



# VÍCE-VÝMĚNÍKOVÁ TEPELNÁ ČERPADLA

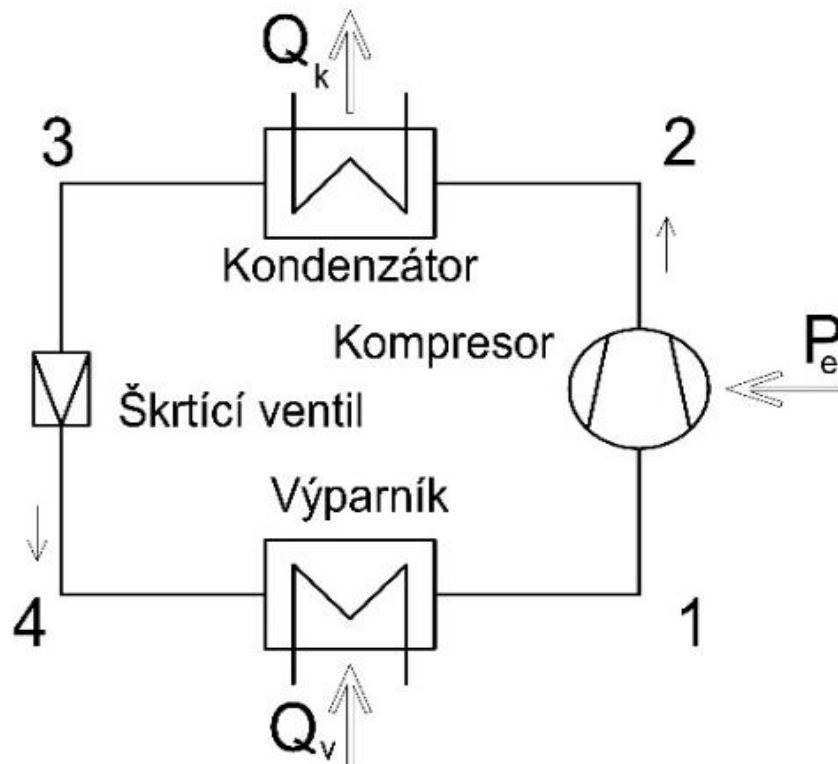
ForArch 2015

Ing. Jan Sedlář, Univerzitní Centrum Energeticky Efektivních Budov  
České Vysoké Učení Technické v Praze

## OBSAH

- Motivace k vývoji tepelných čerpadel pokročilejších konstrukcí
- Konstrukce více-výměníkového tepelného čerpadla
- Principy
- Prototyp a model
- Simulace zapojení v reálném systému
- Závěr

## TEPELNÁ ČERPADLA KLASICKÉ KONSTRUKCE



$$COP = \frac{Q_k}{P_{el}} \approx \frac{1}{t_k - t_v}$$

## TEPELNÁ ČERPADLA KLASICKÉ KONSTRUKCE

- Nejvyšší efektivita při
  - Nízké kondenzační teplotě
  - Vysoké vypařovací teplotě→ topný faktor TČ země-voda (5/35)

$$\text{COP} \approx 4,5$$



Nízkoteplotní vytápění

- Nejnižší efektivita při
  - Vysoké kondenzační teplotě
  - Nízké vypařovací teplotě→ topný faktor TČ země-voda (-5/55)

$$\text{COP} \approx 2,3$$



Příprava teplé vody

## MOTIVACE K VÝVOJI VÍCE-VÝMĚNÍKOVÝCH TEPELNÝCH ČERPADEL

### 1. Nově stavěné a zateplované objekty

1. Nízká potřeba tepla na vytápění
2. Konstantní potřeba tepla na přípravu teplé vody

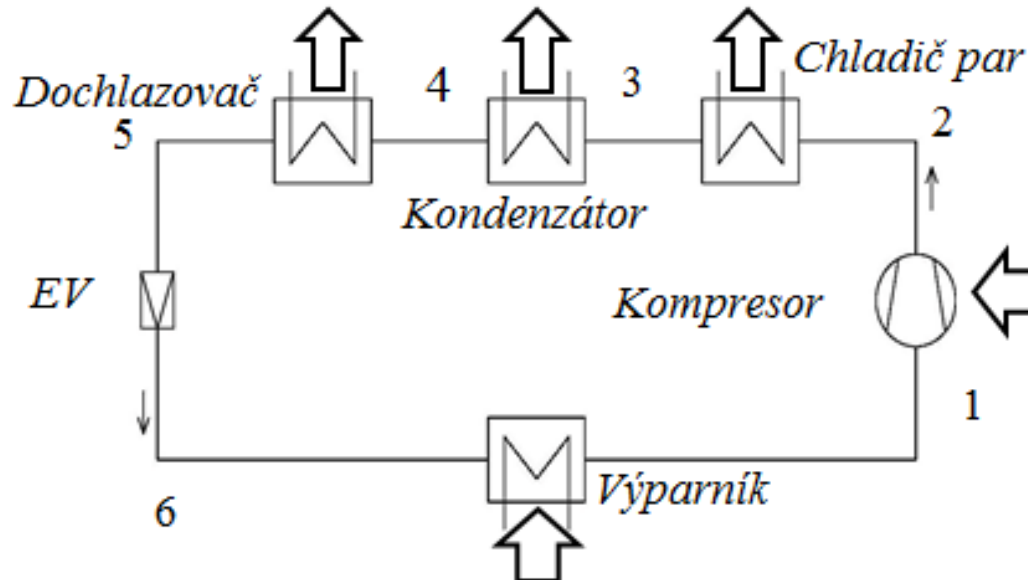
→ Vysoký podíl tepla pro přípravu teplé vody v celkové potřebě tepla objektů

### 2. Nízké COP standardních tepelných čerpadel při přípravě teplé vody

Při SPF systému s tepelným čerpadlem menším než 2,5 není tepelné čerpadlo obnovitelný zdroj tepla.

## CO JE VÍCE-VÝMĚNÍKOVÉ TEPELNÉ ČERPADLO

- Obsahuje tři výměníky tepla na kondenzační straně
  - Chladič par
  - Kondenzátor
  - Dochlazovač
- Výměníky tepla jsou v sériovém zapojení v okruhu chladiva podle obr.



## PRINCIPY A LOGIKA

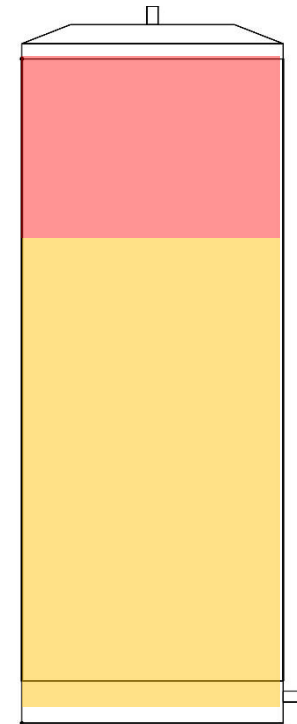
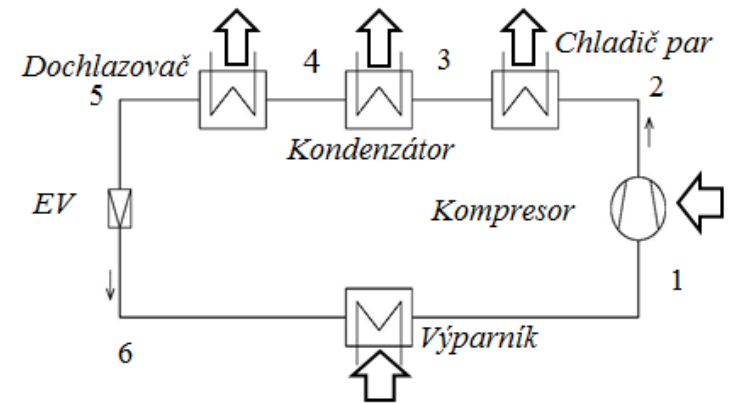
### CHLADIČ PAR

- Odebírá teplo z přehřátých par chladiva za kompresorem
- Teplo na nejvyšší teplotní hladině

### Výhody při přípravě TV

- Ohřev nejteplejší část akumulární nádoby na teplou vodu
- **Umožňuje snížení kondenzační teploty při přípravě teplé vody**
- Současně příprava teplé vody v chladiči par a vytápění v kondenzátoru

$$COP = \frac{Q_k}{P_{el}} \approx \frac{1}{t_k - t_v}$$



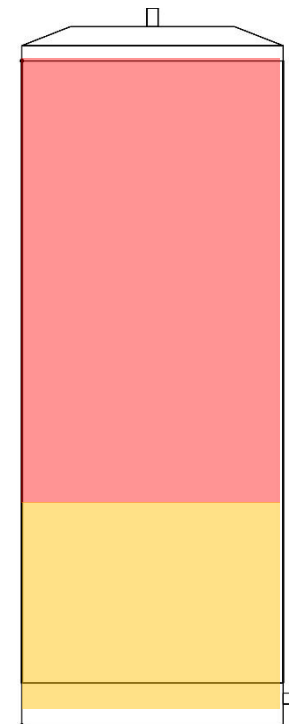
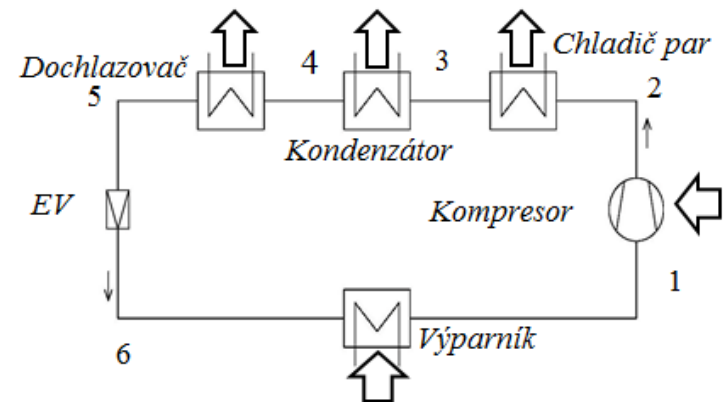
## PRINCIPY A LOGIKA

### DOCHLAZOVAČ

- Využívá zbytkové citelné teplo chladiva za kondenzátorem
- Lze využít pro přehřev při přípravě teplé vody
- Další odvod tepla nezvýší příkon kompresoru, pouze chladicí výkon výparníku

JEHO TOPNÝ VÝKON JE „ZDARMA“

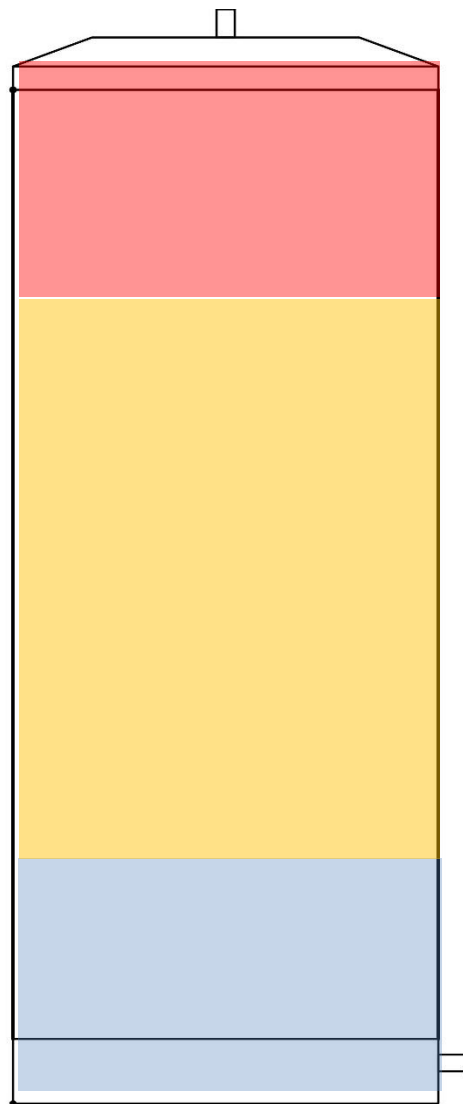
- **Zvýší se topný faktor COP**





## PRINCIPY A LOGIKA

Kombinace výhod  
předchozích zapojení.

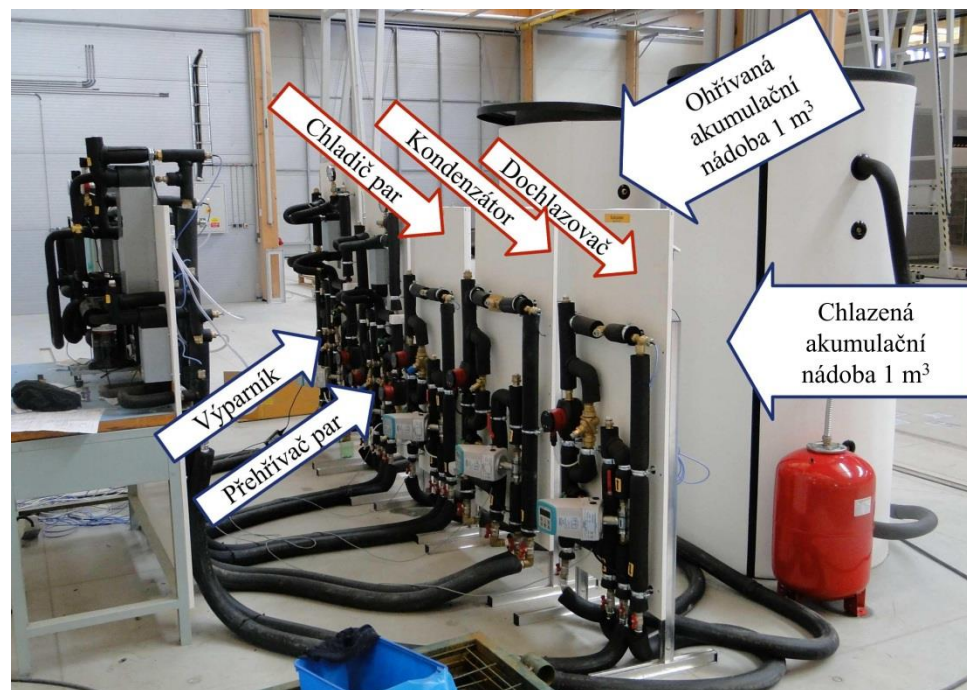


## MODEL TEPELNÉHO ČERPADLA

- Byl vytvořen matematický model tepelného čerpadla pomocí submodelů jednotlivých komponent
  - Kompresor
    - Popis izoentropické účinnosti
    - Popis dopravní účinnosti
    - Model komprese
  - Kondenzátor
    - 3 subvýměníky (pro chlazení par, pro kondenzaci, pro podchazení)
  - Chladič par
    - 2 subvýměníky (pro chlazení par, pro kondenzaci)
  - Výparník
    - 2 subvýměníky (vypařování kapalného chladiva, přehřívání par chladiva)
  - Dochlazovač
  - Chladivo
- Všechny modely jsou propojeny v cyklu

## PROTOTYP TEPELNÉHO ČERPADLA

- Na základě modelu bylo postaven prototyp více-výměníkového tepelného čerpadla **kapalina-voda**
- Byla postavena pro každý výměník vlastní měřicí trať pro testování
- Model byl poté zpětně kontrolován podle odchylky od měření prototypu
- NEJPRVE BYLO NAVRŽENO TEPELNÉ ČERPADLO PODLE MODELU A POSLÉZE OVĚŘENA SPRÁVNOST MODELU (NE NAOPAK)



## PROTOTYP TEPELNÉHO ČERPADLA

- chladivo R410A
- kompresor Copeland ZH05K1P-TFM
  - $V_t = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
  - $\lambda_d = 1,047 - 0,0377 \cdot \sigma$
  - $\eta_{ie} = -0,7859 + 1,5845 \cdot \sigma - 0,603 \cdot \sigma^2 + 0,0956 \cdot \sigma^3 - 0,0055 \cdot \sigma^4$
- deskový kondenzátor SWEP B25Tx30
  - $UA = 1500 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$
- deskový výparník SWEP B25Tx30
  - $UA = 1215 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$
- deskový chladič par SWEP B8Tx20
  - $UA = 180 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$
- deskový dochlazovač SWEP B8Tx20
  - $UA = 270 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$
- přehřátí na výparníku 4 K
- podchlazení v kondenzátoru 2 K

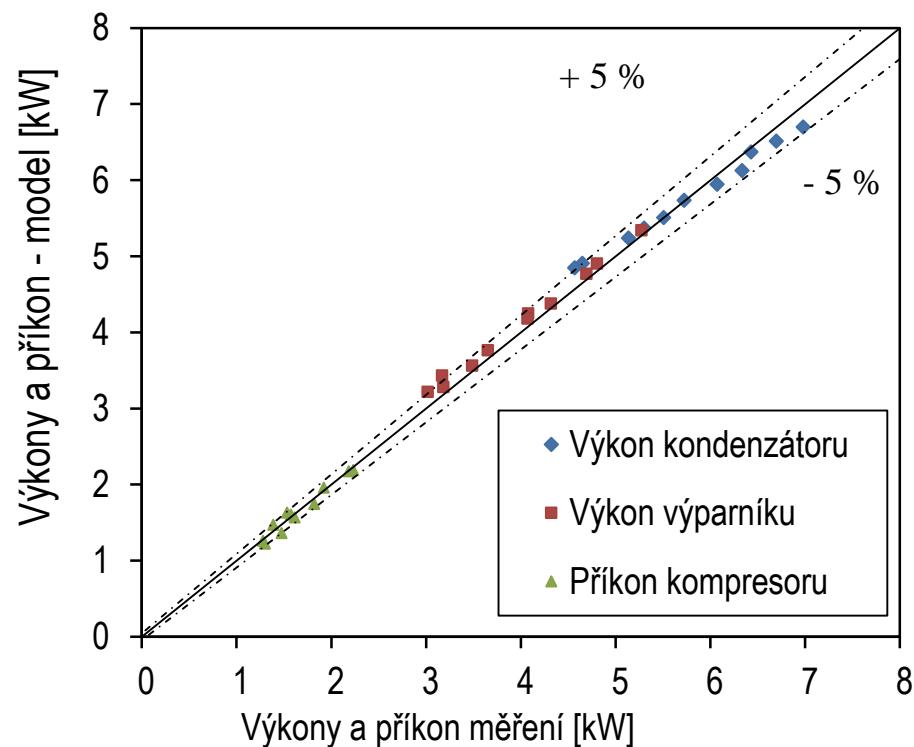


## VÝSLEDKY MĚŘENÍ – STANDARDNÍ TEPELNÉ ČERPADLO

Nominální bod 0/35

Výstup z kondenzátoru	35
Nemrzoucí směs vstup výparník	0
Topný výkon [kW]	5,52
Chladicí výkon [kW]	3,69
Příkon [kW]	1,28
<b>COP [-]</b>	<b>4,31</b>

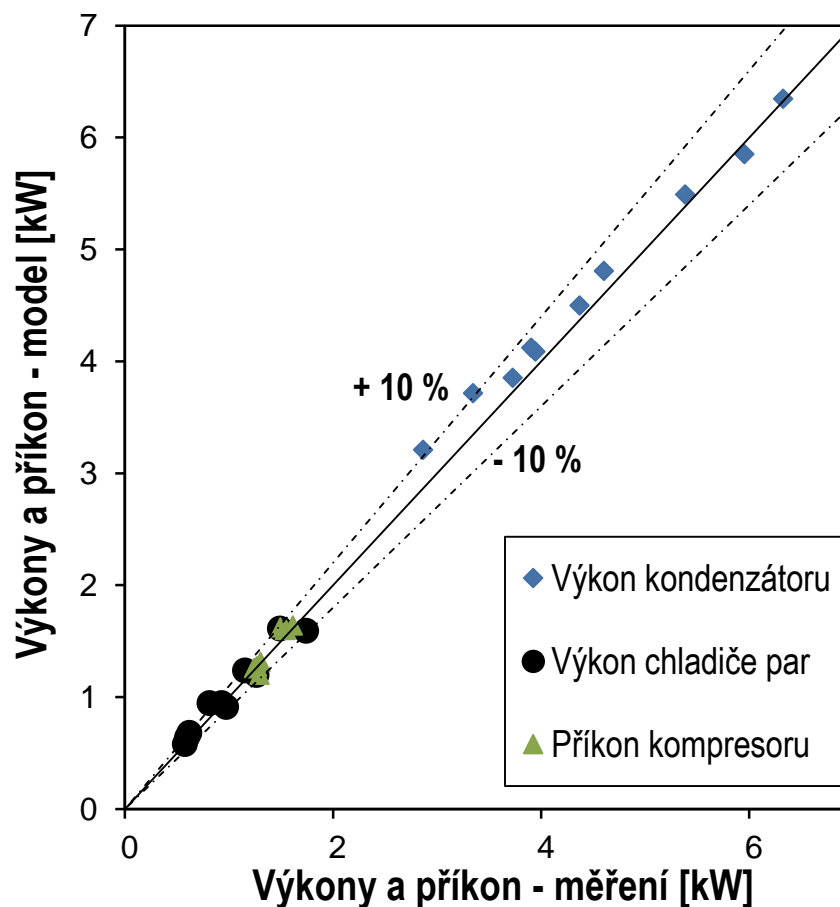
- Měřeno podle v souladu s normou ČSN EN 14 511



# VÝSLEDKY MĚŘENÍ – TEPELNÉ ČERPADLO S CHLADIČEM PAR

- Více-výměníková tepelná čerpadla nelze měřit podle ČSN EN 14 511

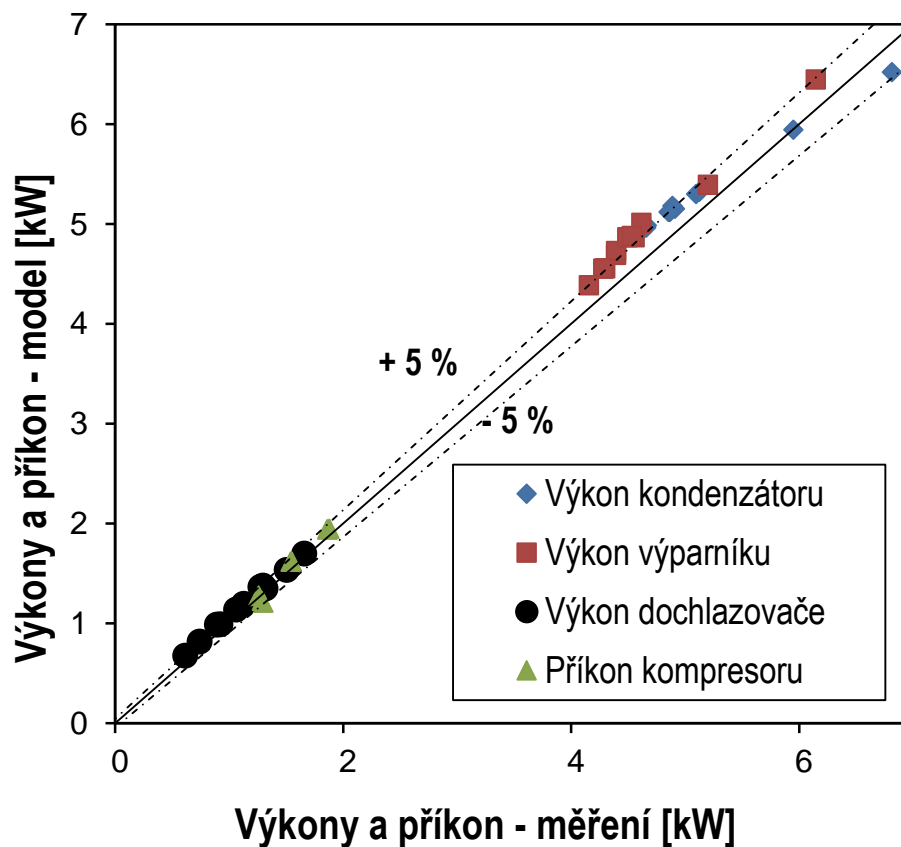
Kondenzátor	Vstupní/výstupní teplota [°C]	30/34
Chladič par	Vstupní/výstupní teplota [°C]	50/54
Výparník	Vstupní teplota [°C]	0
Kondenzátor	Topný výkon [kW]	4,6
Chladič par	Topný výkon [kW]	0,6
Výparník	Chladicí výkon [kW]	3,92
Kompresor	Příkon [kW]	1,27
Jednotka	<b>COP [-]</b>	<b>4,11</b>



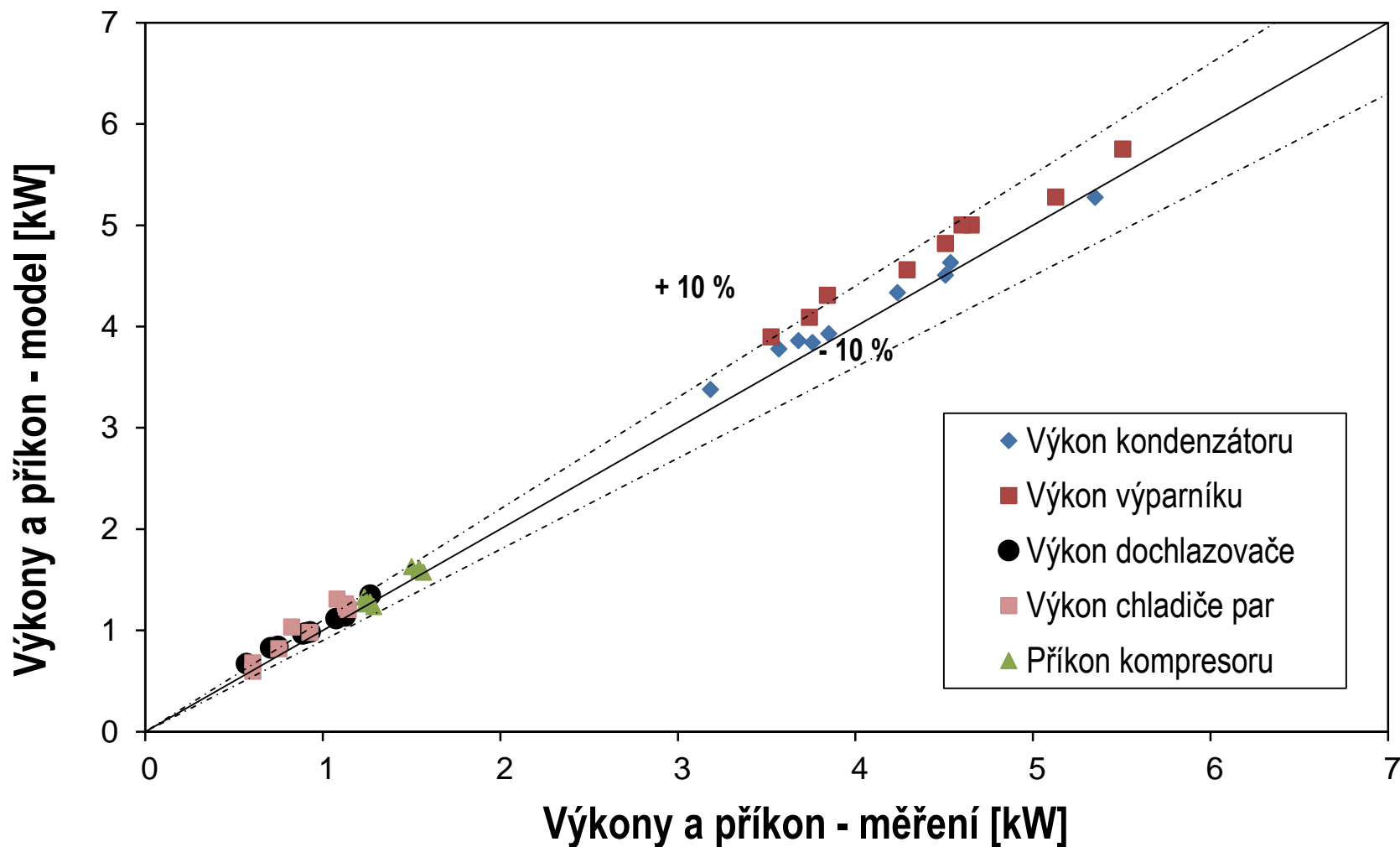
# VÝSLEDKY MĚŘENÍ – TEPELNÉ ČERPADLO S DOCHLAZOVAČEM

- Více-výměníková tepelná čerpadla nelze měřit podle ČSN EN 14 511

Kondenzátor	Vstupní/výstupní teplota [°C]	30/35
Dochlazovač	Vstupní/výstupní teplota [°C]	10/17
Výparník	Vstupní teplota [°C]	0
Kondenzátor	Topný výkon [kW]	5,1
Dochlazovač	Topný výkon [kW]	0,9
Výparník	Chladicí výkon [kW]	5
Kompresor	Příkon [kW]	1,28
Jednotka	<b>COP [-]</b>	<b>4,8</b>



# VÝSLEDKY MĚŘENÍ – TEPELNÉ ČERPADLO VÍCE-VÝMĚNÍKOVÉ

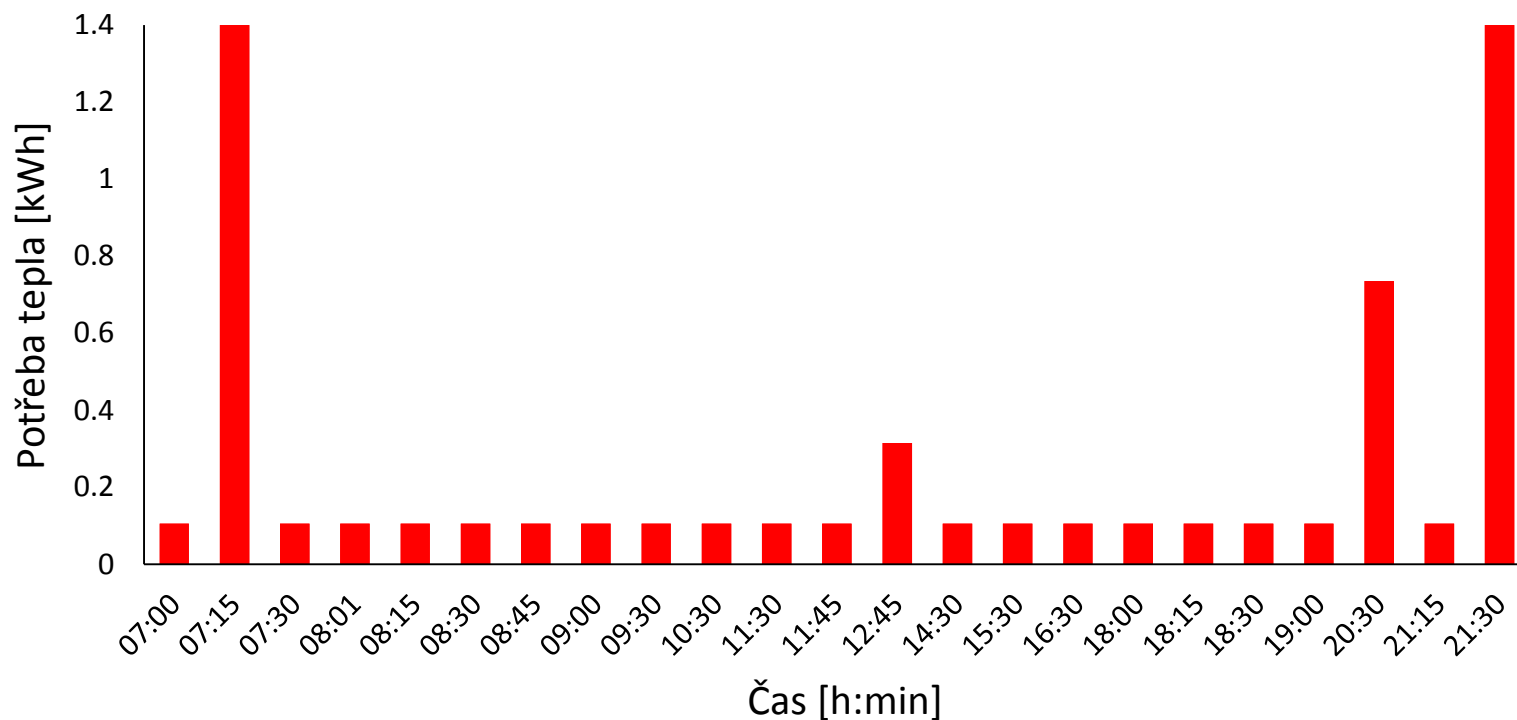




# SIMULACE PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY

Potřeba teplé vody

- 4 osoby s definovanou dobou pobytu
- Spotřeba teplé vody 160 l/den
- Denní profil odběru teplé vody podle ČSN EN 15 450



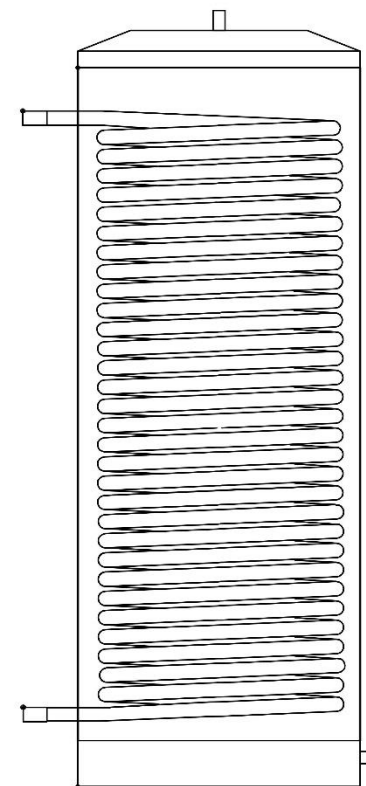
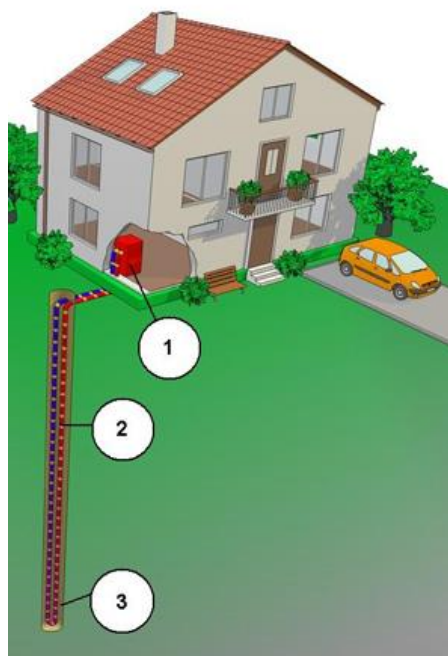
# SIMULACE PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY

Akumulační nádoba na teplou vodu

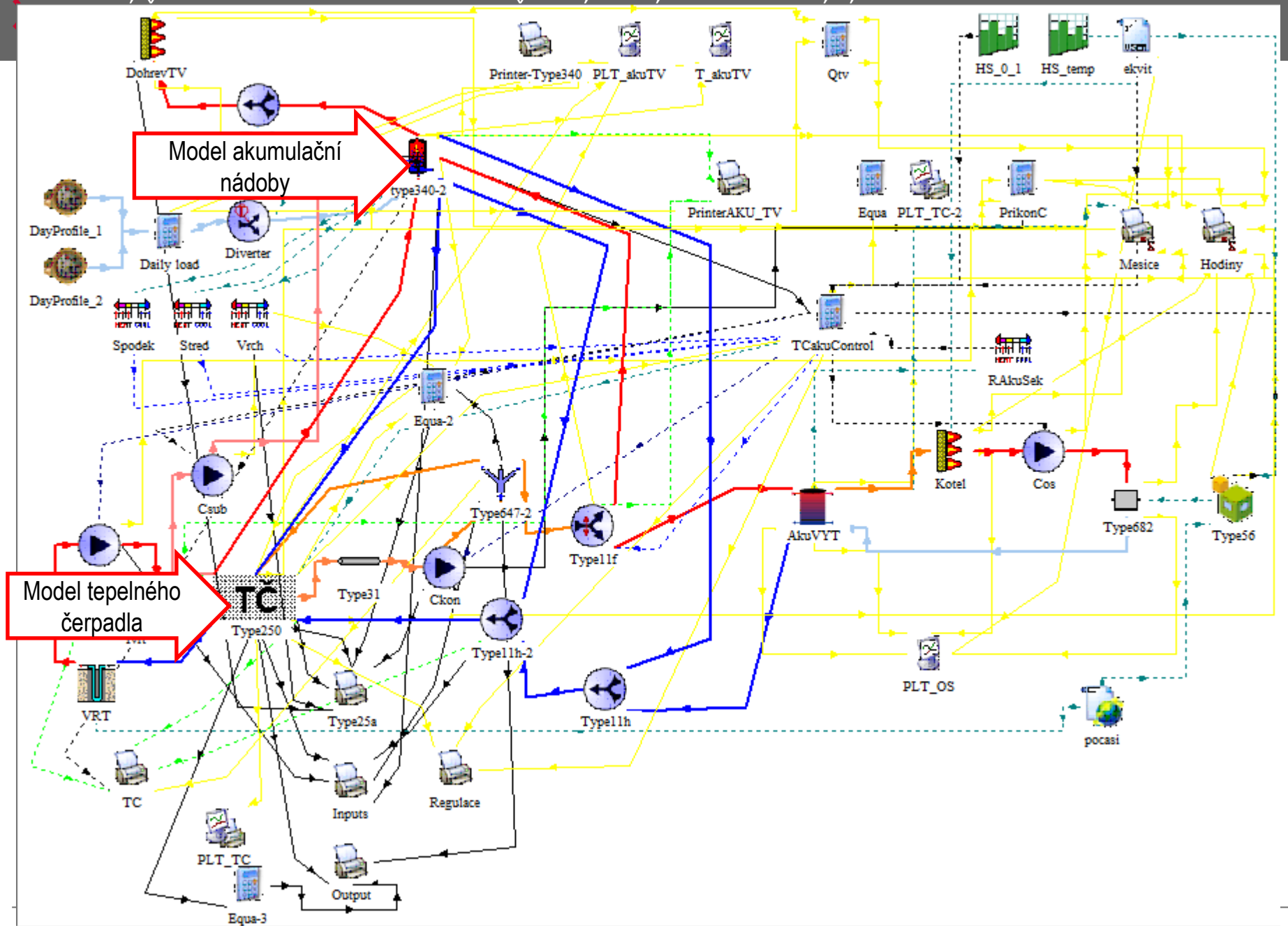
- Objem 300 l
- Vnitřní trubkový výměník tepla
- Výška nádoby 1,6 m
- Izolace 10 cm polystyrénu

Zemní vrt

- Hloubka 110 m
- navržen podle ČSN EN 15 450

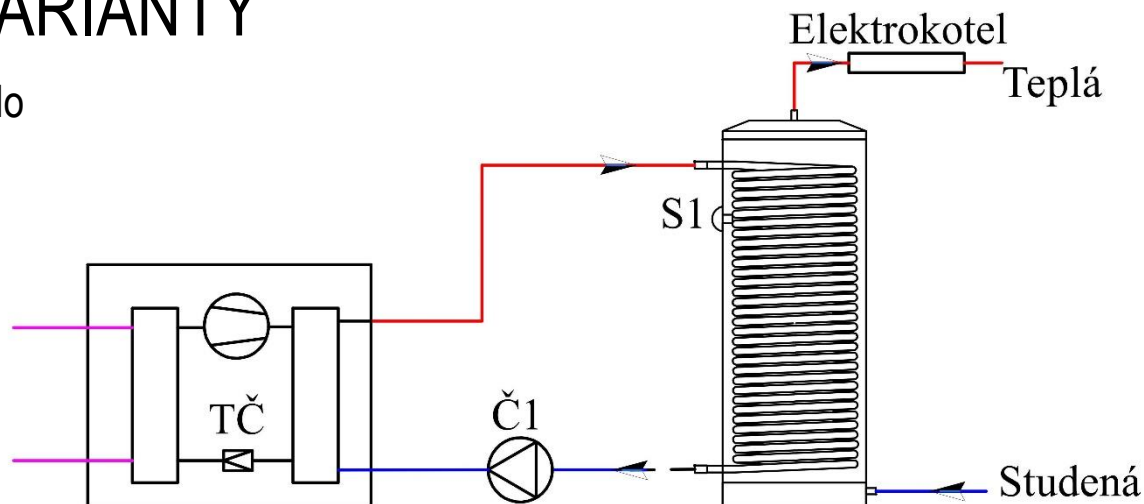


Zdroj: [www.energetickyporadce.cz](http://www.energetickyporadce.cz)

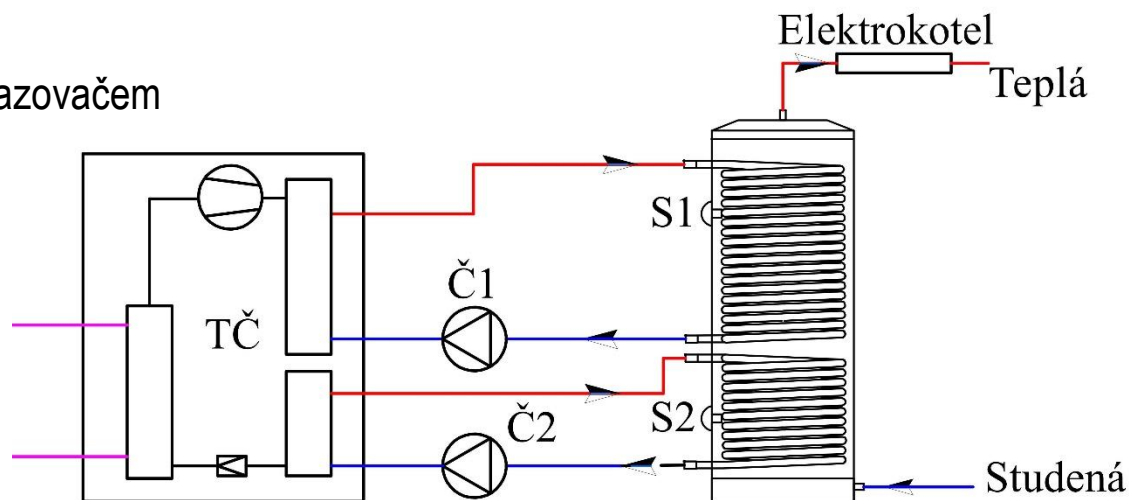


# POROVNÁVANÉ VARIANTY

- Standardní tepelné čerpadlo

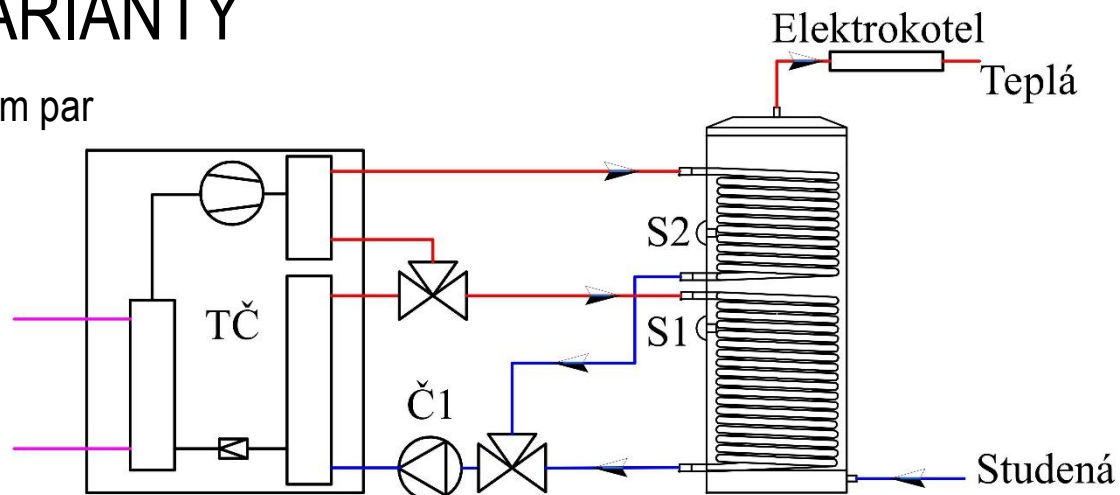


- Tepelné čerpadlo s dochlazovačem

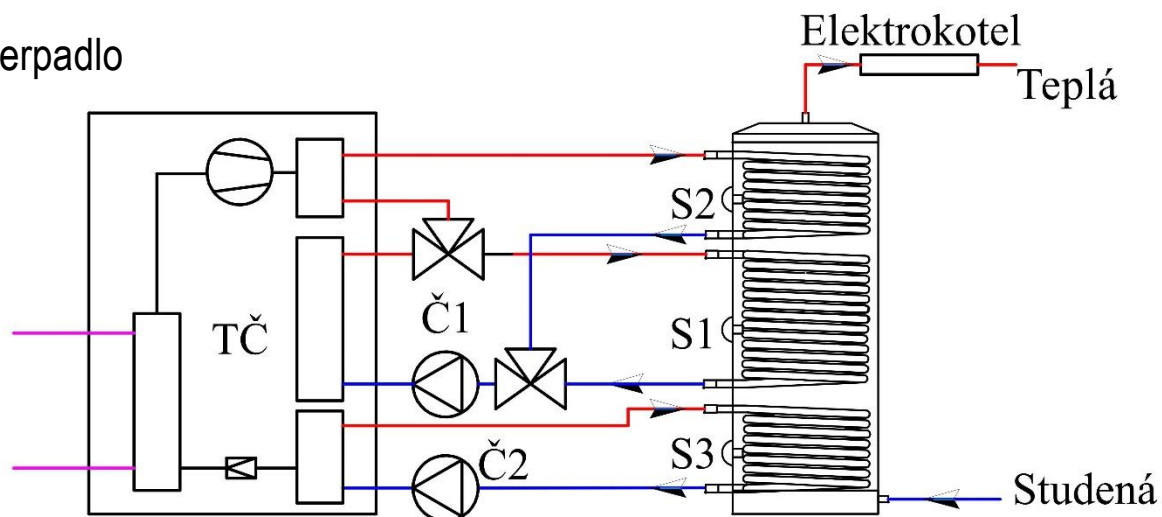


# POROVNÁVANÉ VARIANTY

- Tepelné čerpadlo s chladičem par



- Více-výměníkové tepelné čerpadlo



# VÝSLEDKY SIMULACÍ

- Standardní tepelné čerpadlo

<i>Standardní tepelné čerpadlo - Referenční simulace</i>		<i>Příprava teplé vody</i>	
Vytápění		0	kWh
Příprava teplé vody		2897	kWh
Celková potřeba tepla		2897	kWh
Tepelná ztráta aku. nádoby	Teplá voda	254	kWh
	Vytápění	0	kWh
Tepelné čerpadlo	Teplo kond.	3151	kWh
	Pohon kompresoru	987	kWh
	Průměrný topný faktor	3,24	-
Spotřeba oběhových čerpadel		8	kWh
<b>SPF</b>		<b>2,94</b>	-

- Tepelné čerpadlo chladičem par

<i>Tepelné čerpadlo s chladičem par</i>		<i>Příprava teplé vody</i>	
Vytápění		0	kWh
Příprava teplé vody		2897	kWh
Celková potřeba tepla		2897	kWh
Tepelná ztráta akumulční nádoby	Teplá voda	247	kWh
	Vytápění	0	kWh
Tepelné čerpadlo	Teplo kond.	2459	kWh
	Teplo chladič. p.	686	kWh
	Spotřeba el. en.	841	kWh
	Průměrné COP	3,75	-
Spotřeba oběhových čerpadel		8	kWh
<b>SPF</b>		<b>3,41</b>	-

# VÝSLEDKY SIMULACÍ

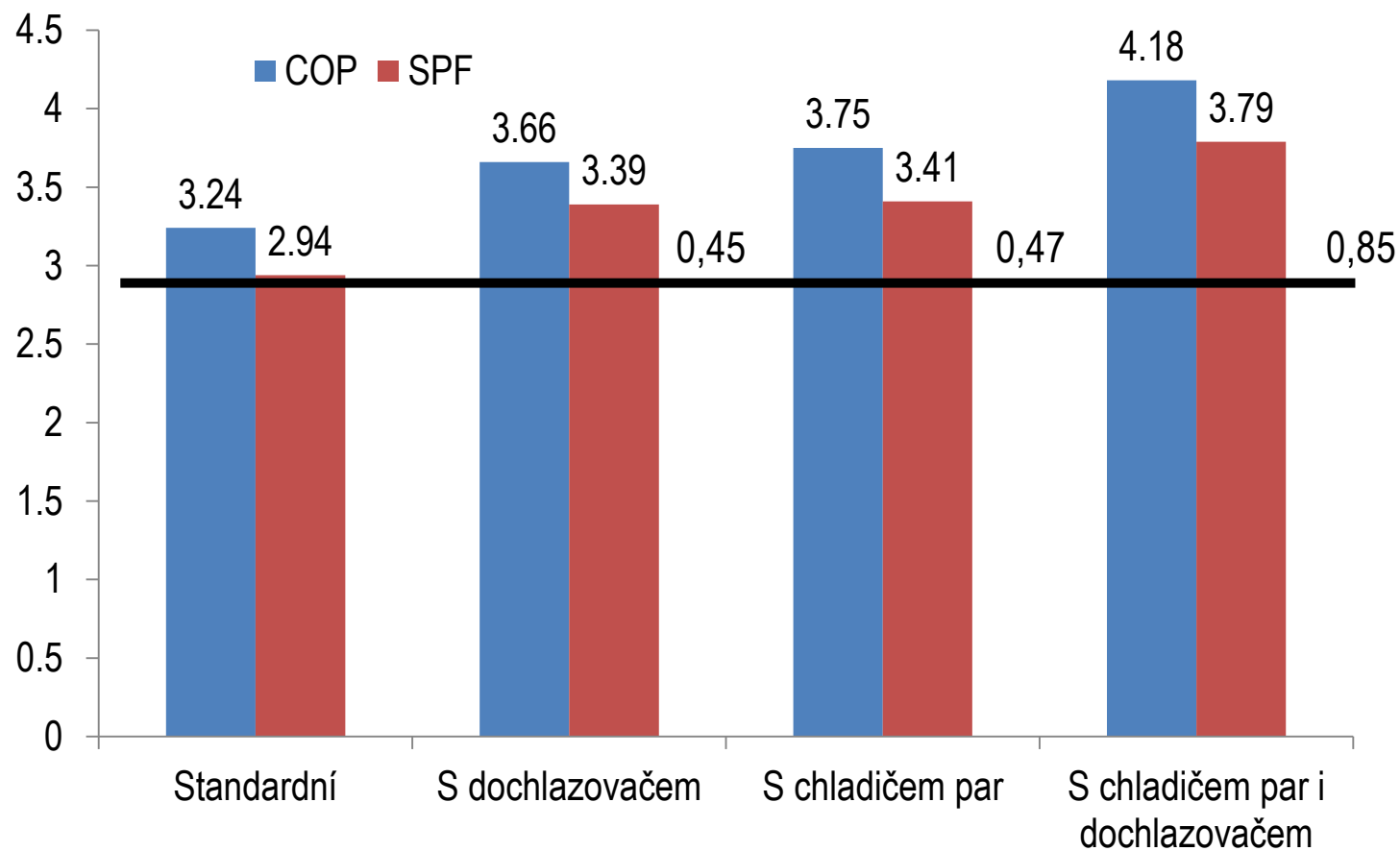
- Standardní tepelné s dochlazovačem

Tepelné čerpadlo s dochlazovačem		Příprava teplé vody	
Vytápění		0	kWh
Příprava teplé vody		2897	kWh
Celková potřeba tepla		2897	kWh
Tepelná ztráta aku. nádoby	Teplá voda	186	kWh
	Vytápění	0	kWh
Tepelné čerpadlo	Teplo kon.	2680	kWh
	Teplo doch.	403	kWh
	Příkon kompresoru	843	kWh
	Průměrné COP	3,66	-
	Spotřeba oběhových čerpadel	11	kWh
<b>SPF</b>		<b>3,39</b>	-

- Více-výměníkové tepelné čerpadlo

Tří-výměníkové tepelné čerpadlo		Příprava teplé vody	
Vytápění		0	kWh
Příprava teplé vody		2897	kWh
Celková spotřeba tepla		2897	kWh
Tepelná ztráta akumulční nádoby	Teplá voda	168	kWh
	Vytápění	0	kWh
Tepelné čerpadlo	Kondenzátor	1830	kWh
	Dochlazovač	594	kWh
	Chladič par	642	kWh
	Spotřeba el. en.	748	kWh
	Průměrné COP	4,18	-
Spotřeba oběhových čerpadel		10	kWh
<b>SPF</b>		<b>3,79</b>	-

# GRAFICKÉ POROVNÁNÍ PRO PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY





## ZÁVĚR

- Byl ověřen model tepelného čerpadla
- Model dokázal predikovat reálné chování s dostatečnou přesností ve všech provozních stavech
- Model lze použít pro zjištění reálného provozního chování tepelných čerpadel
  - Konstrukční optimalizace
  - Modelování tepelného čerpadla v simulacích
- Model byl použit v simulace přípravy tepla a vytápění rodinného domu
- Tepelné čerpadlo s odvodem tepla na třech úrovních má potenciál snížit spotřebu elektrické energie především v systému přípravy teplé vody
- Přínosy jednotlivých variant proti standardnímu tepelnému čerpadlu

Varianta	Příprava teplé vody	
	COP	SPF
Dochlazovač	13%	15%
Chladič par	16%	16%
Více-výměníkové TČ	<b>29%</b>	<b>29%</b>

Děkuji za  
pozornost



[Jan.sedlar@cvut.cz](mailto:Jan.sedlar@cvut.cz)