Výpočet velikost zásobníku teplé vody a velikosti zdroje tepla, praktické ukázky – 2. část

Roman Vavřička

ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav techniky prostředí

Vstupní data návrhu systému přípravy TV

1. Potřeba teplé vody [*m^3/měrná jednotka·perioda*]

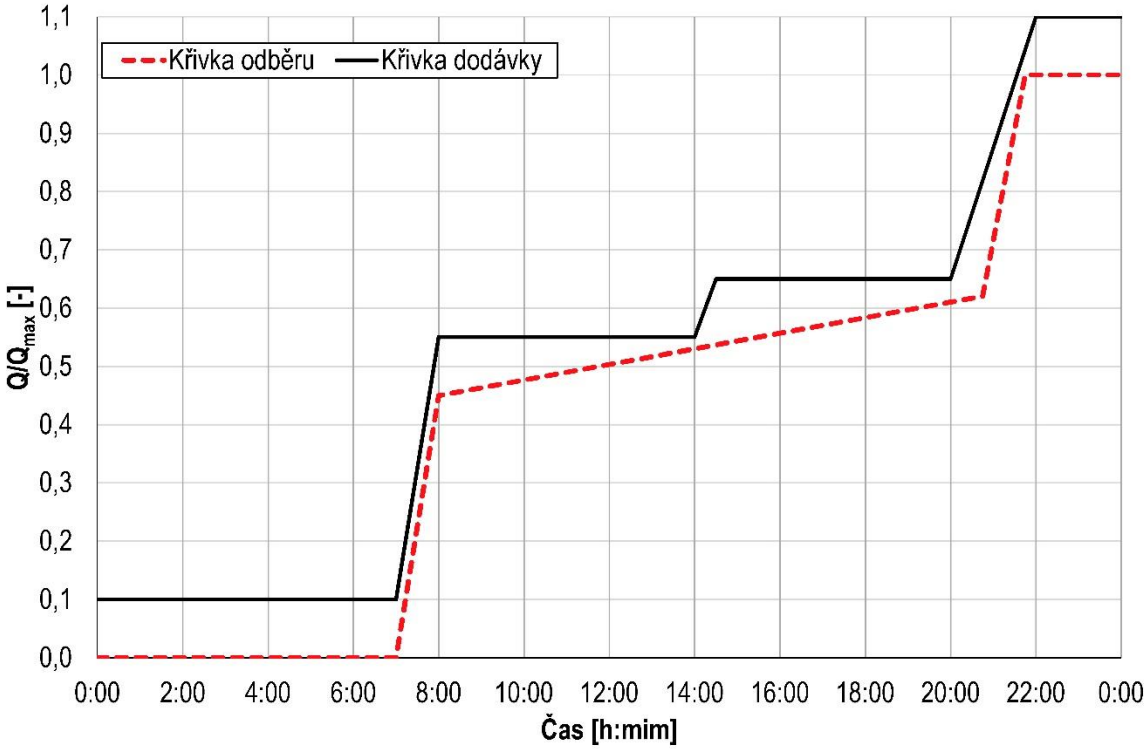
2. Způsob odběru teplé vody [*$V_{TV} = f(\tau)$ – profil odběru TV*]

3. Zdroj tepla [*teplotní úroveň, provoz*]

4. Způsob nabíjení zásobníku TV [*regulace, odběrová místa*]

PŘÍKLADY – Minimální zásobník TV

Příklad 1 – Snaha o minimalizaci velikosti zásobníku TV



Zjednodušení pro výpočet:

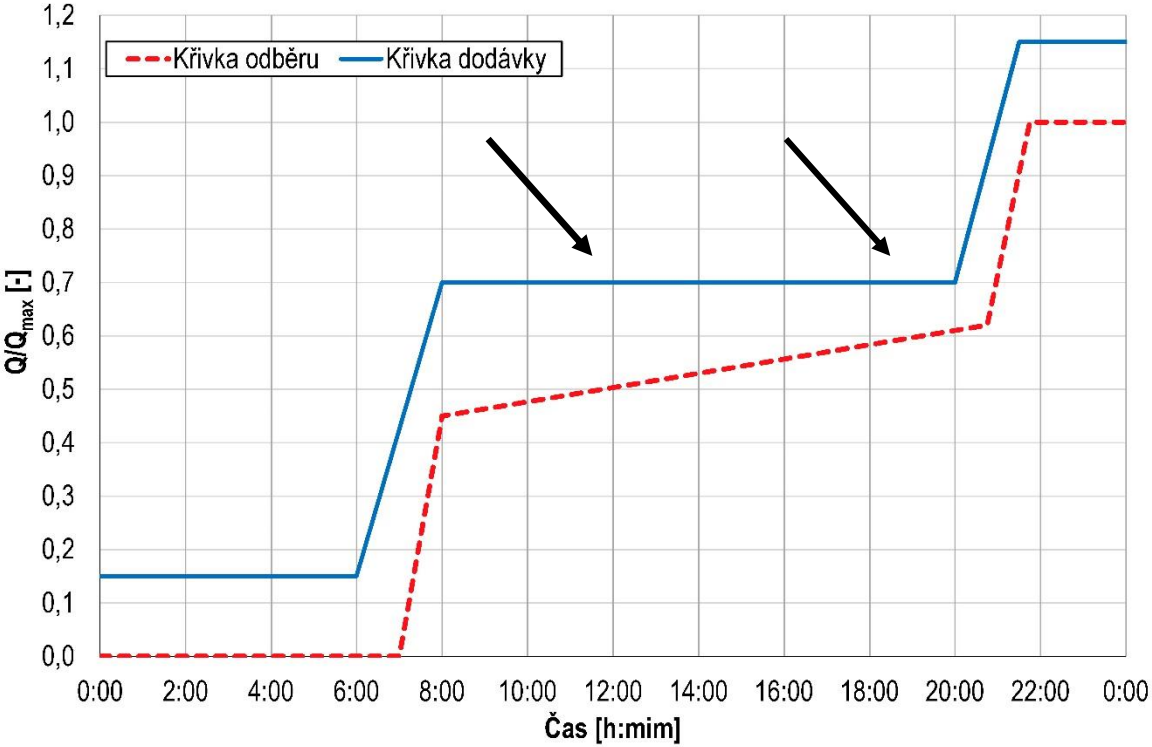
Procentuální poměr

1 % = 1 kWh

Časový úsek nabíjení	Požadovaný objem zásobníku TV V_{TV} [l]	Jmenovitý tepelný výkon ohřevu TV Q_{ZDROJ} [kW]
7:00 až 8:00	Není rozhodují pro maximální rozdíl	**45,0**
14:00 až 14:30	**248,4**	20,0
20:00 až 22:00	Není rozhodují pro maximální rozdíl	22,5

PŘÍKLADY – Minimální zásobník TV

Příklad 2 – Optimalizace křivky dodávky tepla s ohledem na provoz zdroje tepla



1) Možnost využití zdroje tepla i pro jinou technologii (VYT, VZT, atd.).

Zjednodušení pro výpočet:

Procentuální poměr

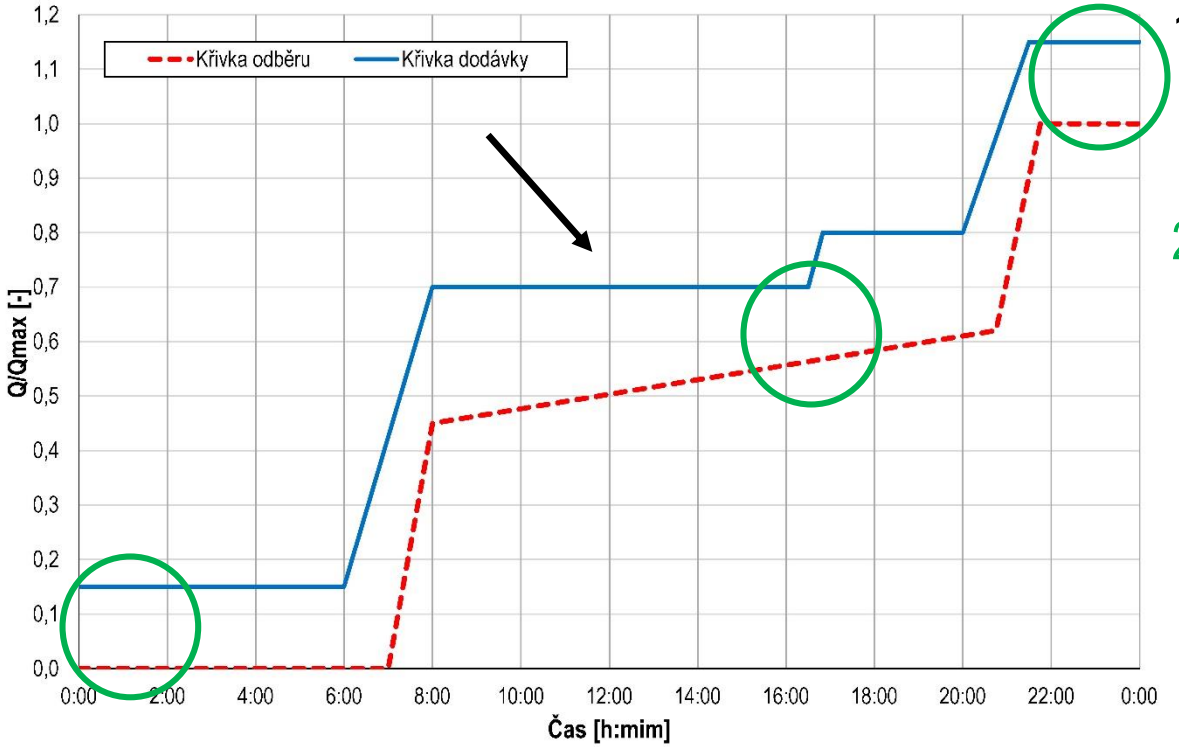
1 % = 1 kWh

Časový úsek nabíjení	Požadovaný objem zásobníku TV V_{TV} [l]	Jmenovitý tepelný výkon ohřevu TV Q_{ZDROJ} [kW]
6:00 až 8:00	**477,7**	27,5
20:00 až 21:30	Není rozhodují pro maximální rozdíl	**30,0**

PŘÍKLADY – Minimální zásobník TV

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

Příklad 3 – Optimalizace křivky dodávky tepla s ohledem na provoz zdroje tepla a možnost nestandardních odběrů TV



1) Možnosti využití zdroje tepla i pro jinou technologii (VYT, VZT, atd.).

2) 15 % rezerva dodávky tepla nad křivkou odběru.

Zjednodušení pro výpočet:

Procentuální poměr

1 % = 1 kWh

Časový úsek nabíjení	Požadovaný objem zásobníku TV V_{TV} [l]	Jmenovitý tepelný výkon ohřevu TV Q_{ZDROJ} [kW]
6:00 až 8:00	**477,7**	27,5
16:30 až 16:50	Není rozhodují pro maximální rozdíl	**30,0**
20:00 až 21:30	Není rozhodují pro maximální rozdíl	23,3

PŘÍKLADY – Minimální zásobník TV

Základní návrh **křivky dodávky tepla**

15 % - ekvidistantní vzdálenost s křivkou odběru – IDEÁLNÍ

10 % - ekvidistantní vzdálenost s křivkou odběru – DOSTAČUJÍCÍ

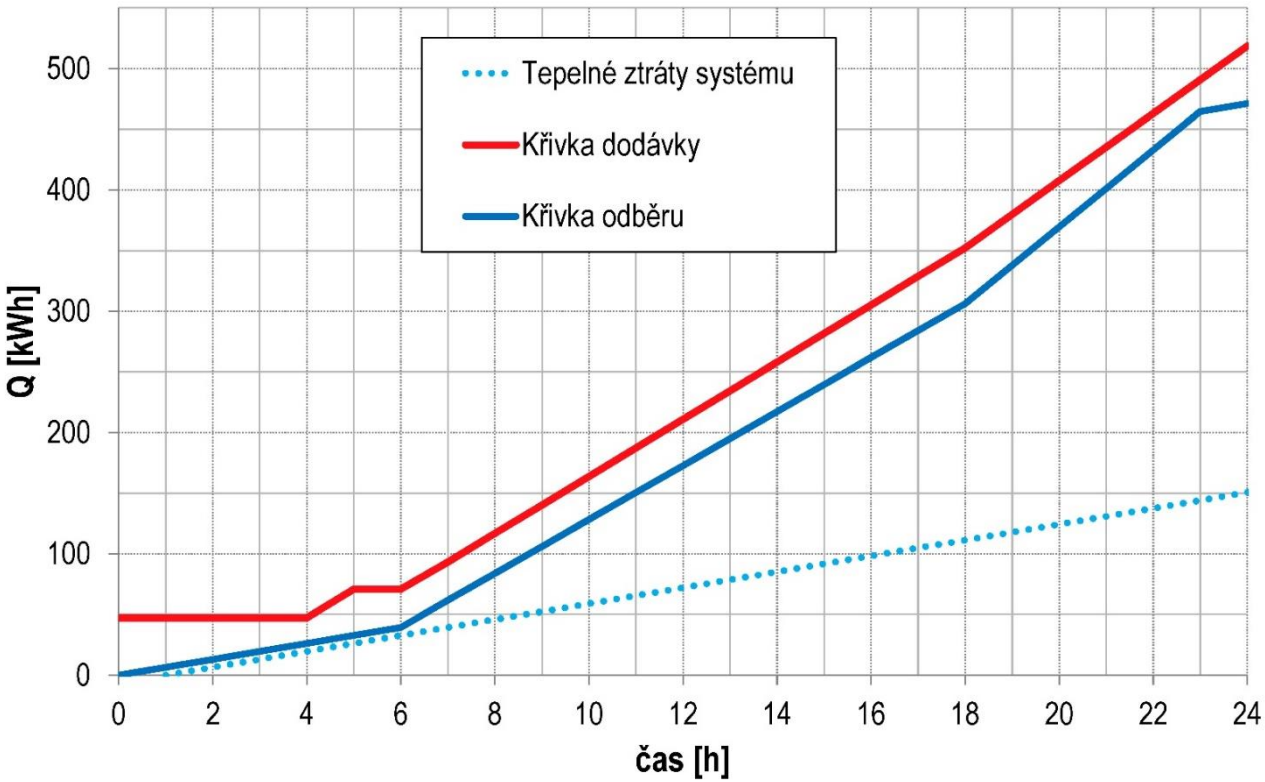
< 10 % - ekvidistantní vzdálenost s křivkou odběru – NEVHODNÉ

< 0 % ekvidistantní vzdálenost s křivkou odběru – CHYBA

PŘÍKLADY – Minimální zásobník TV

Příklad 4 – Bytový dům – n = 200 obyvatel, V_i = 30 l/os·den, z = 50 %

$Q_{TV,celk}$ = 471 kWh/den



Časový úsek nabíjení	Požadovaný objem zásobníku TV V_{TV} [l]	Jmenovitý tepelný výkon ohřevu TV Q_{ZDROJ} [kW]
4:00 až 5:00	Není rozhodují pro maximální rozdíl	23,55
6:00 až 18:00	Není rozhodují pro maximální rozdíl	23,46
18:00 až 24:00	Není rozhodují pro maximální rozdíl	**27,71**

PŘÍKLADY – Minimální zásobník TV

Příklad 4 – Bytový dům – n = 200 obyvatel, V_i = 30 l/os·den, z = 50 %

$Q_{TV,celk}$ = 471 kWh/den

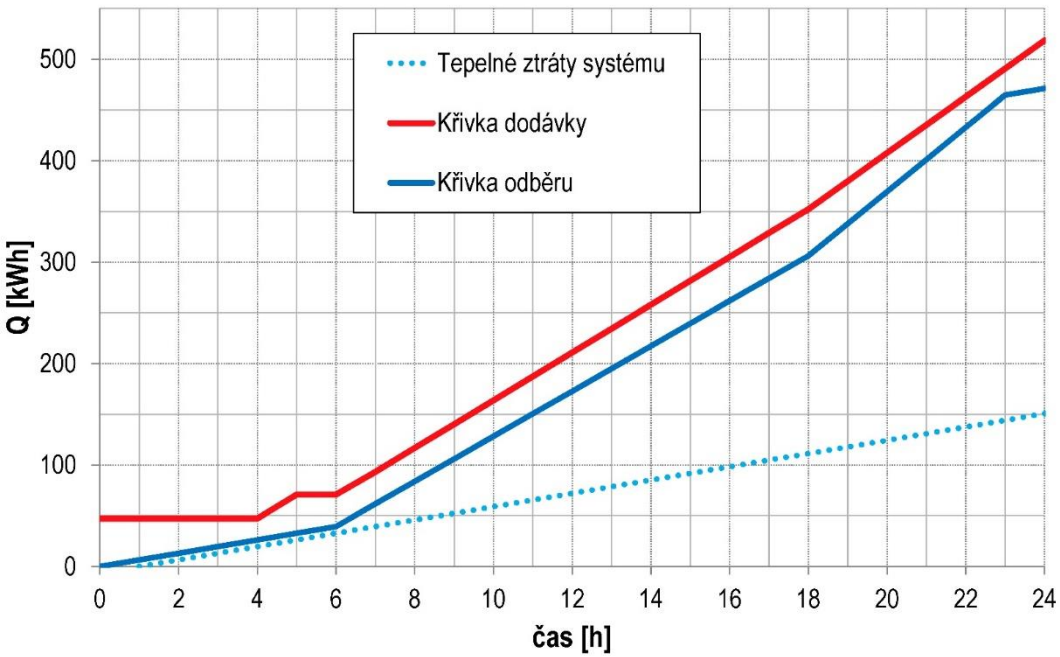
$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c^* \cdot (t_{TV} - t_{SV})}$$

!!! c - měrná tepelná kapacita !!!

!!! c = 4187 J/kg·K (VYT)

vs.

c^* = 1,163 kWh/m^3·K (TV) !!!



V 18:00 => ΔQ = 45,98 kWh – není rozhodující pro velikost zásobníku TV

V 0:00 (resp. ve 24:00) => ΔQ = 47,1 kWh (10 % rezerva v zásobníku TV) => cca 900 litrů

PŘÍKLADY – Využití TČ pro přípravu TV

RD – 4 osoby (35 l/osoba·den), z = 20 % => Q_{2P} = 8,79 kWh/den.

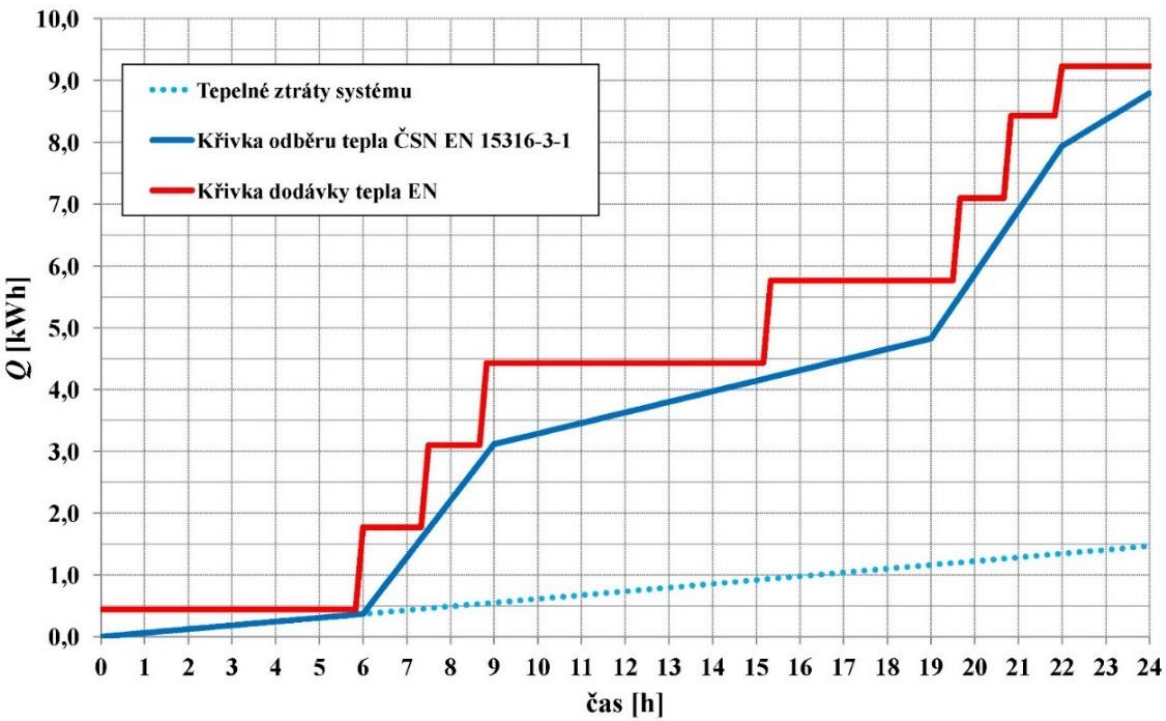
Nepřímo ohřívaný zásobník TV

(nepochopení principu práce TČ)

TČ vzduch-voda: $Q_{TČ}$ = 8 kW

Přednostní ohřev TV: $\Delta\, t_{TV}$ = 10 K

$Q_{zb} = Q_{2p} \cdot 0{,}05$



Výpočet pro návrhové podmínky

V_{TV} = 25 l ???

PŘÍKLADY – Využití TČ pro přípravu TV

RD – 4 osoby (35 l/osoba·den), z = 20 % => Q_{2P} = 8,79 kWh/den.

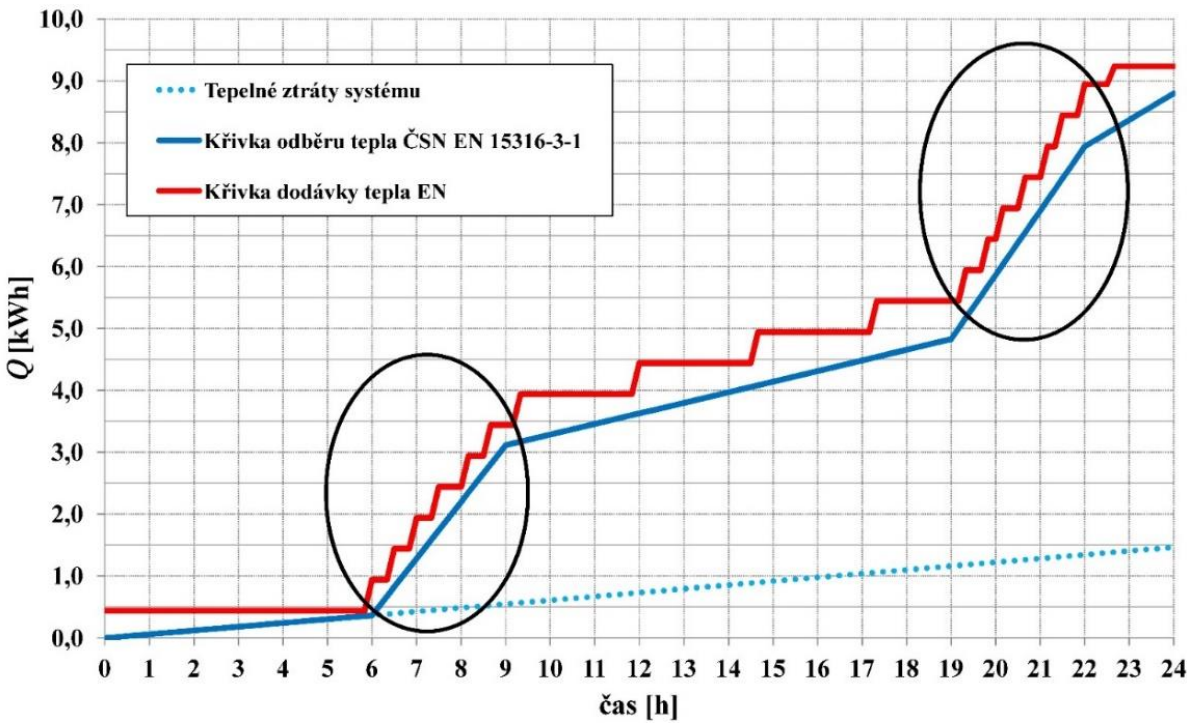
Nepřímo ohřívaný zásobník TV

(požadujeme co nejmenší objem)

$Q_{TČ}$ – **NENÍ KONSTANTNÍ**

Přednostní ohřev TV: $\Delta\, t_{TV}$ = 10 K

$Q_{zb} = Q_{2p} \cdot 0{,}05$



REÁLNÝ PROVOZ

1.Spínání TČ každých 8 až 17 minut!

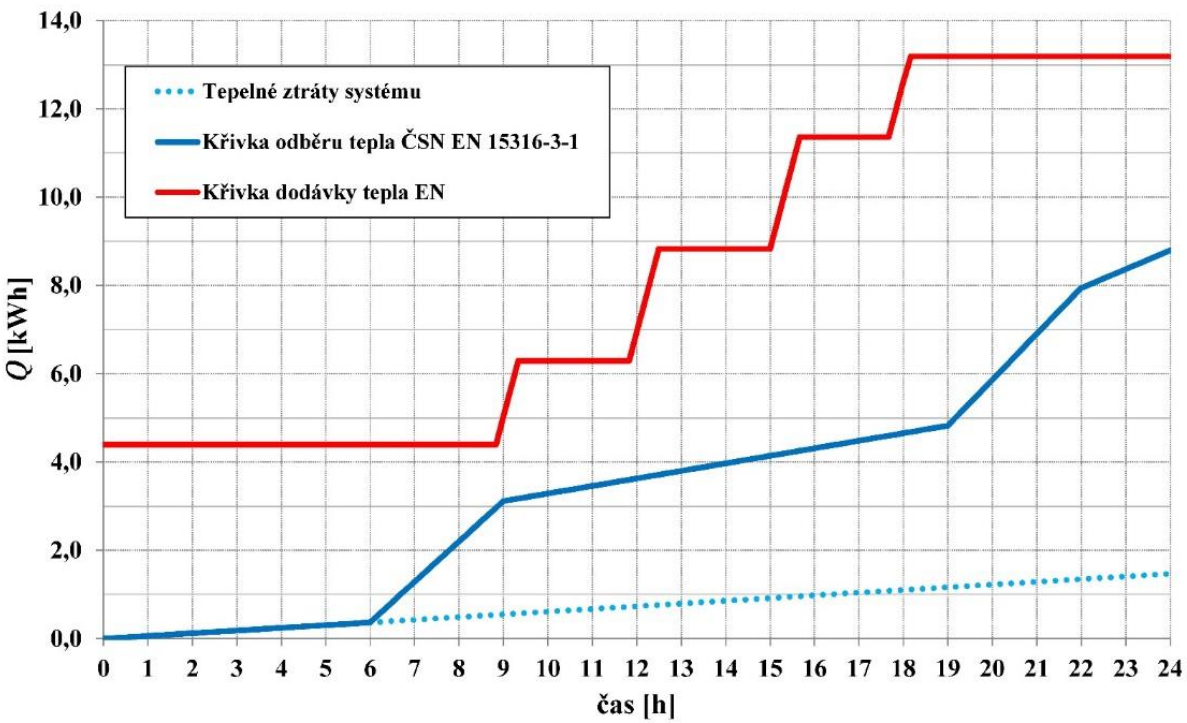
2. Neschopnost TČ vyrobit TV!

3.Průběh potřeby TV např. pro 1 sprchu!

PŘÍKLADY – Využití TČ pro přípravu TV

RD – 4 osoby (35 l/osoba·den), z = 20 % => Q_{2P} = 8,79 kWh/den.

V_{TV} = minimálně 170 l



Nepřímo ohřívaný zásobník TV („použitelný návrh“)

$Q_{TČ}$ – **NENÍ KONSTANTNÍ**

Přednostní ohřev TV: $\Delta\, t_{TV}$ = 10 K

PROVOZNÍ PŘEDPOKLADY

1. Příprava TV v době, kdy lze očekávat vyšší hodnoty t_e.
2. Regulace TČ s vazbou na aktuální potřebu tepla pro VYT.
3. Znalost dynamického chování otopných ploch.

PŘÍKLADY – Využití TČ pro přípravu TV

$$Q = m_w \cdot c \cdot \left(t_{w1} - t_{w2}\right)$$

kde

m_w	hmotnostní průtok otopné vody [kg/s],
c	měrná tepelná kapacita vody [J/kg·K] ($c \approx 4187$ J/kg·K),
t_{w1}	teplota vody na výstupu z TČ [°C],
t_{w2}	teplota vody na vstupu do TČ [°C].

Příklad:

Q_{VYT} = 4 kW, podlahové vytápění => 35/28 °C

Q_{TV} = 4 kW => 55/10 °C (= špatně navržený zásobník TV)

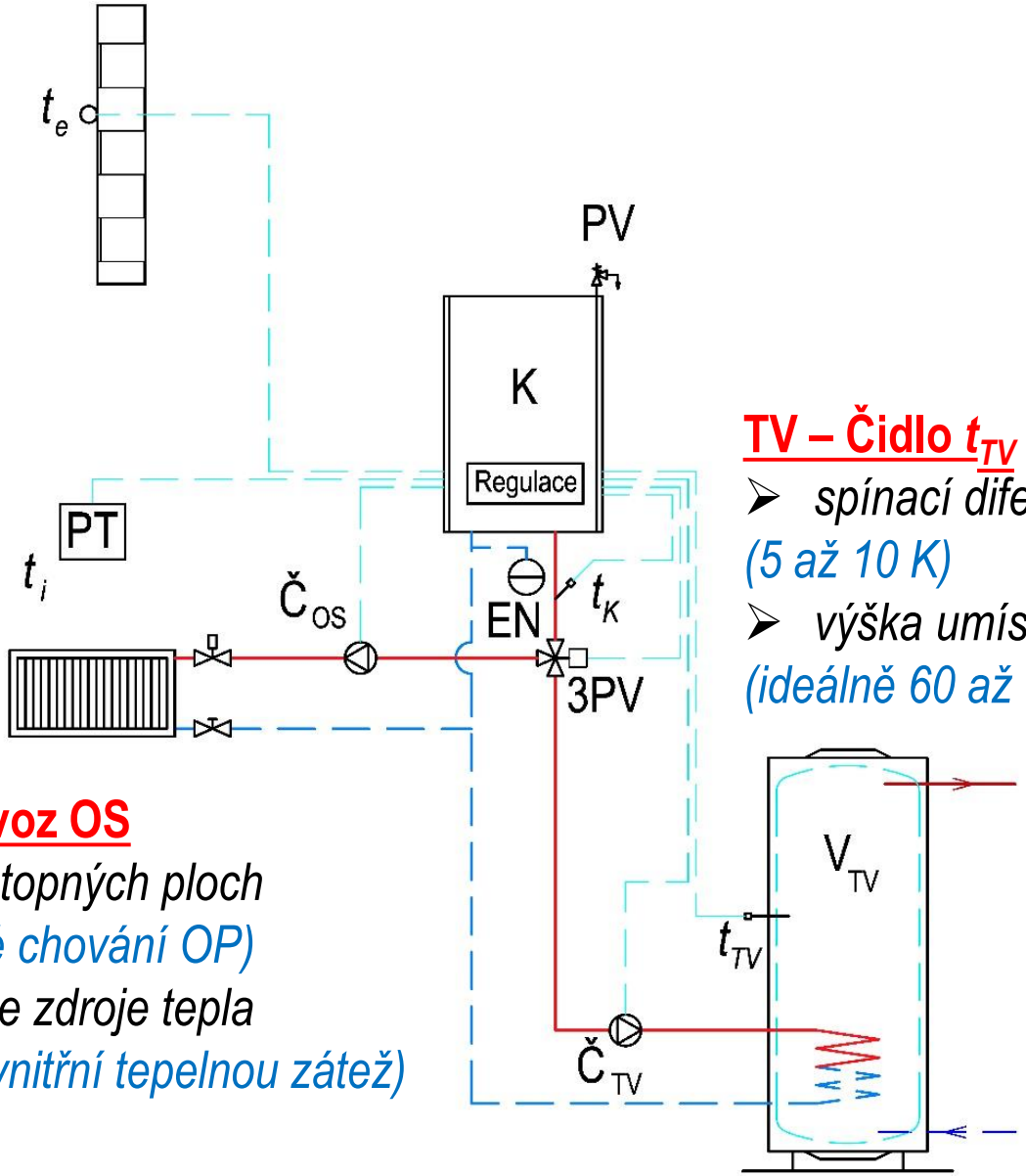
$$m_{VYT} = \frac{4000}{4187 \cdot (35-28)} \cdot 3600 = 491{,}3\ kg/h$$

$$V_{VYT} \approx 8{,}2\ l/min$$

$$m_{TV} = \frac{4000}{4187 \cdot (55-10)} \cdot 3600 = 76{,}4\ kg/h$$

$$V_{TV} = 1{,}27\ l/min$$

PŘÍKLADY – Přednostní příprava teplé vody



TV – Čidlo t_{TV}

- *spínací diference*

(5 až 10 K)

- *výška umístění čidla*

(ideálně 60 až 70 % výšky zásobníku)

VYT – provoz OS

- *druhy otopných ploch*

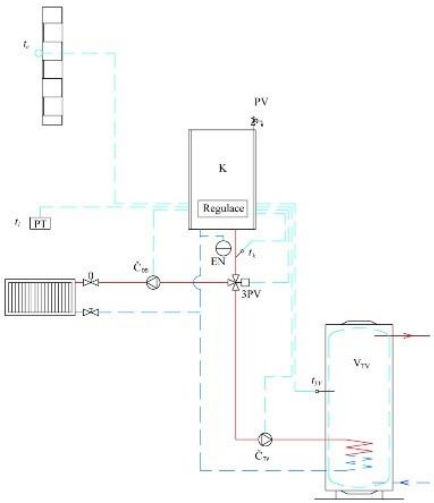
(dynamické chování OP)

- *regulace zdroje tepla*

(vazba na vnitřní tepelnou zátež)

PŘÍKLADY – Přednostní příprava teplé vody

$$Q_k = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k}$$



Q_{TV} - tepelný výkon nutný k dohřevu TV [W],
V_{TV} - objem zásobníku TV [m^3],
τ_a - doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro dohřev TV [s],
ρ - hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m^3],
c - měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku [J/kg·K],
X_p - spínací diference pro dohřev TV (5 nebo 10 K) [K],
y - korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV [-].

Zásobník TV	***y* [-]**	
	τ_a < 20 minut	***τ_a < 10 minut***
Vertikální zásobník TV	0,94	0,89
Horizontální zásobník TV (do 400 l)	0,96	0,91
Horizontální zásobník TV (nad 400 l)	0,90	0,85

PŘÍKLADY – Přednostní příprava teplé vody

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

Jaký zásobník TV?

Počet odběrných míst např. rodinný dům:

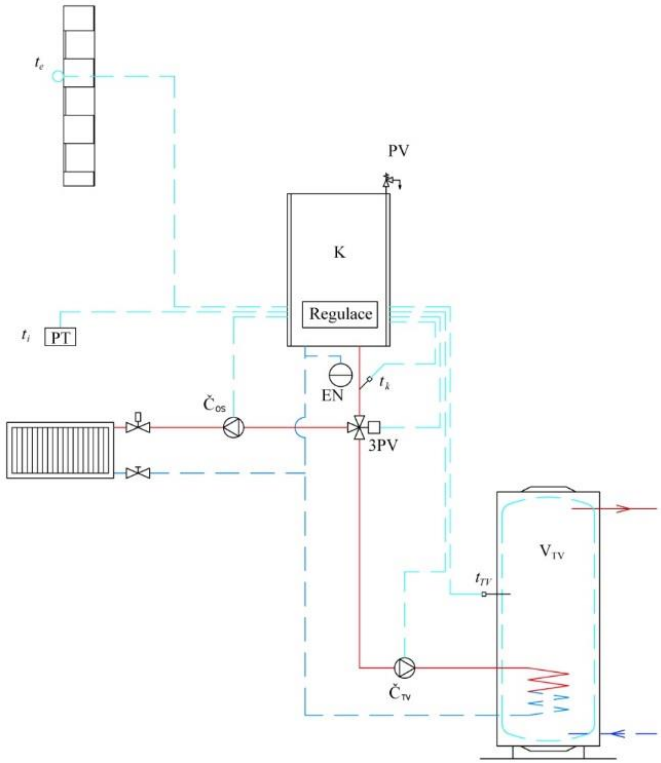
3 umyvadla – v reálu neuvažovat, odběr je příliš krátký

1 vana – OK => maximálně 6 [l/min]

1 sprcha – OK => maximálně 6 [l/min]

V_{real} = 12 [l/min] = **720 [l/h] => TRVALE !!!**

Teplota vody **MIX ≈ 38 až 43 °C**



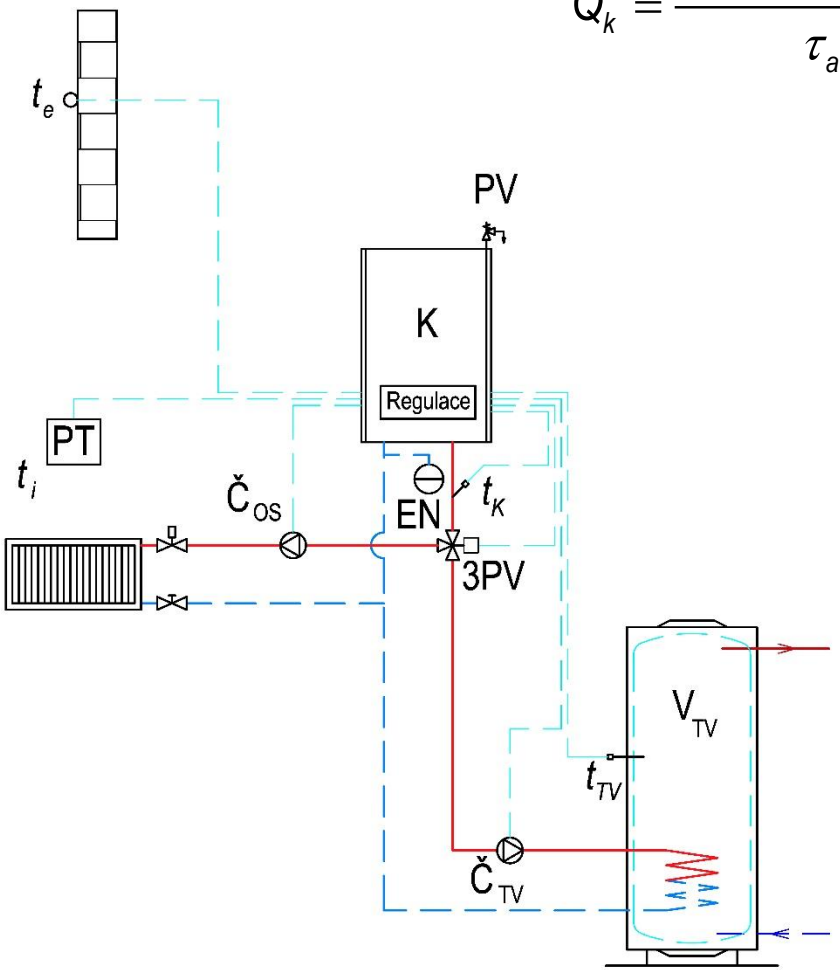
Zásobník o objemu 65 l (H65W)

18 kW => 438 l/h (t_{TV} = 45 °C)

Zásobník o objemu 120 l (S 120/5)

34 kW => 834 l/h (t_{TV} = 45 °C)

PŘÍKLADY – Přednostní příprava teplé vody



$$Q_k = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k}$$

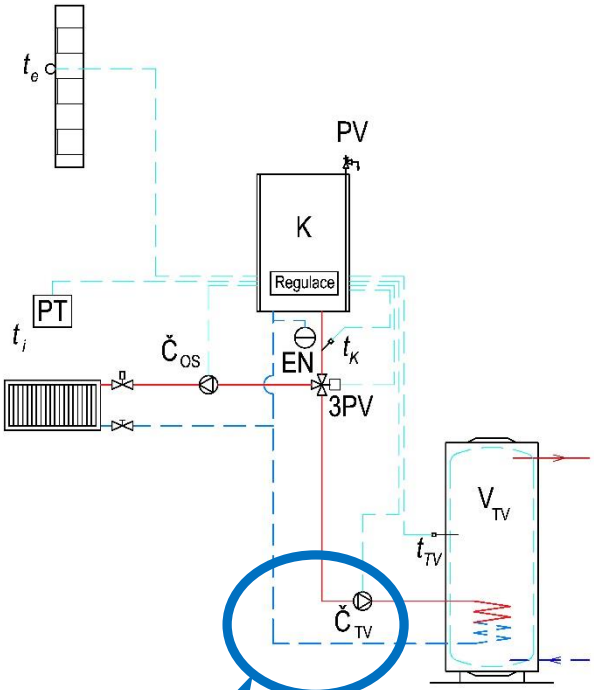
Příklad:

Q_K = 12 kW, X_p = 10 K, τ_a = 8 minut

y = 0,89 (vertikální zásobník TV)

$$V_{TV} = \frac{Q_P \cdot \tau_a}{y \cdot \rho \cdot c \cdot X_P} = \frac{12000 \cdot (8 \cdot 60)}{0{,}89 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot 10} = 154{,}6 \text{ litrů}$$

PŘÍKLADY – Přednostní příprava teplé vody



$$Q_k = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k}$$

Příklad 4:

Q_K = 12 kW, X_p = 10 K, τ_a = 8 minut

y = 0,89 (vertikální zásobník TV)

$$V_{TV} = \frac{Q_P \cdot \tau_a}{y \cdot \rho \cdot c \cdot X_P} = \frac{12000 \cdot (8 \cdot 60)}{0{,}89 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot 10} = 154{,}6 \text{ litrů}$$

Řešením tedy je 160 litrový zásobník.

??? ALE PRO JAKÉ PARAMETRY ???

Strana zdroje tepla

80 °C, 2 m³/h

Schopnost výměníku předat tepelný výkon do ohřevu TV

27,5 kW

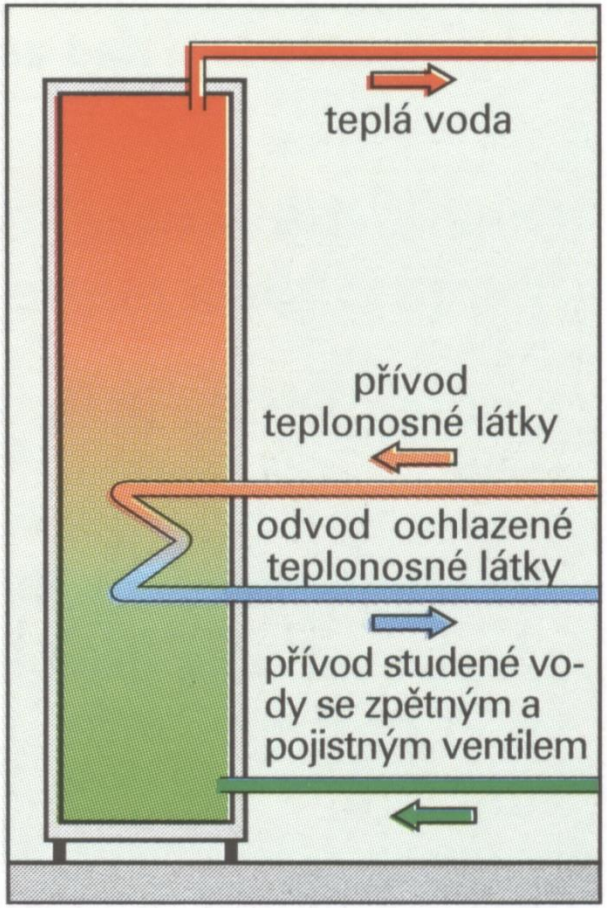
PRO

Trvalý průtok vody při výstupní teplotě 60 °C => 475 l/h

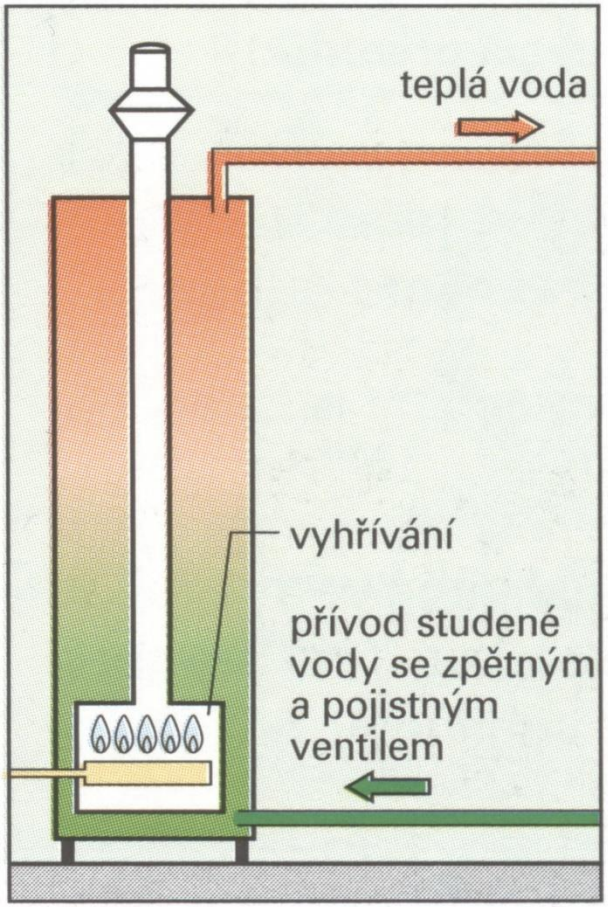
např. sprcha – cca 6 l/min = 360 l/h (55 °C)

Přímo ohřívaný zásobník

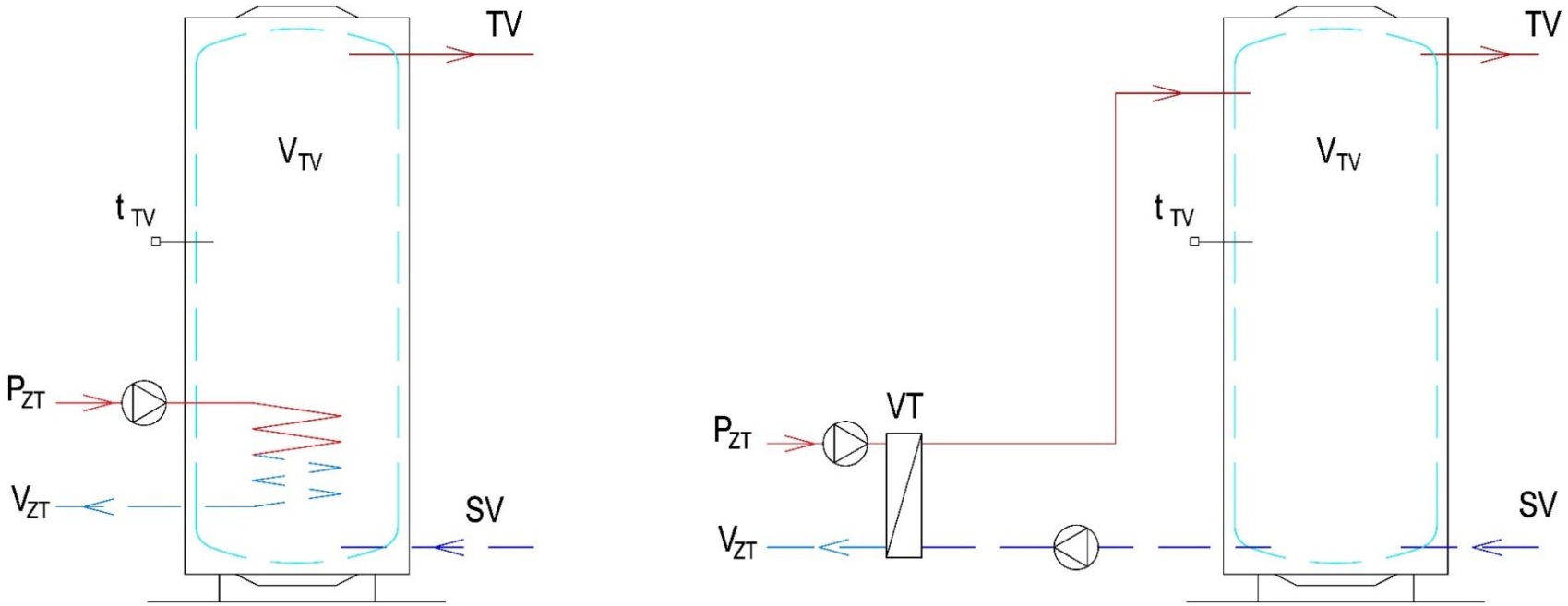
Nepřímý ohřev



Přímý ohřev



Externí výměník tepla a akumulační nádrž



SV - vstup studené vody, TV - výstup teplé vody, P_{ZT} - přívodní potrubí od zdroje tepla, V_{ZT} - vratné potrubí ke zdroji tepla, V_{TV} - zásobník teplé vody, VT - externí výměník tepla, t_{TV} - teplota zásobníku TV

ZÁVĚR

1. Potřeba teplé vody [*m^3/měrná jednotka·perioda*]

2. Způsob odběru teplé vody [*$V_{TV} = f(\tau)$ – profil odběru TV*]

3. Zdroj tepla [*teplotní úroveň, provoz*]

4. Způsob nabíjení zásobníku TV [*regulace, odběrová místa*]

FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

DĚKUJI ZA POZORNOST

http://utp.fs.cvut.cz
Roman.Vavricka@fs.cvut.cz