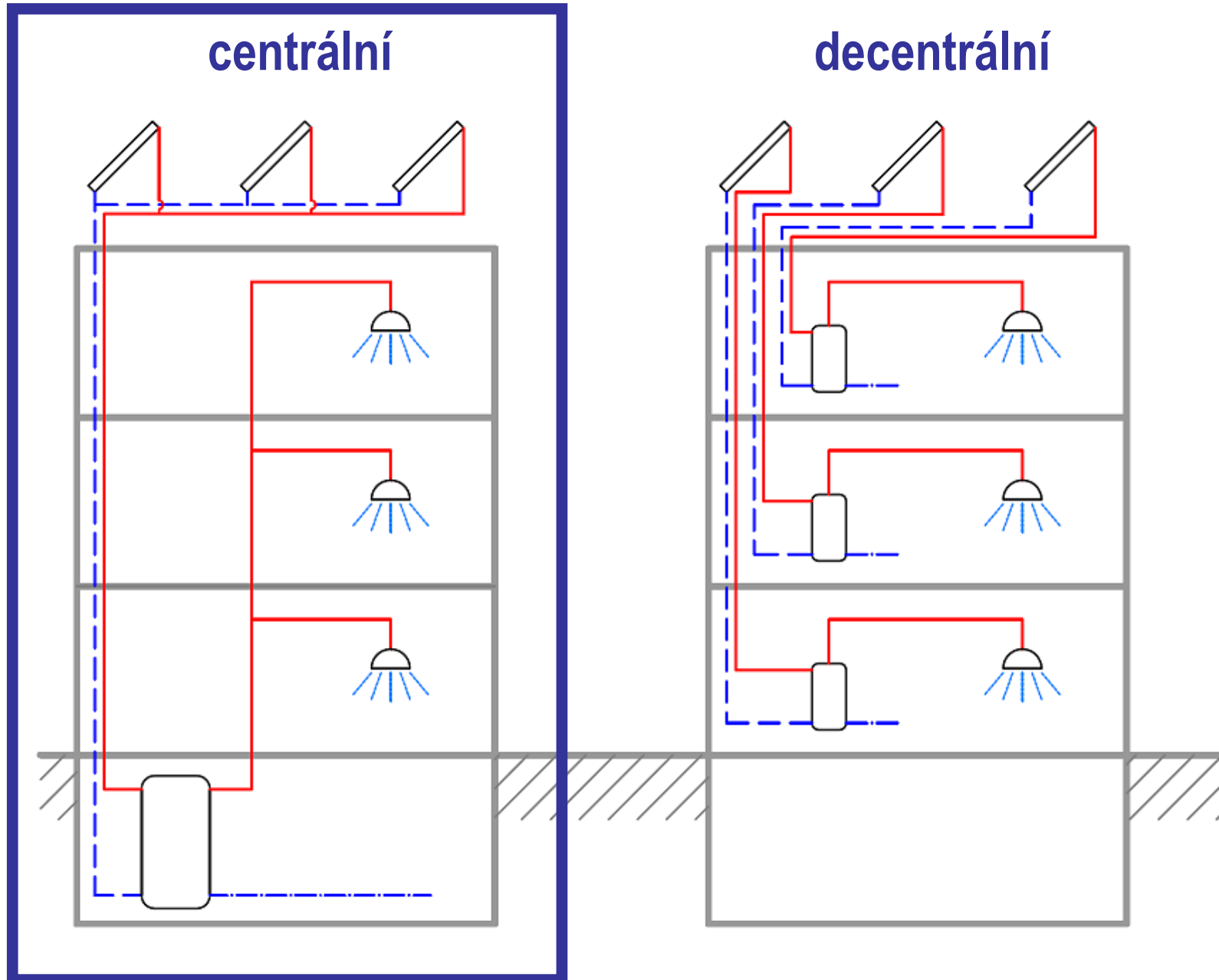
- paušální přírážka

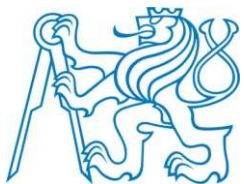
$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} = Q_{TV} + Q_{z,TV} = (1 + z) \cdot Q_{TV}$$

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



Hydraulická zapojení – základní koncept



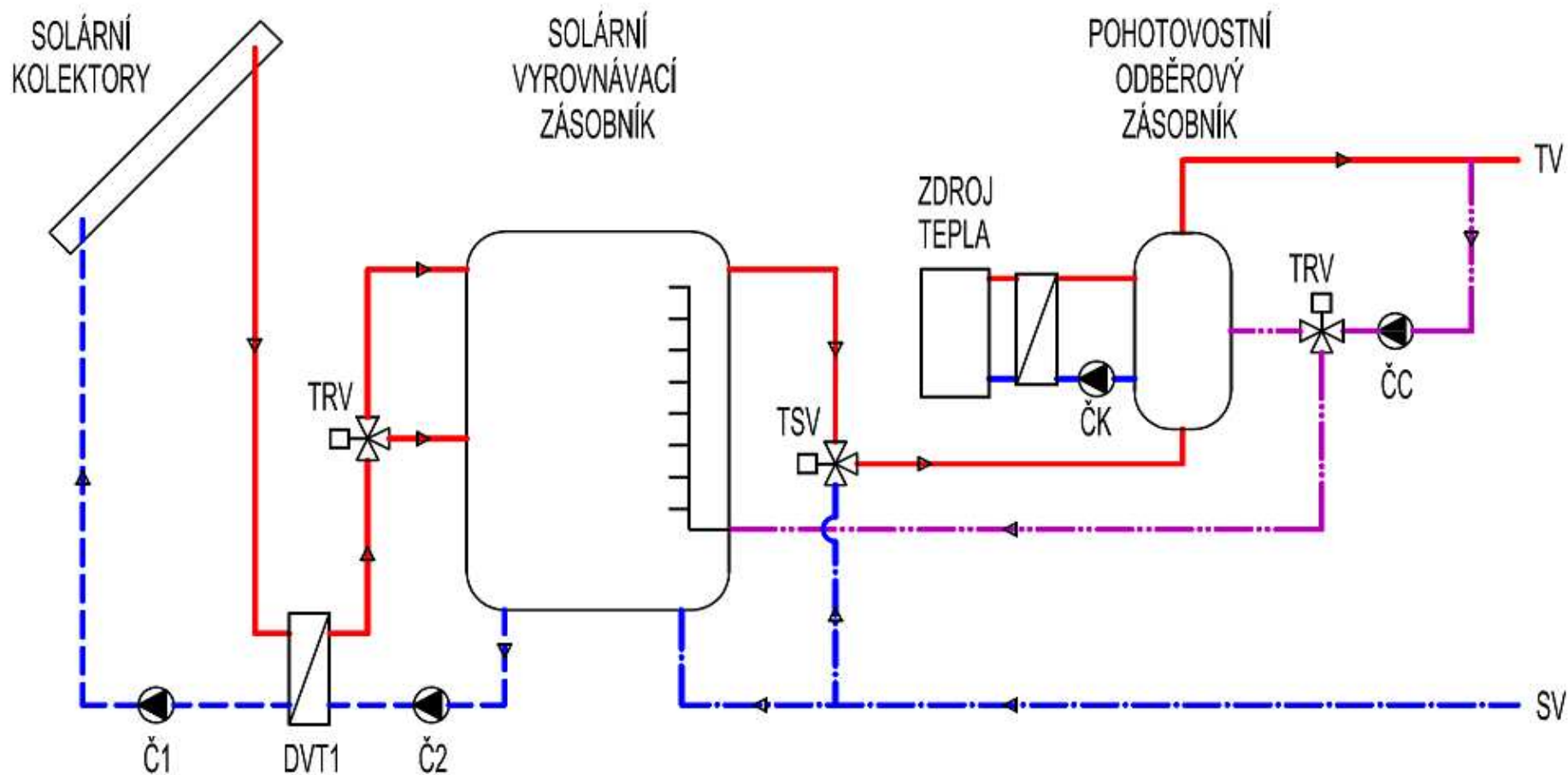


Solární příprava se zásobníky TV

velkoobjemový tlakový vyrovnávací zásobník

stratifikace na přívodu z výměníku, stratifikace na cirkulaci

ochrana proti legionelle jiným způsobem než termickou desinfekcí

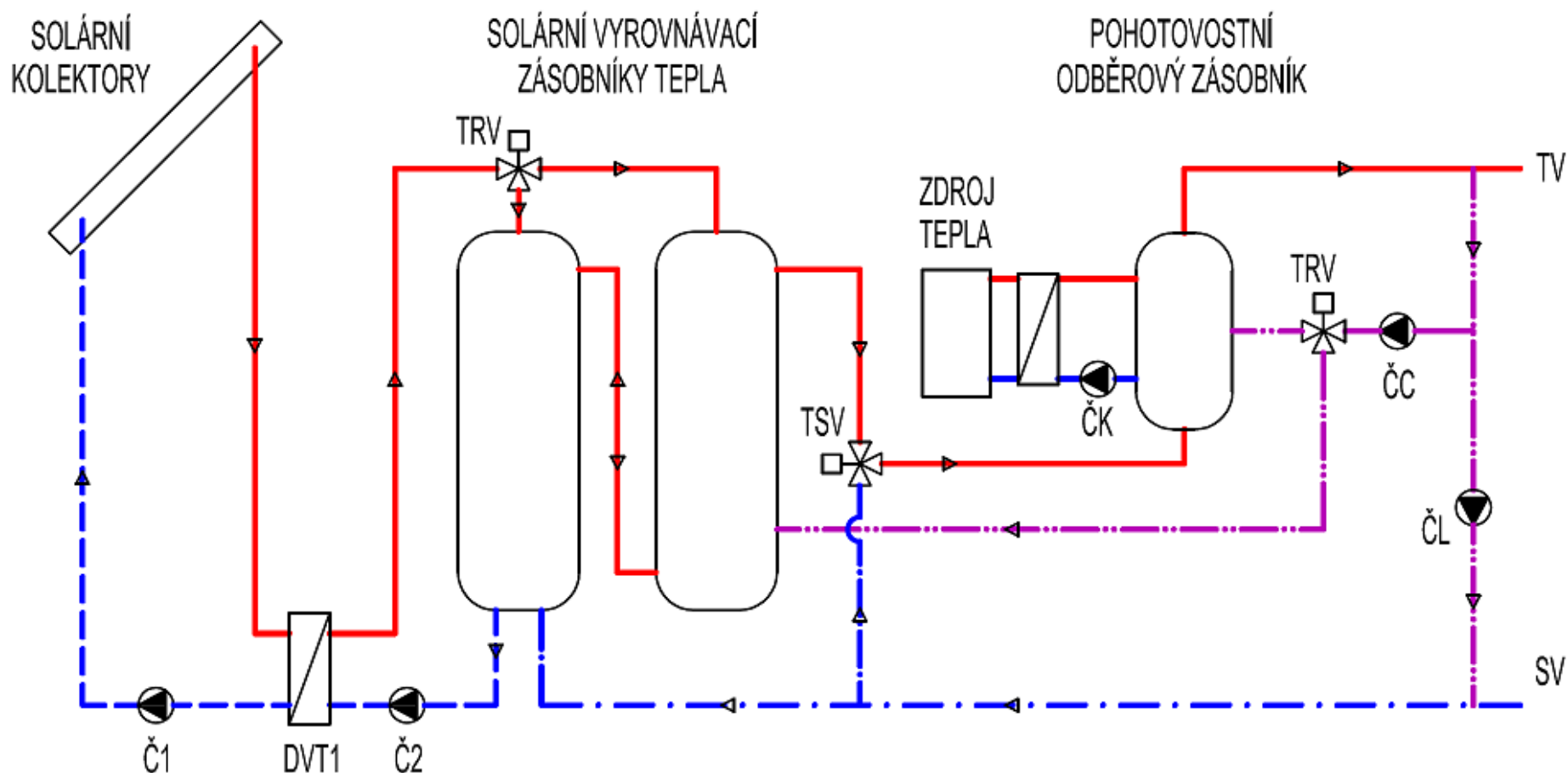


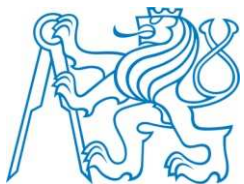


Solární příprava se zásobníky TV

objem rozdělený do více zásobníků

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

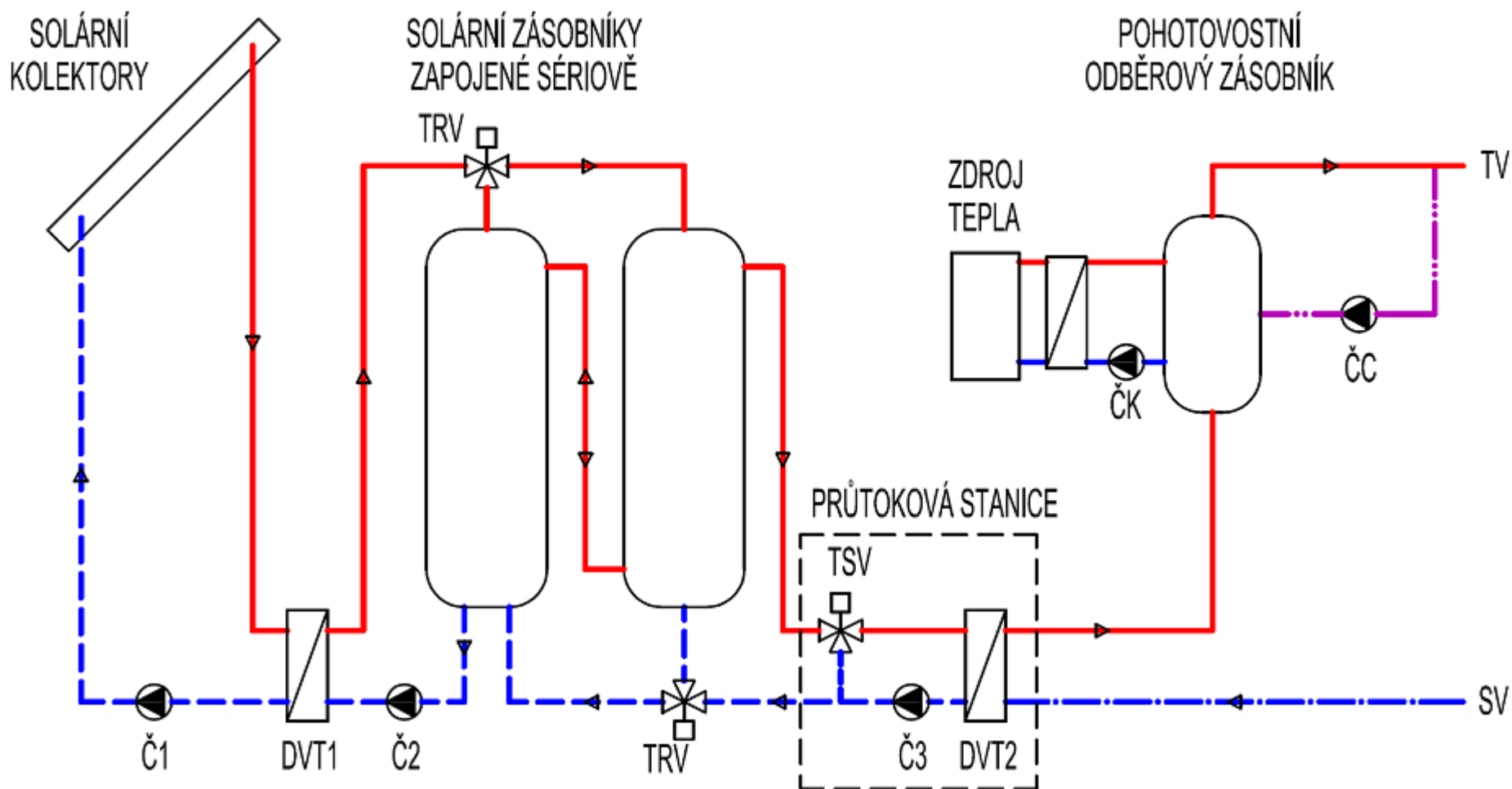




Solární příprava se zásobníky tepla

objem rozdělený do více zásobníků

přívod z výměníku rozdělen podle teploty, cirkulace do pohotovostního zás.
ochrana proti legionelle není nutná: průtokový ohřev

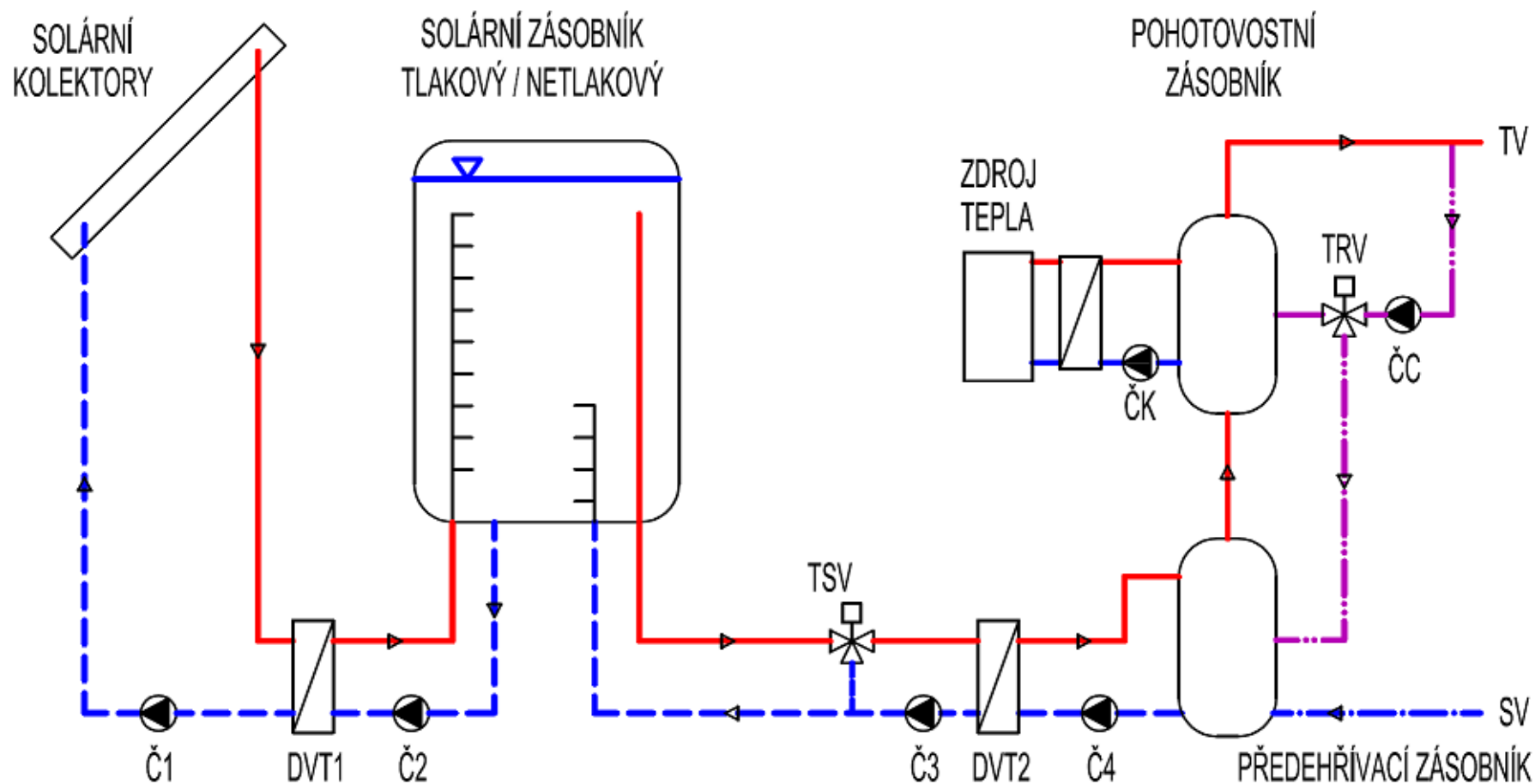


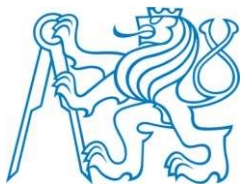


Solární příprava se zásobníky tepla

velkoobjemový beztlaký zásobník

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

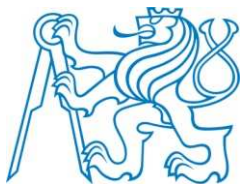




Solární vytápění v BD

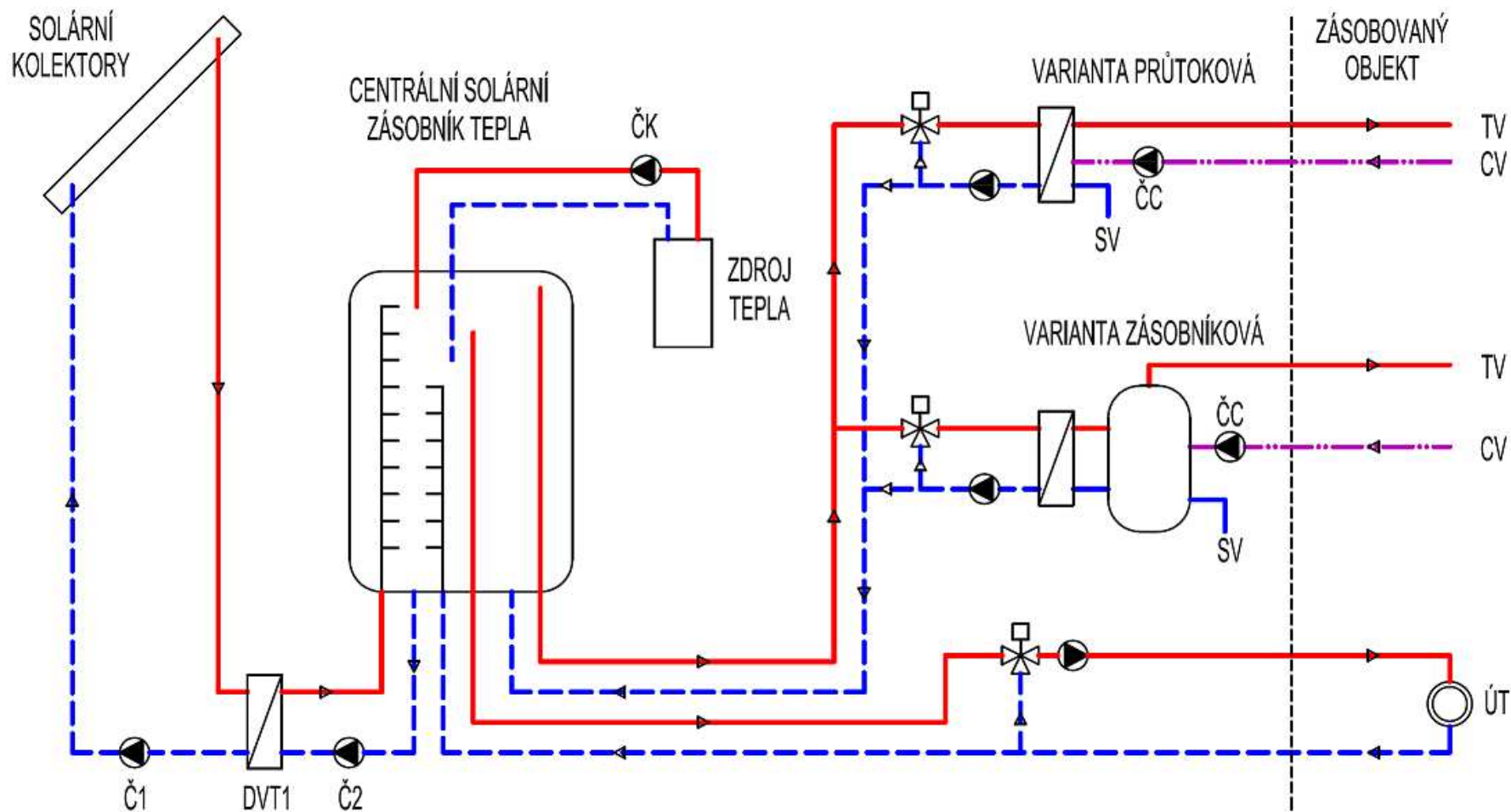
- není časté
- ohřev otopné vody – složitější integrace do stávajícího systému, regulace
- nutné vycházet především z reálné **spotřeby TV** v objektu
- **návrh plochy kolektorů na letní období**

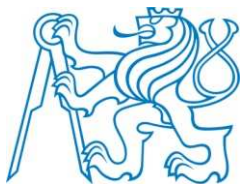




Solární vytápění – centrální příprava TV

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

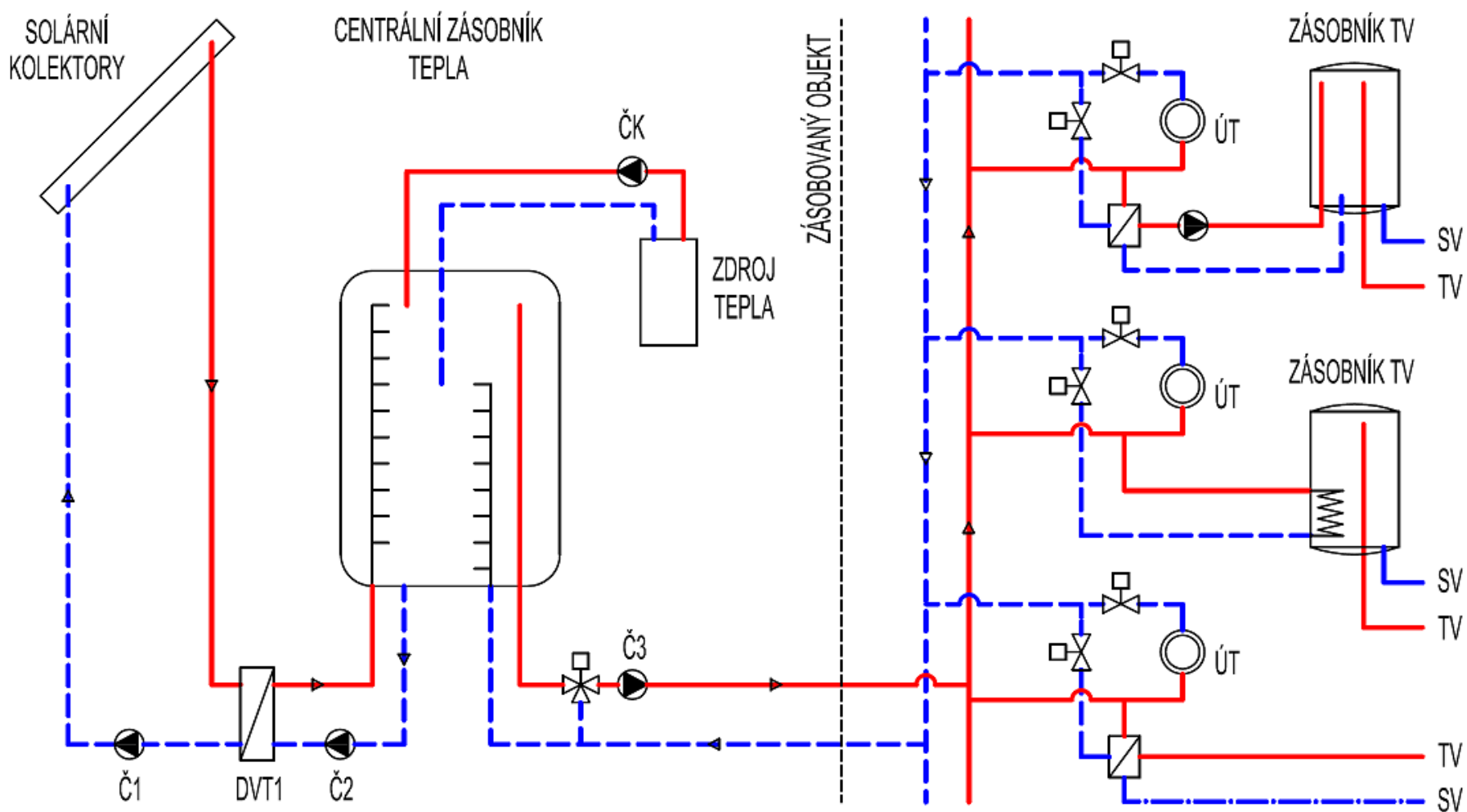




Solární vytápění – místní příprava TV

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

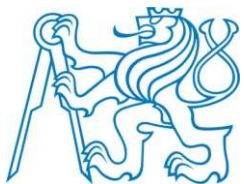
- **objem solární soustavy**

- 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

