

## **Technické normalizační informace**

**TNI 73 0302 (revize 2014) – solární soustavy**

**TNI 73 0351 (nová 2014) – tepelná čerpadla**

Tomáš Matuška

RP2 – Energetické systémy budov

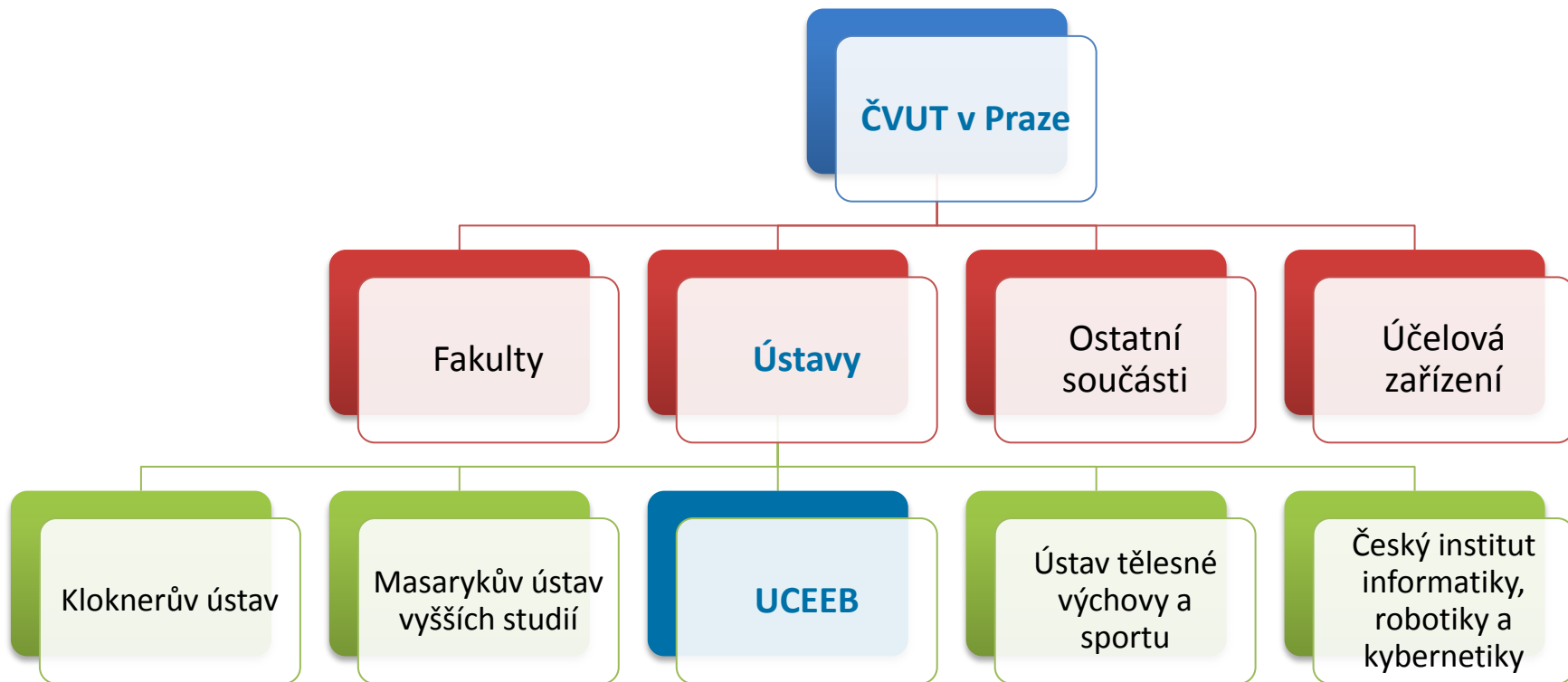
Univerzitní centrum energeticky efektivních budov

ČVUT v Praze

# ) UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV



- **nový výzkumný ústav ČVUT** s důrazem na mezioborové propojení v oblasti výstavby budov
- zapojené fakulty:
  - fakulta stavební
  - fakulta strojní
  - fakulta elektrotechnická
  - fakulta biomedicínského inženýrství
  - fakulta architektury



## Energetické systémy budov



## Architektura a interakce budov se životním prostředím



## Kvalita vnitřního prostředí



## Materiály a konstrukce budov



## Monitorování, diagnostika a inteligentní řízení

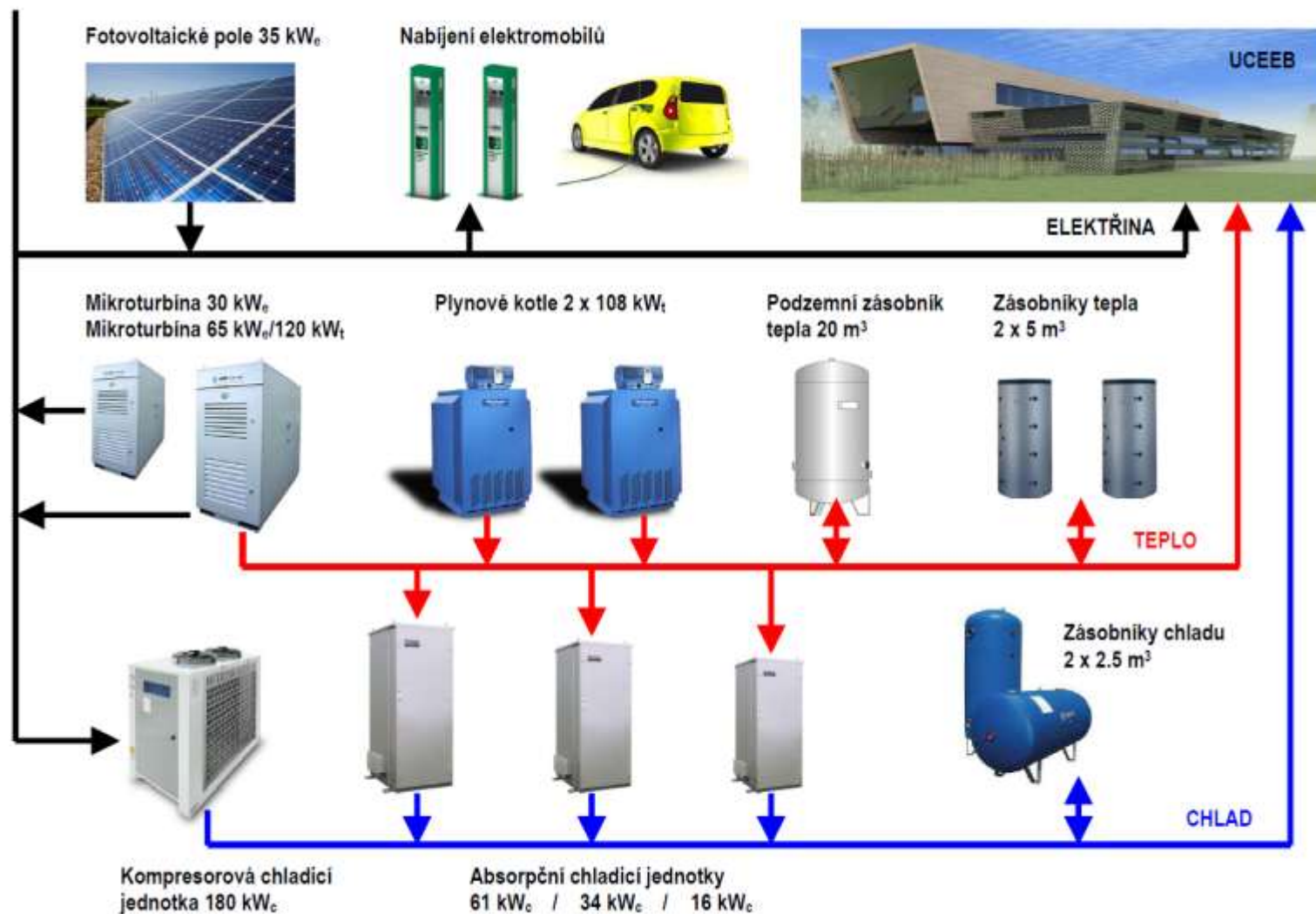


- **RP1 - Architektura a interakce budov se životním prostředím**  
prof. Petr Hájek
- **RP2 - Energetické systémy budov**  
doc. Tomáš Matuška
- **RP3 - Kvalita vnitřního prostředí**  
prof. Karel Kabele
- **RP4 - Materiály a konstrukce budov**  
doc. Petr Kuklík
- **RP5 - Monitorování, diagnostika a inteligentní řízení**  
dr. Jan Včelák
- **ředitel doc. Lukáš Ferkl**
- obchodní oddělení, oddělení komercializace, PR, VaV, personální, mzdové, ...

- solární laboratoř se simulátor slunečního záření – testování kolektorů
- laboratoř tepelných čerpadel se zkušebním dvojboxem
- laboratoř vývoje ORC zařízení s mikroturbínou
- klimatická dvojkomora pro testování konstrukčních dílců 3 x 3 m
- akustická laboratoř, požární laboratoř
- testovací kabina vnitřního prostředí + model člověka
- testovací stoličky pro VZT jednotky
- 3D skener, 3D tiskárna a výrobní centrum
- elektrospinnery pro výrobu nanovláken
- elektronový rastrovací mikroskop

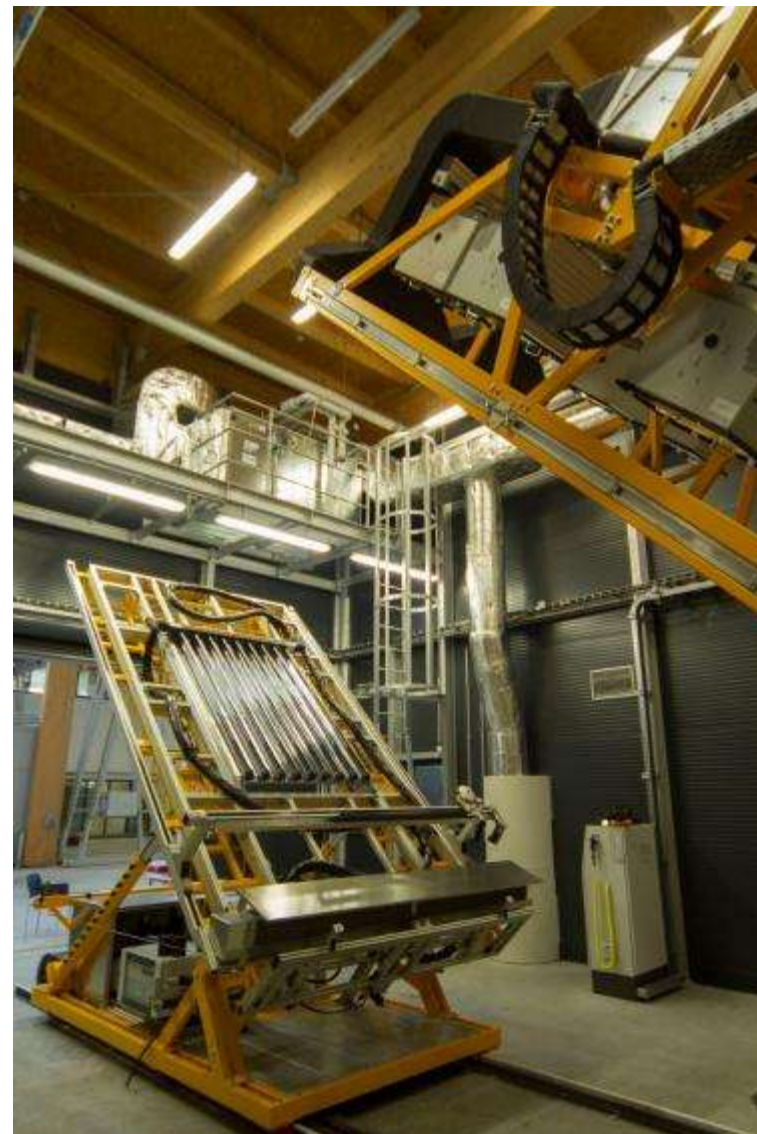
# UCEEB JAKO LABORATOŘ

NADŘAZENÁ SÍŤ





## ) AKTUÁLNĚ: TESTOVACÍ OKRUH SE SOLÁRNÍM SIMULÁTOREM



## **Technické normalizační informace**

**TNI 73 0302 (revize 2014) – solární soustavy**

**TNI 73 0351 (nová 2014) – tepelná čerpadla**

- **TNI 73 0302 - Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup**
  - měsíční bilance tepelných zisků solárních kolektorů využitých pro krytí potřeby tepla
  - stanovení měrných zisků  $q_{ss,u}$  [kWh/m<sup>2</sup>.rok], solárního pokrytí  $f$  [%]
  - příprava teplé vody, příprava teplé vody a vytápění, ohřev bazénové vody
- **TNI 73 0351 - Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup**
  - měsíční bilance potřeby elektrické energie na provoz soustavy s tepelným čerpadlem pro krytí potřeby tepla, **intervalová metoda**
  - stanovení sezónního topného faktoru soustavy **SPF**
  - příprava teplé vody, vytápění

- **Operační program Životní prostředí (2008-2009)**
  - podpora výpočtů v energetických auditech, vytvoření metodiky pro výpočet solárních soustav a soustav s tepelnými čerpadly
- **důvody:**
  - **solární soustavy:** výrazně nadhodnocené přínosy např. 95 % při 600 kWh/m<sup>2</sup>.rok
  - **tepelná čerpadla:** významně podhodnocená potřeba elektrické energie použití jmenovitých topných faktorů jako celoročních provozních
- **vypracování TNI 73 0302:2009**
  - TNK 43 Stavební tepelná technika
  - vypracování excelovské tabulky BILANCE SS

Microsoft Excel - BILANCE\_SS\_5\_0\_xls

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Nástroje Data Okno Nápověda

Arial CE 10 B I U % 000 0,00 0,00

plocha 1,9

Typ budovy	Typ spotřeby	$V_{TV,den,OS}$ [vos.den]
Obytné budovy	Nízký standard	10 - 20
	Střední standard	20 - 40
	Vysoký standard	40 - 80
	Nízké (letní) vytížení	$0.75 \times V_{TV}$
Nemocnice, domovy důchodců	Nízké (letní) vytížení	25 - 30
	Zbýlá část roku	30 - 60
Studentské domovy, koleje	Nízké (letní) vytížení	20 - 25
	Zbýlá část roku	25 - 50
Školy	Nízké (letní) vytížení	0
	Zbýlá část roku	5 - 10
Hostince, restaurace*	Nízký standard	5
	Střední standard	15
	Vysoký standard	30
Ubytovací zařízení**	Nízký standard	20
	Střední standard	35
	Vysoký standard	70
Sportovní zařízení***	Nízký standard	30
	Střední standard	60
	Vysoký standard	100

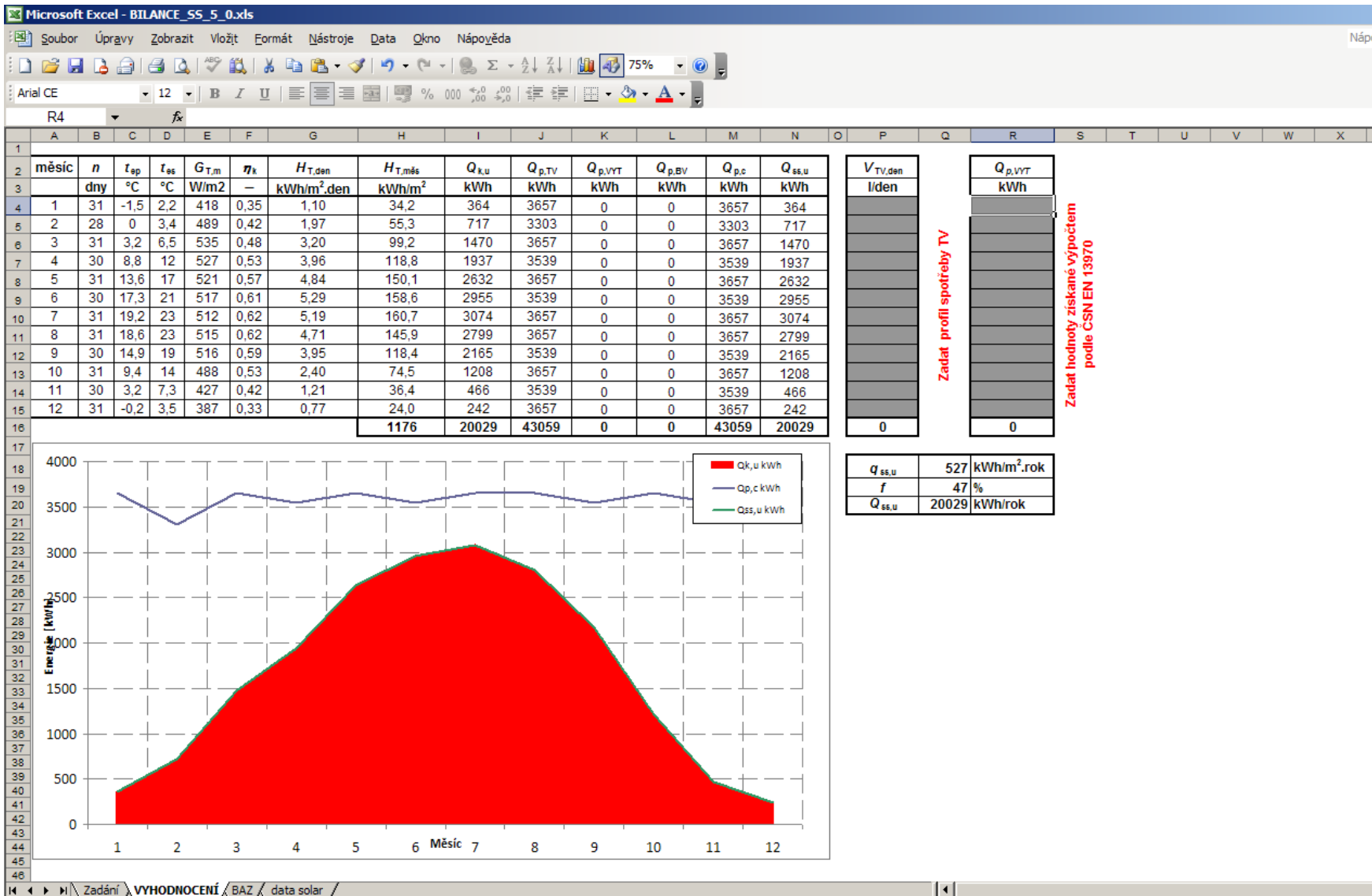
\* na jedno místo, \*\* na jedno lůžko, \*\*\* na jednu sprchu

Počet jednotek (osob, míst, lůžek, sprch ap.):	49	jednotek
Spotřeba na jednotku:	40	l/jedn.den
Je snižena spotřeba tepla v letních měsících u obytných budov	NE	
<b>Příprava teplé vody a vytápění</b>		
Denní spotřeba teplé vody $V_{TV,den}$ (15°C / 60°C)	1960	l/den
Studená voda $t_{sV}$	15	°C
Teplá voda $t_{TV}$	60	°C
Srážka z tepelných zisků kolektorů vlivem tep. ztrát $p$	0,1	Příprava teplé vody, od 10 do 50 m <sup>2</sup>
Přirážka na tep. ztráty při přípravě teplé vody $z$	0,15	Zásobníkový ohřev bez cirkulace
		přirážka CZT 2,1
<b>Vytápění objektu - použít data z výpočtu podle ČSN EN 13790</b>		
Tepelná ztráta domu $Q_z$	4,5	kW
Vnitřní výpočtová teplota $t_w$	20	°C
Venkovní výpočtová teplota $t_{ev}$	-12	°C
Předpokládaná energetická náročnost budovy (vytápění)	nízkoenergetický standard, vyhláškou doporučené tepelné vlastnosti konstrukcí	
Přirážka na tepelné ztráty otopné soustavy $v$	5	%
<b>bazény</b>		
Plocha vodní hladiny bazénu $A_b$		m <sup>2</sup>
Typ bazénu	Vnitřní - mimo doby provozu zakryvaný	
Teplota bazénové vody v době provozu $t_{w,p}$	28	°C
Teplota bazénové vody mimo dobu provozu $t_{w,n}$	24	°C
Teplota vzduchu v prostorech bazénu v době provozu $t_{v,p}$	30	°C
Teplota vzduchu v prostorech bazénu mimo provoz $t_{v,n}$	20	°C
Denní provozní doba bazénu $t_b$	12	h
Počet návštěvníků za měsíc	100	osob/měs
<b>Parametry solárních kolektorů</b>		
Optická účinnost $\eta_0$	0,78	-
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru $a_1$	4,5	W/m <sup>2</sup> .K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru $a_2$	0,008	W/m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup>
Počet kolektorů	20	ks
Plocha apertury solárního kolektoru $A_{k1}$	1,9	m <sup>2</sup>
Celková plocha apertury kolektorů	38	m <sup>2</sup>
Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	40	°C
Sklon kolektoru $\beta$	45	°
Azimut kolektoru $\gamma$ (jih = 0°)	0	°

Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %

Zadání VYHODNOCENÍ BAZ data solar

# BILANCE SS



- **Zelená úsporám 2010-2012**

- převzetí metodiky výpočtu solárních soustav TNI 73 0302 - zpočátku deformace metody, absence vstupních údajů
- upravená Bilance SS jako zjednodušená xls tabulka, výpočet pro posudek za 5 min
- kladná zpětná vazba od projektantů

- **Nová Zelená úsporám 2013, Nová Zelená úsporám 2014**

- TNI 73 0302 jako referenční metodika pro posuzování solárních soustav
- mimo rozsah metodiky: výpočet v simulačních programech (Polysun, T-SOL, GetSolar, TRNSYS)

- **Nová Zelená úsporám 2015**

- hodnocení soustav s tepelnými čerpadly
- požadavek na sezónní topný faktor *SPF*
- výrobci musí mít k dispozici nejen jmenovité parametry, ale parametry v celém provozním rozsahu (teploty do výparníku, teploty z kondenzátoru)



# Technická normalizační informace

## TNI 73 0302 (revize 2014) – solární soustavy

- **ČSN EN 15316-4-3 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy – Část 4-3: Výroba tepla, solární tepelné soustavy**
  - *f*-chart metoda (korelační metoda)
  - zjednodušeně vliv optické charakteristiky (modifikátor úhlu dopadu IAM)
  - vliv návrhu potrubí solárního okruhu (tepelné ztráty)
  - vliv velikosti zásobníku, vliv velikosti výměníku
- **nevýhody**
  - příliš detailní a složitá pro praktické použití
  - nesnadno pochopitelné veličiny, nutná znalost teorie
  - chybí klimatické údaje pro ČR

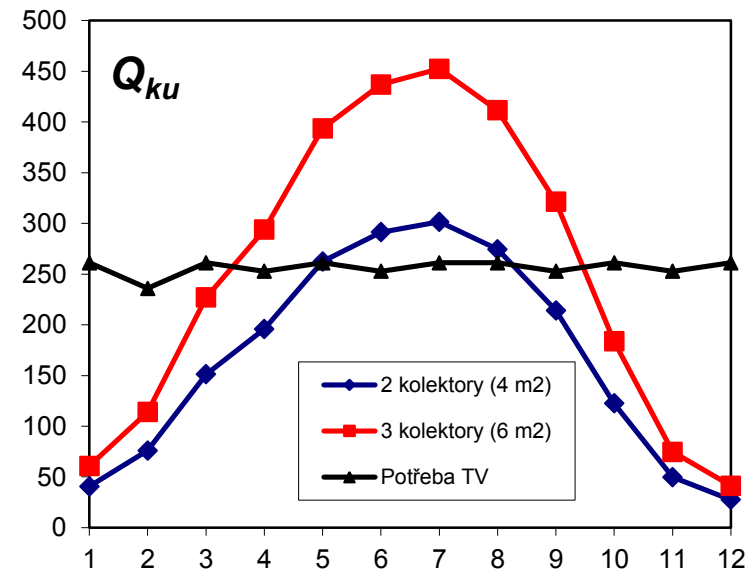
- **TNI 73 0302 - zjednodušení**

- bilanční metoda
- porovnávání využitelných zisků solární soustavy a potřeby tepla v jednotlivých měsících
- uvažování celoročně paušálních hodnot

teploty v kolektoru

srážky vlivem tepelných ztrát

optické charakteristiky



- **výpočet střední denní (měsíční) účinnosti kolektoru**

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}$$

- koeficienty  $\eta_0$ ,  $a_1$  a  $a_2$  od výrobce
- střední teplota v kolektorech  $t_{k,m}$  tabulky
- střední venkovní teplota v době svitu  $t_{e,s}$  tabulky, klimatické údaje
- střední sluneční ozáření  $G_{T,m}$  tabulky, klimatické údaje

- výpočet denního (měsíčního) využitelného zisku soustavy

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

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| – účinnost kolektorů $\eta_k$             | výpočet                   |
| – dopadající sluneční energie $H_{T,den}$ | tabulky, klimatické údaje |
| – plocha apertury kolektorů $A_k$         | od výrobce                |
| – srážka vlivem tepelných ztrát $p$       | tabulky                   |

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

- **klimatické údaje sjednocené s TNI 73 0331**

- **tabulky pro**

- střední denní teplotu v kolektorech
- srážku vlivem tepelných ztrát

**zrušeny a nahrazeny**

- **výpočtovými vztahy** na základě

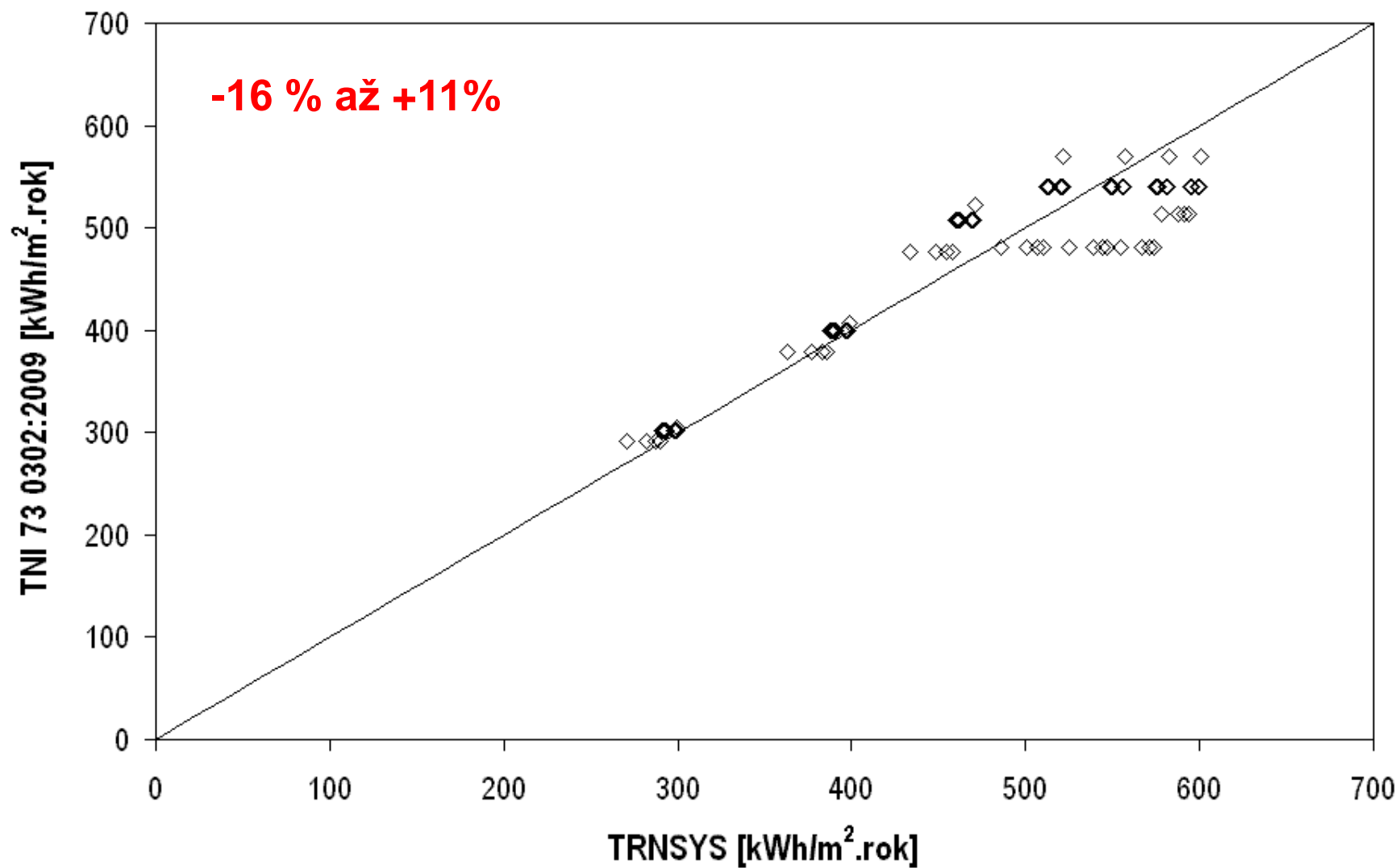
- plochy kolektorů  $A_k$
- poměru  $A_k / Q_p$
- teploty otopné vody  $t_{w1}$

$$t_{k,m} = 25 + 11000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}}$$

$$p = \frac{0.26}{A_k} + 100 \frac{A_k}{Q_{p,c}}$$

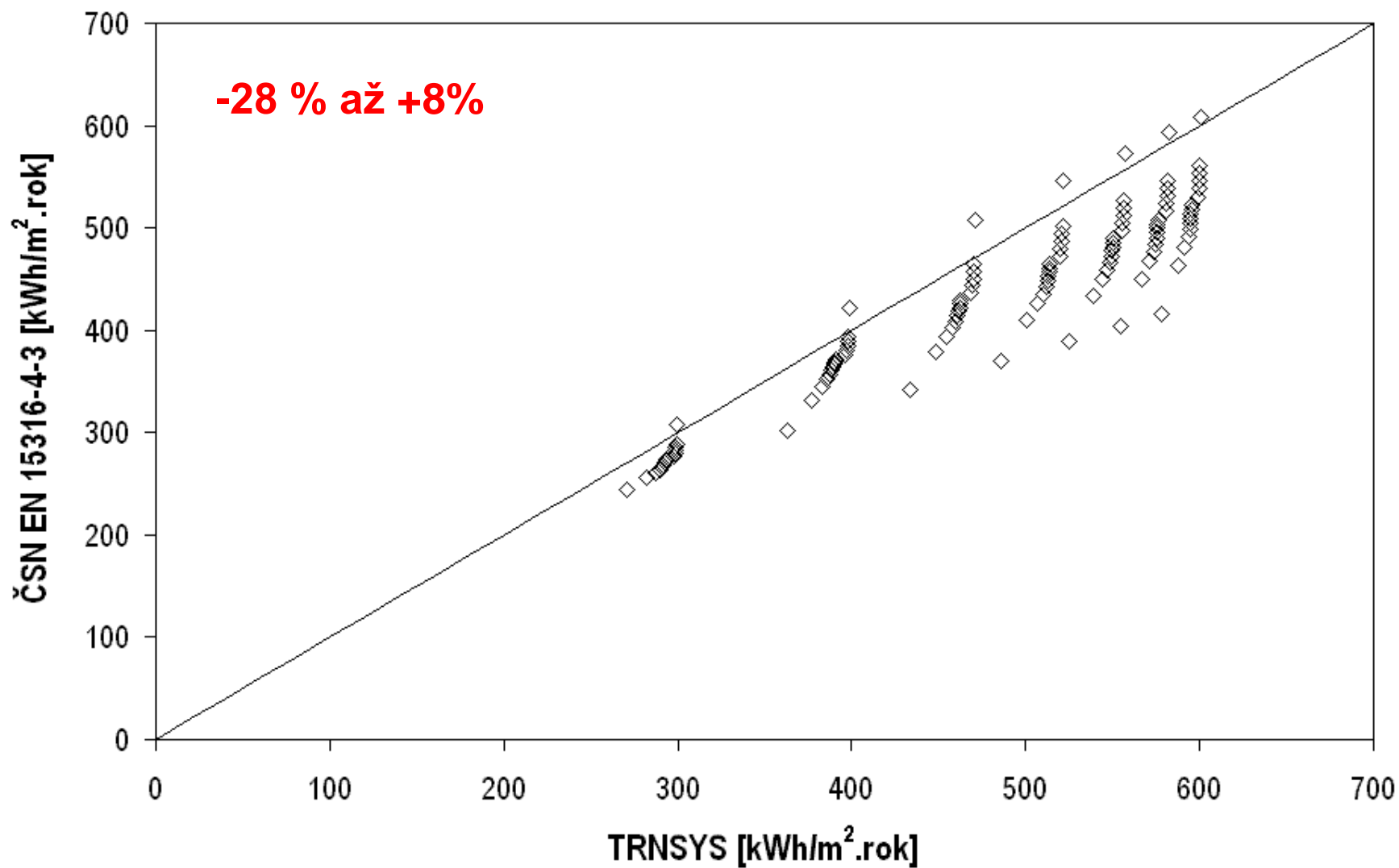
- **porovnání s jinými metodami výpočtu**
  - se stejnými klimatickými údaji, solárními kolektory, potřebou tepla
  - definovanými potrubími solárního okruhu, zásobníků tepla, výměníky, atd.
- **porovnání s počítačovou simulací solárních soustav**
- **porovnání s metodou podle ČSN EN 15316-4-3**
  - cca 200 variant pro přípravu TV
  - cca 200 variant pro kombinaci s vytápěním

# ) TNI 73 0302:2009 vs POČÍTAČOVÁ SIMULACE

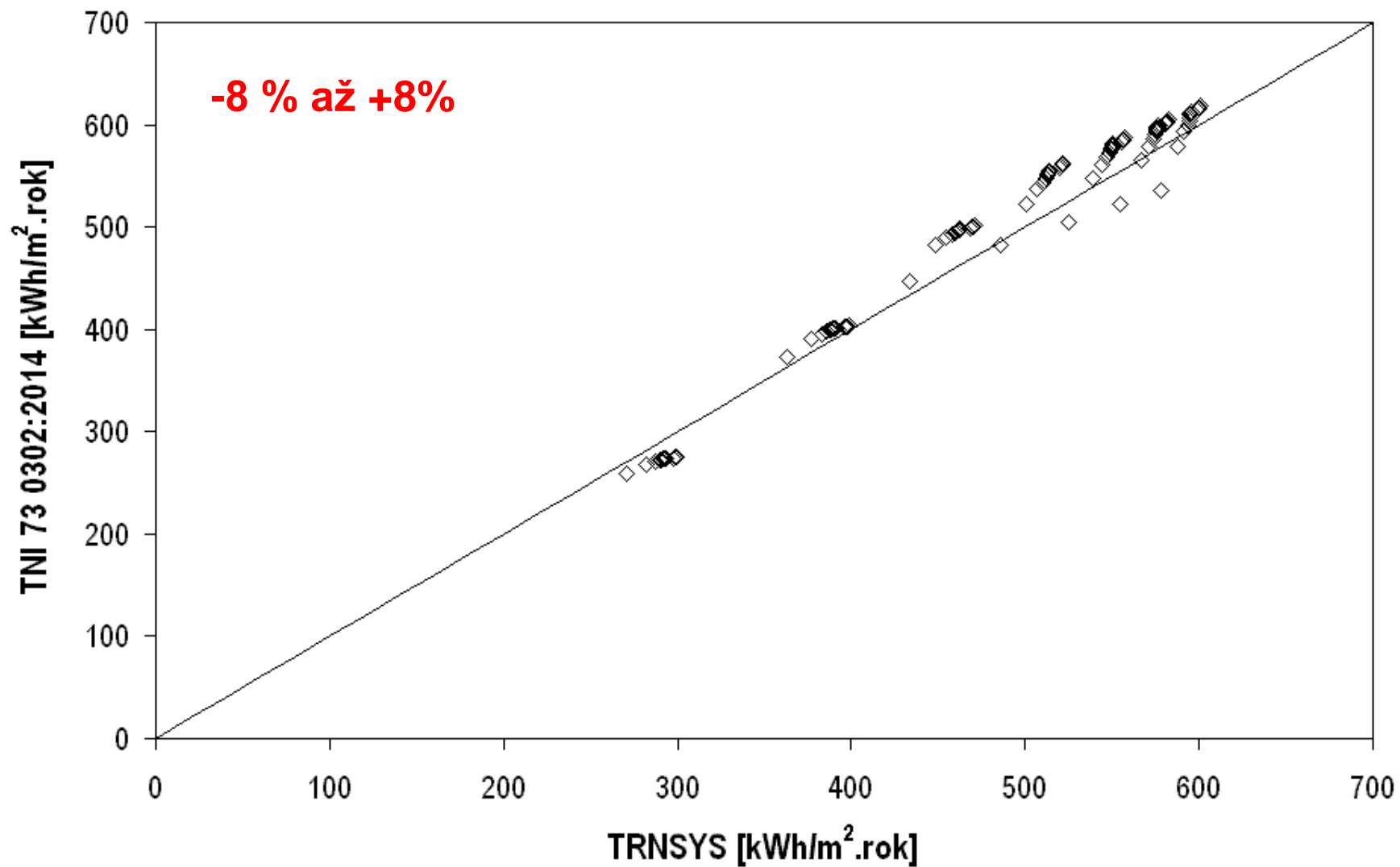




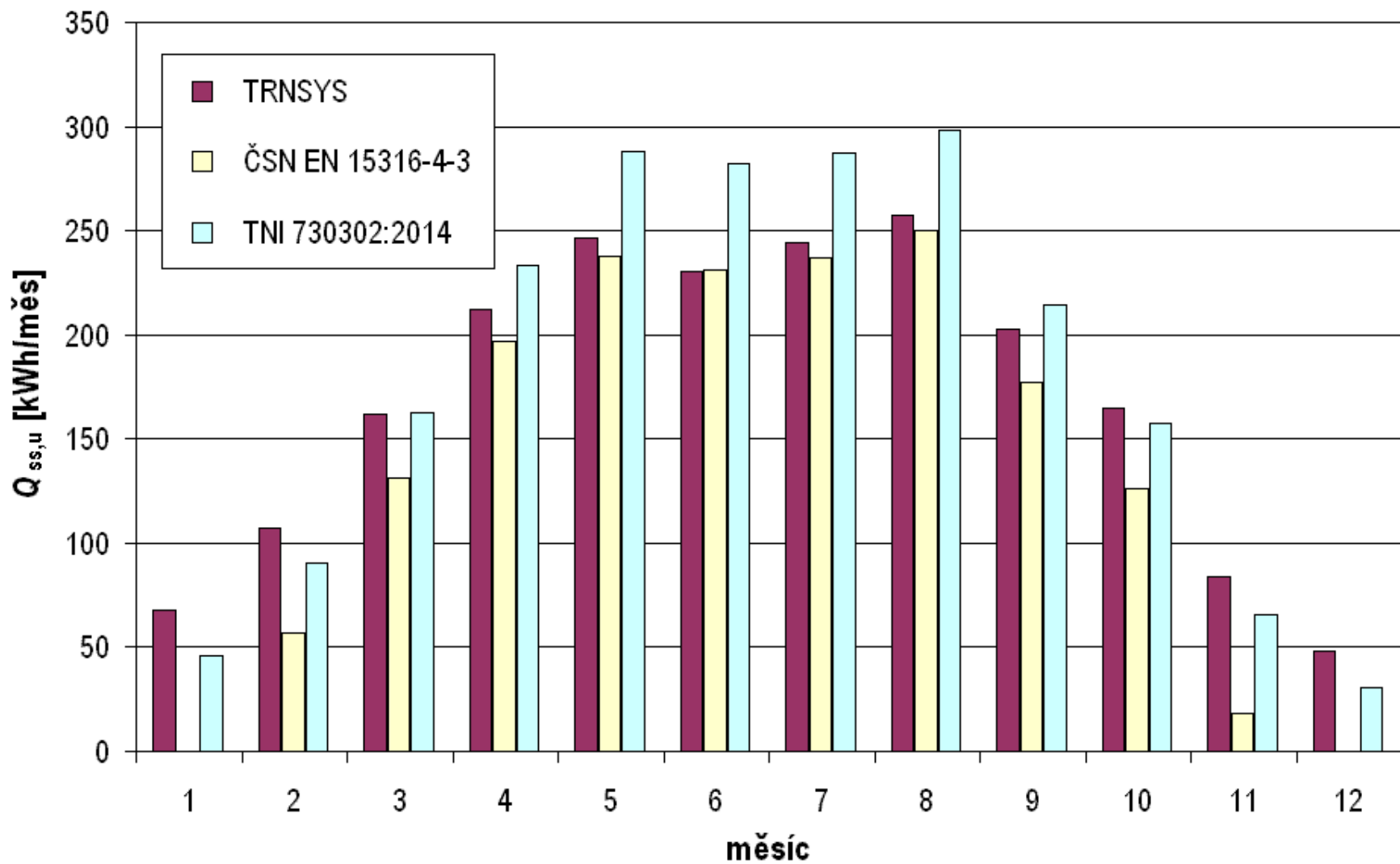
# ) ČSN EN 15316-4-3 vs POČÍTAČOVÁ SIMULACE



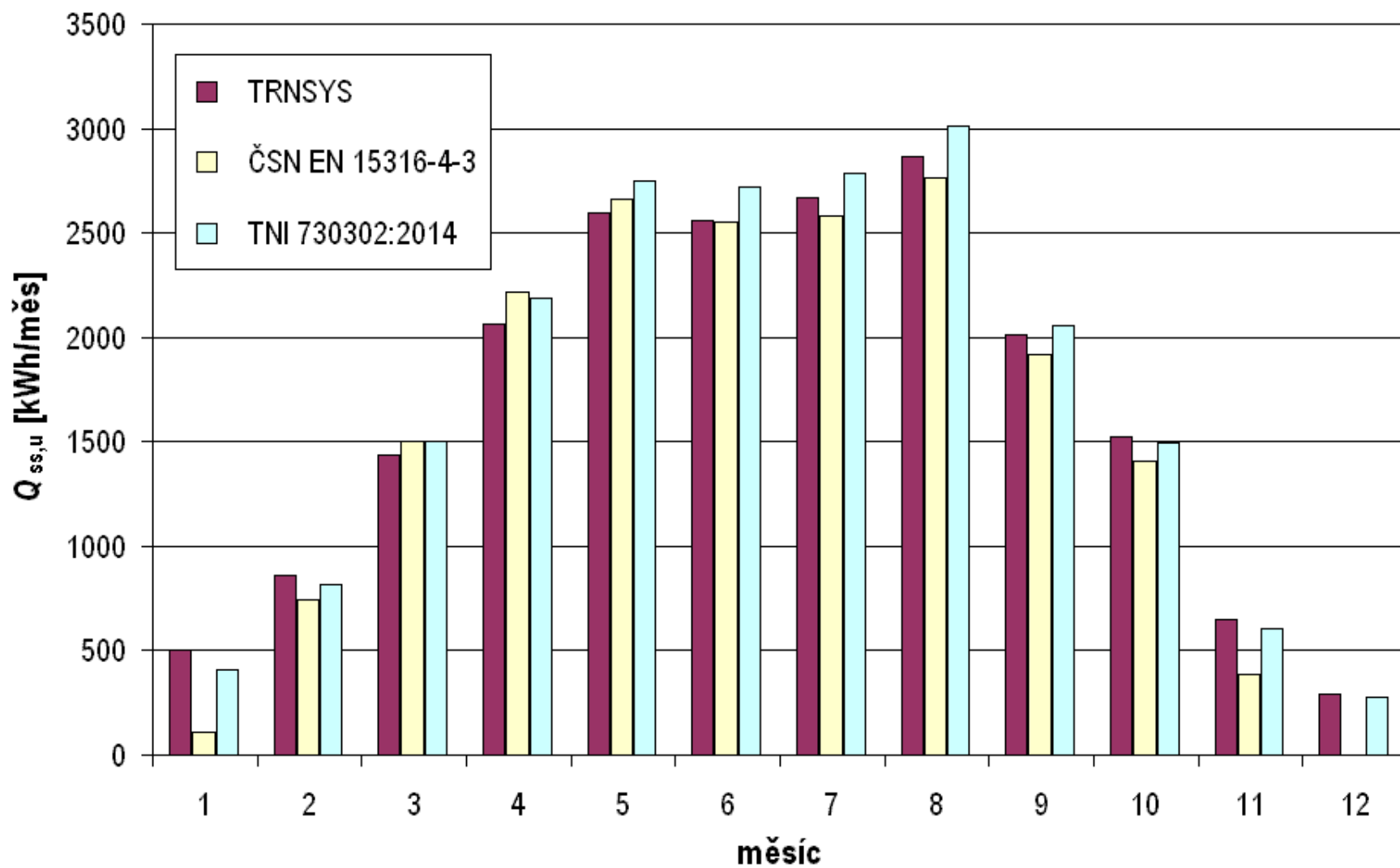
# ) TNI 73 0302:2014 vs POČÍTAČOVÁ SIMULACE

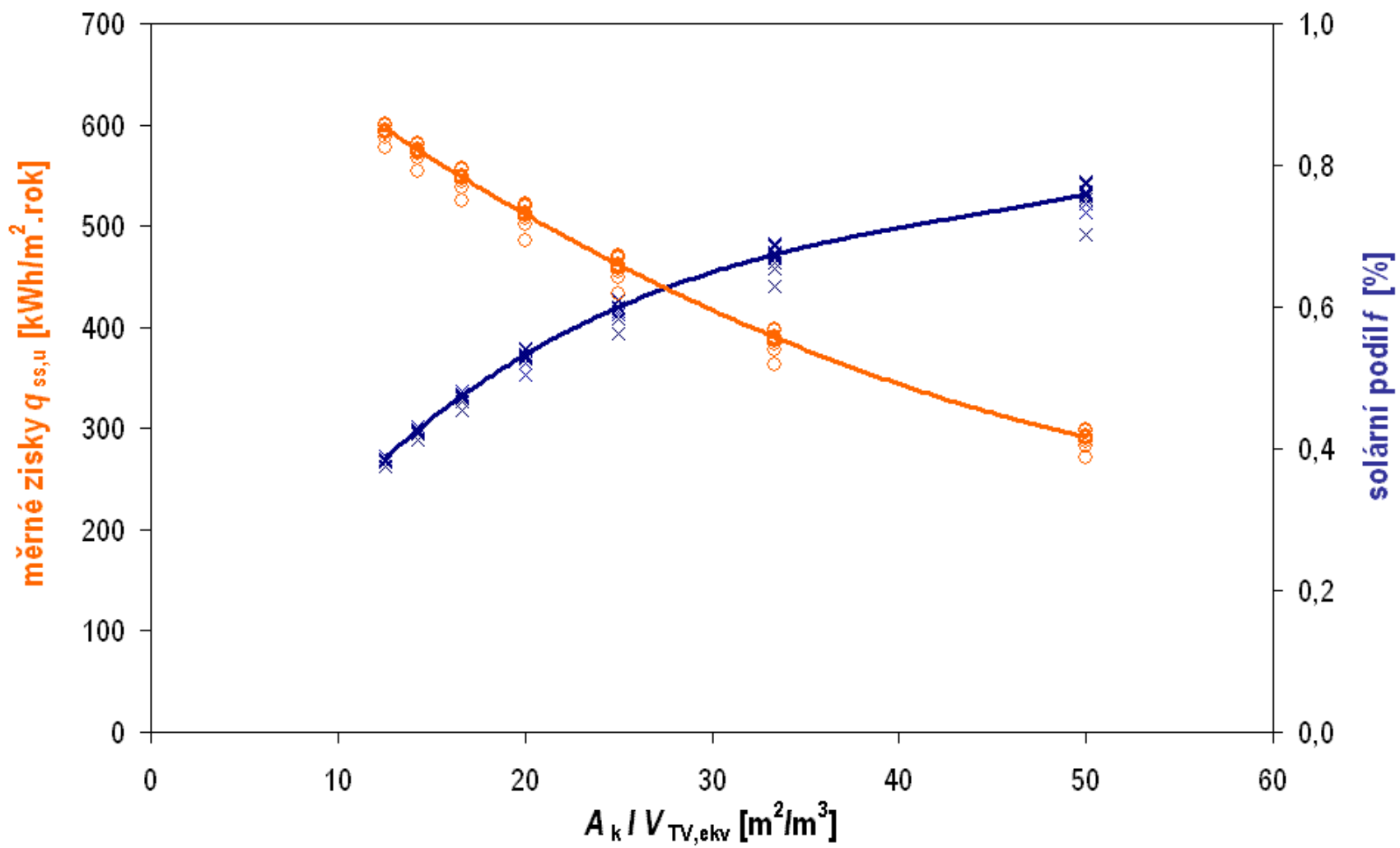


# ) POROVNÁNÍ – RODINNÝ DŮM



# ) POROVNÁNÍ – BYTOVÝ DŮM





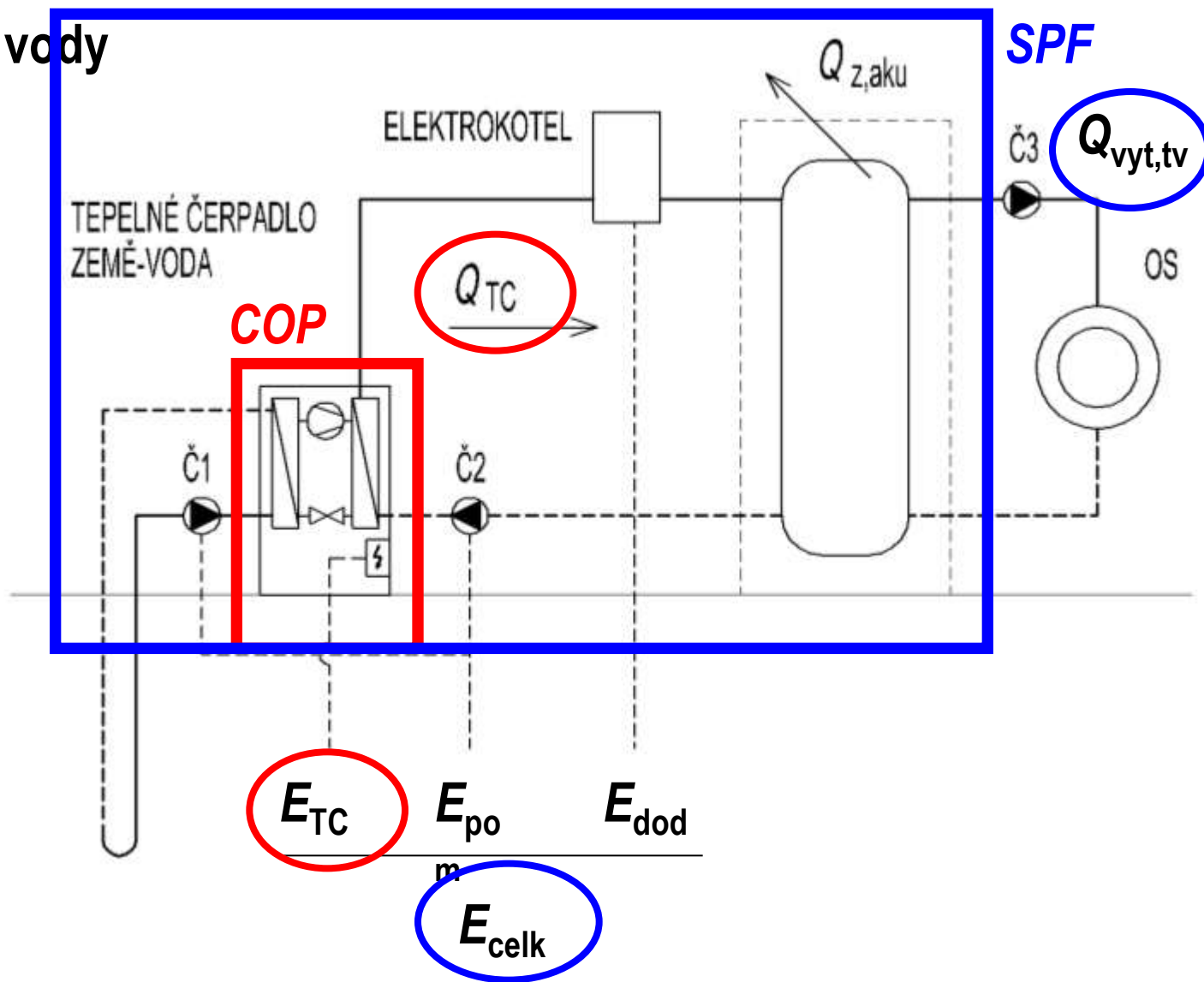
# Technická normalizační informace

## TNI 73 0351 (2014) – soustavy s tepelnými čerpadly

# HODNOCENÍ SOUSTAV S TEPELNÝMI ČERPADLY

příprava teplé vody

vytápění



$$COP = \frac{Q_{TČ}}{E_{TČ}}$$

$$SPF = \frac{Q_{vyt,tv}}{E_{celk}}$$

- **EU směrnice 2009/28/EC o podpoře využití energie z obnovitelných zdrojů**
  - soustavu s tepelným čerpadlem lze považovat za **OZE** pokud

$$SPF > 1,15 \frac{1}{\eta_e}$$

- průměr EU  $\eta_e = 40 \%$   **$SPF > 2,9$**



- **ČSN EN 15316-4-2 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla**
  - bin metoda (intervalová metoda) – využití četnosti teplot pro otopné období, celý rok, jednotlivé měsíce
  - korekce na částečné zatížení, korekce na změnu rozdílu teplot
  - vliv tepelných ztrát v soustavě, ztráty vlastním tepelným čerpadlem, ztráty akumulčních zásobníků
  - bilancování i plynových tepelných čerpadel
- **nevýhody**
  - příliš detailní a složitá pro praktické použití, 110 stran
  - chybí klimatické údaje pro ČR

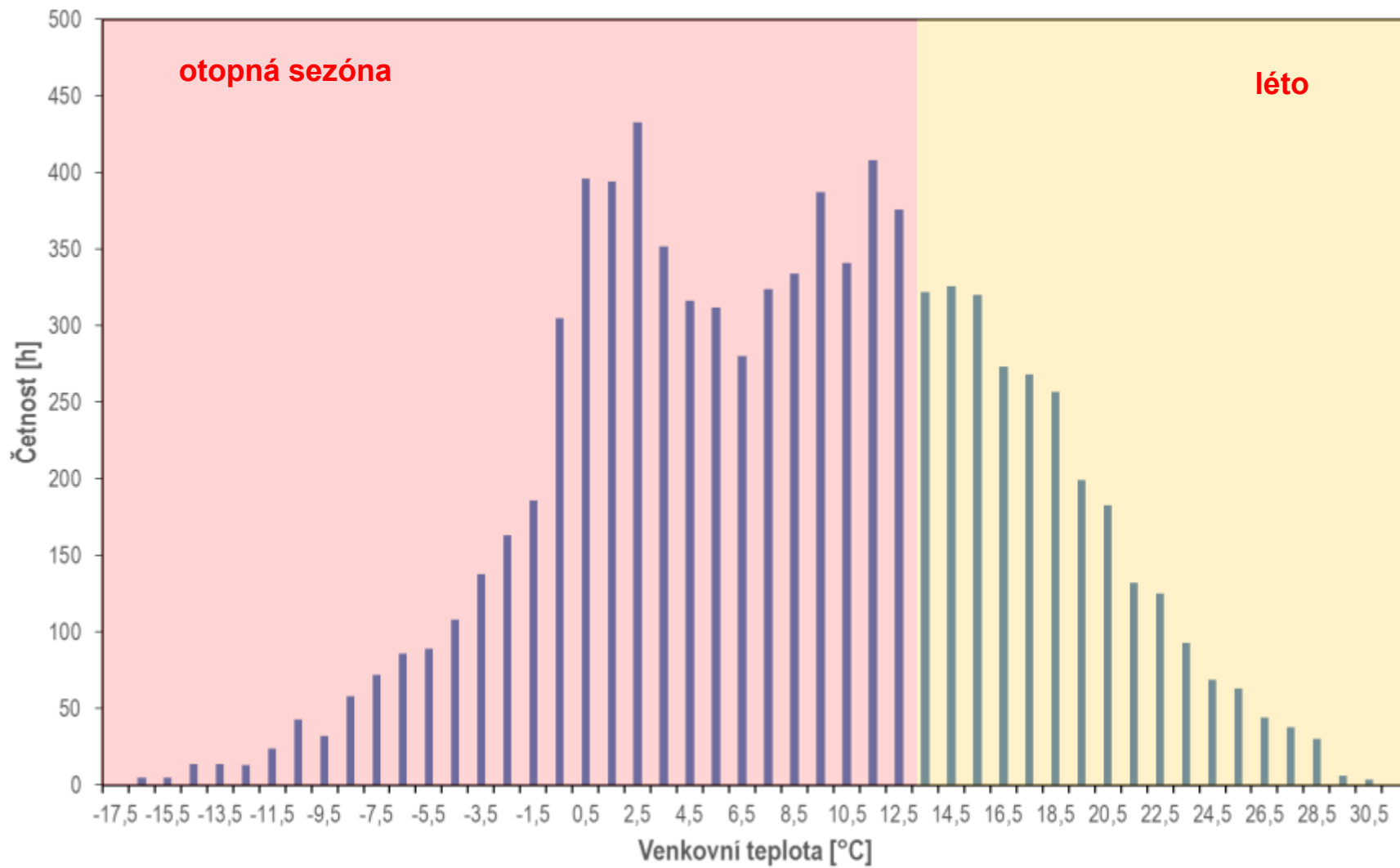
- **TNI 73 0351 - zjednodušení**

- intervalová metoda – využití četnosti teplot pro otopné období, celý rok, jednotlivé měsíce, údaje v souladu s TNI 73 0331
- nejčastější aplikace: priorita přípravy TV, tepelná čerpadla bilancována v provozu na plný výkon v kombinaci se zásobníkem
- nezohledňuje blokaci ve vysokém tarifu

- **přehledná metoda**

- 15 stran
- vyjasnění podstaty metody
- jiné (přirozené) značení veličin

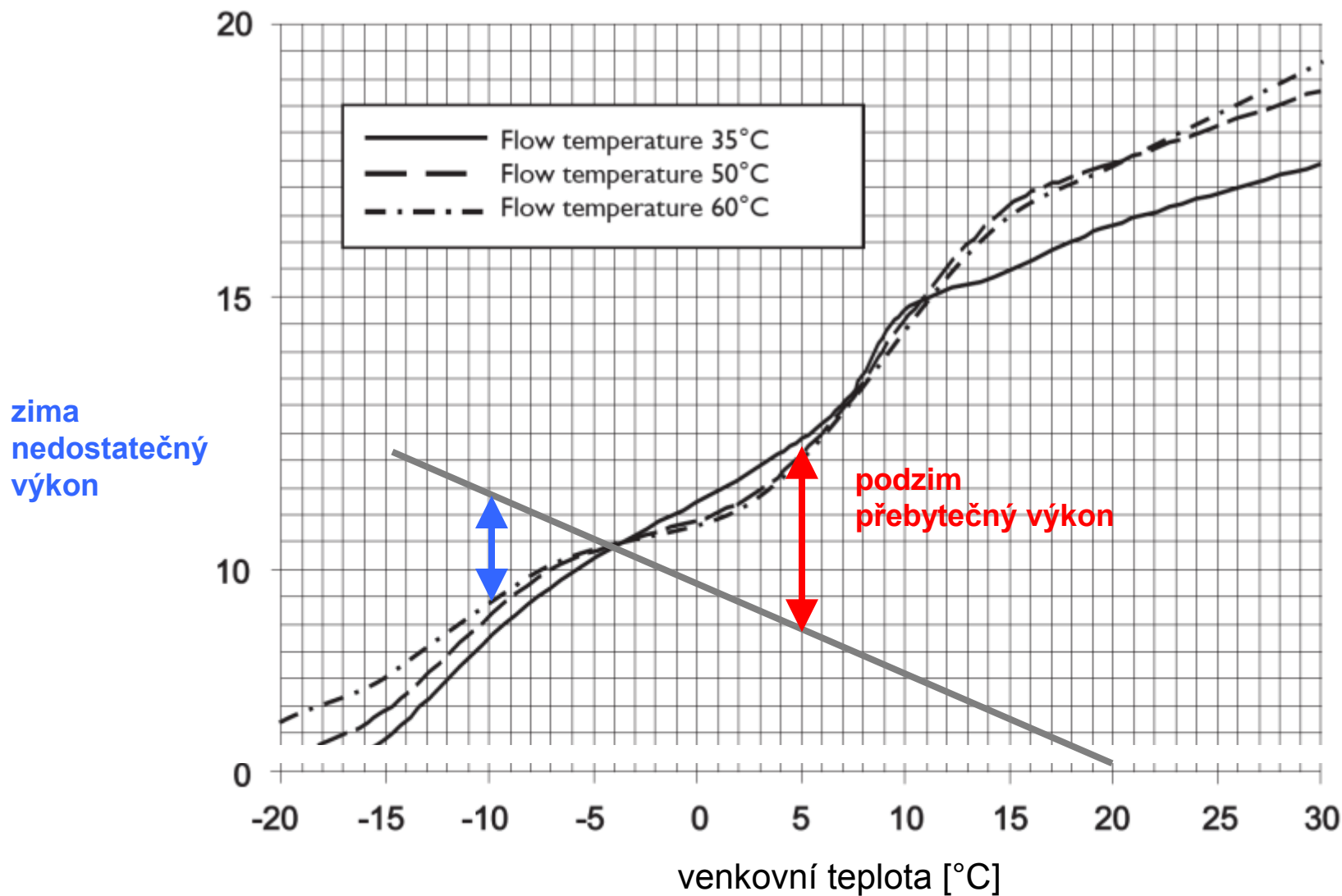
# ) KLIMATICKÉ ÚDAJE – ČETNOST TEPLOT



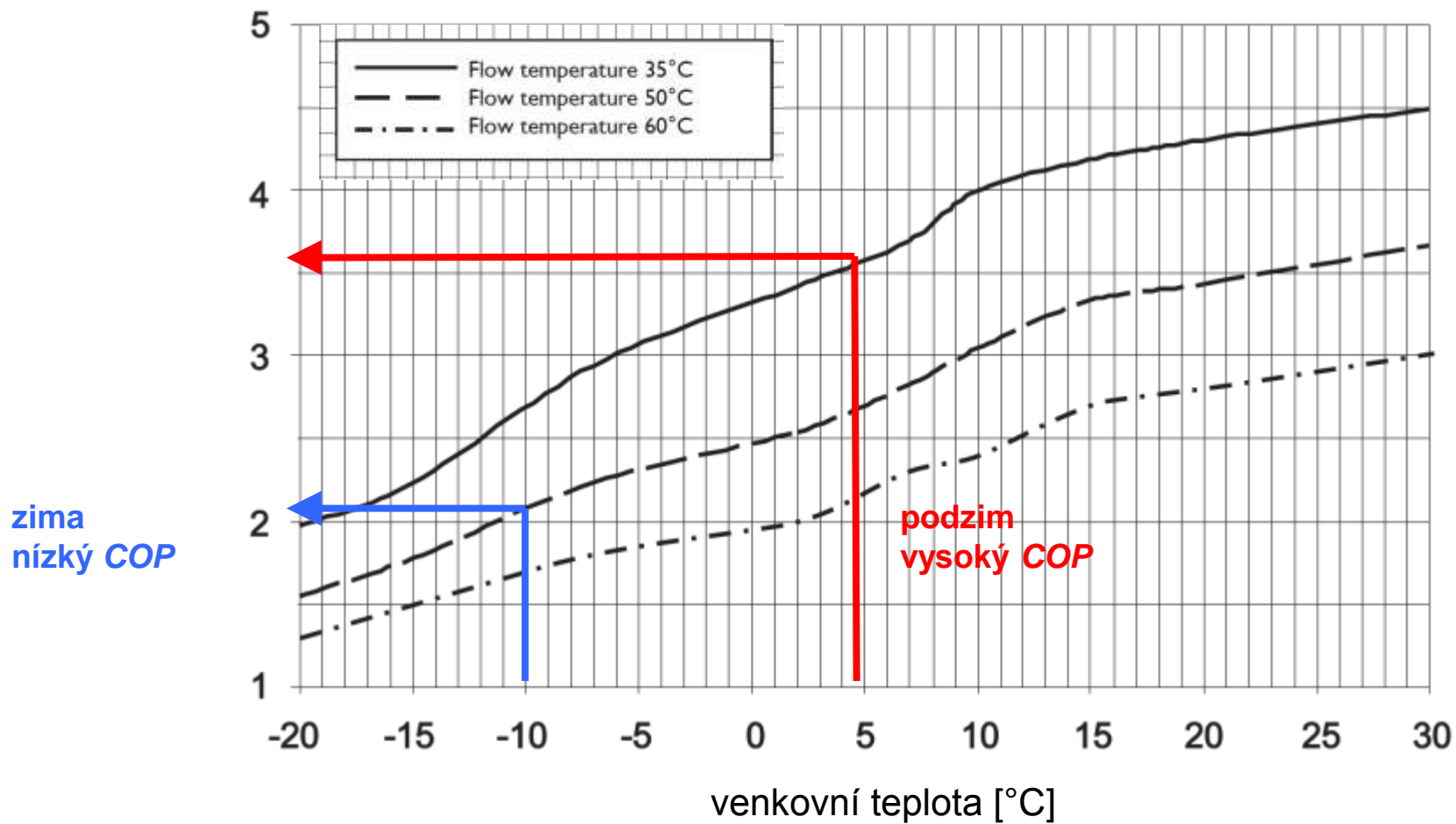
# ) KLIMATICKÉ ÚDAJE – TEPLOTNÍ INTERVALY

$t_{e,d,j}$	$t_{e,h,j}$	$t_{e,m,j}$	$\tau_j$	$\tau_{kum,j}$	DH <sub>20/13</sub>	DH <sub>20/13,kum</sub>	$f_{VYT}$	$f_{TV}$
°C	°C	°C	h	h	Kh	Kh	-	-
-18	-17	-17,5	0	0	0	0	0,000	0,000
-17	-16	-16,5	5	5	183	183	0,002	0,001
-16	-15	-15,5	5	10	178	360	0,002	0,001
-15	-14	-14,5	14	24	483	843	0,005	0,002
-14	-13	-13,5	14	38	469	1312	0,005	0,002
-13	-12	-12,5	13	51	423	1735	0,004	0,001
11	12	11,5	408	5632	3468	92996	0,036	0,047
12	13	12,5	376	6008	2820	95816	0,029	0,043
13	14	13,5	322	6330				0,037
14	15	14,5	326	6656				0,037
15	16	15,5	320	6976				0,037
16	17	16,5	273	7249				0,031
27	28	27,5	38	8720				0,004
28	29	28,5	30	8750				0,003
29	30	29,5	6	8756				0,001
30	31	30,5	4	8760				0,000
31	32	31,5	0	8760				0,000
			<b>8760</b>			<b>3992</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

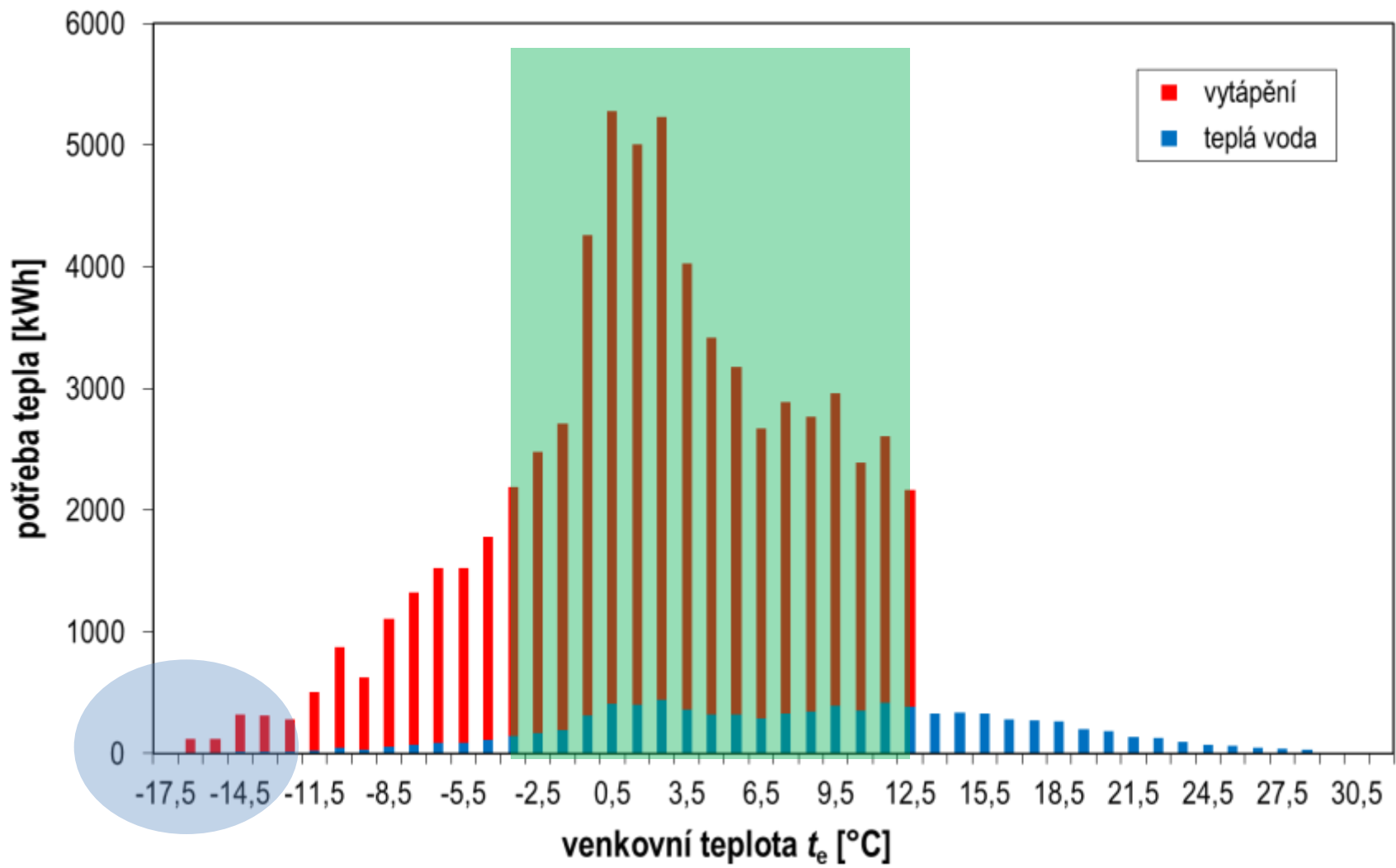
# ) ZMĚNA VÝKONU TEPELNÉHO ČERPADLA BĚHEM ROKU



# ) ZMĚNA COP TEPELNÉHO ČERPADLA BĚHEM ROKU



# ) POTŘEBA TEPLA SE ROZPOČÍTÁ DO INTERVALŮ



- **pro každý výpočtový (teplotní) interval**
  - definovaný střední venkovní teplotou a dobou trvání
- **se stanoví**
  - výkon TČ a dostupná energie z TČ (výkon \* doba trvání intervalu)
  - energie dodaná z TČ pro krytí potřeby tepla (minimum z dostupné a potřeby)
  - potřeba elektřiny pro TČ (dodaná / COP)
  - potřeba dodatkového tepla ze záložního zdroje (potřeba – dodaná)
  - provozní doba TČ (dodaná / výkon)
  - potřeba pomocné elektřiny (doba provozu \* příkon)



# ) CHARAKTERISTIKY TEPELNÉHO ČERPADLA

Topný výkon (kW), příkon (kW) a topný faktor  $\varepsilon$

teplota venkovního vzduchu	topný výkon při teplotě topné vody			příkon při teplotě topné vody			topný faktor při teplotě topné vody		
	35°C	50°C	60°C	35°C	50°C	60°C	35°C	50°C	60°C
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	$\varepsilon$	$\varepsilon$	$\varepsilon$
-20	4,5	4,7	4,8	2,1	2,7	3,2	2,2	1,8	1,5
-15	5,4	5,6	5,8	2,1	2,8	3,3	2,6	2	1,8
-7	6,6	6,8	7,1	2,2	2,9	3,5	3	2,4	2
+2	8,1	7,9	8	2,4	2,9	3,7	3,4	2,7	2,1
+7	9	8,6	8,6	2,3	3	3,5	4	2,9	2,5
+10	9,5	8,8	8,9	2,3	2,8	3,4	4,2	3,1	2,6
+15	11	10,7	10,1	2,5	3	3,5	4,5	3,5	2,9
+20	12,1	12	11,3	2,5	3,1	3,6	4,8	3,8	3,2
+30	13,7	14,2	13,6	2,7	3,3	3,8	5,1	4,4	3,5
+40	14	14,6	14,1	2,7	3,3	3,9	5,2	4,4	3,6

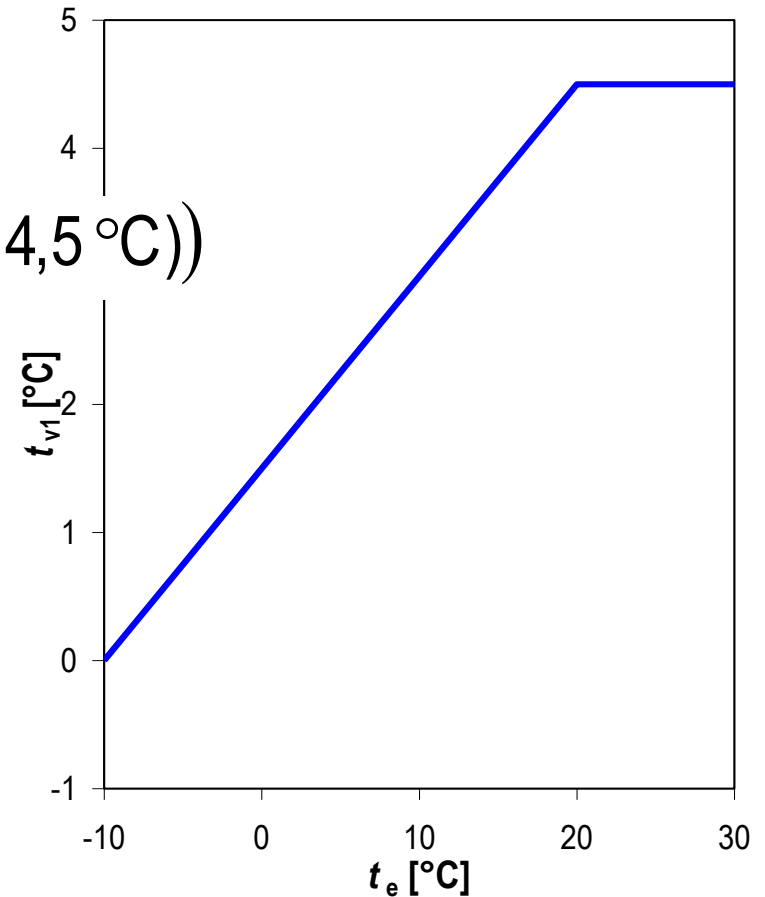
$$\dot{Q}_{T\check{C}} = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2}$$

$$COP = a + b \cdot t_{v1} + c \cdot t_{k2} + d \cdot t_{v1}^2 + e \cdot t_{k2}^2 + f \cdot t_{v1} \cdot t_{k2}$$

## ) TEPLOTA NA VSTUPU DO VÝPARNÍKU V INTERVALECH

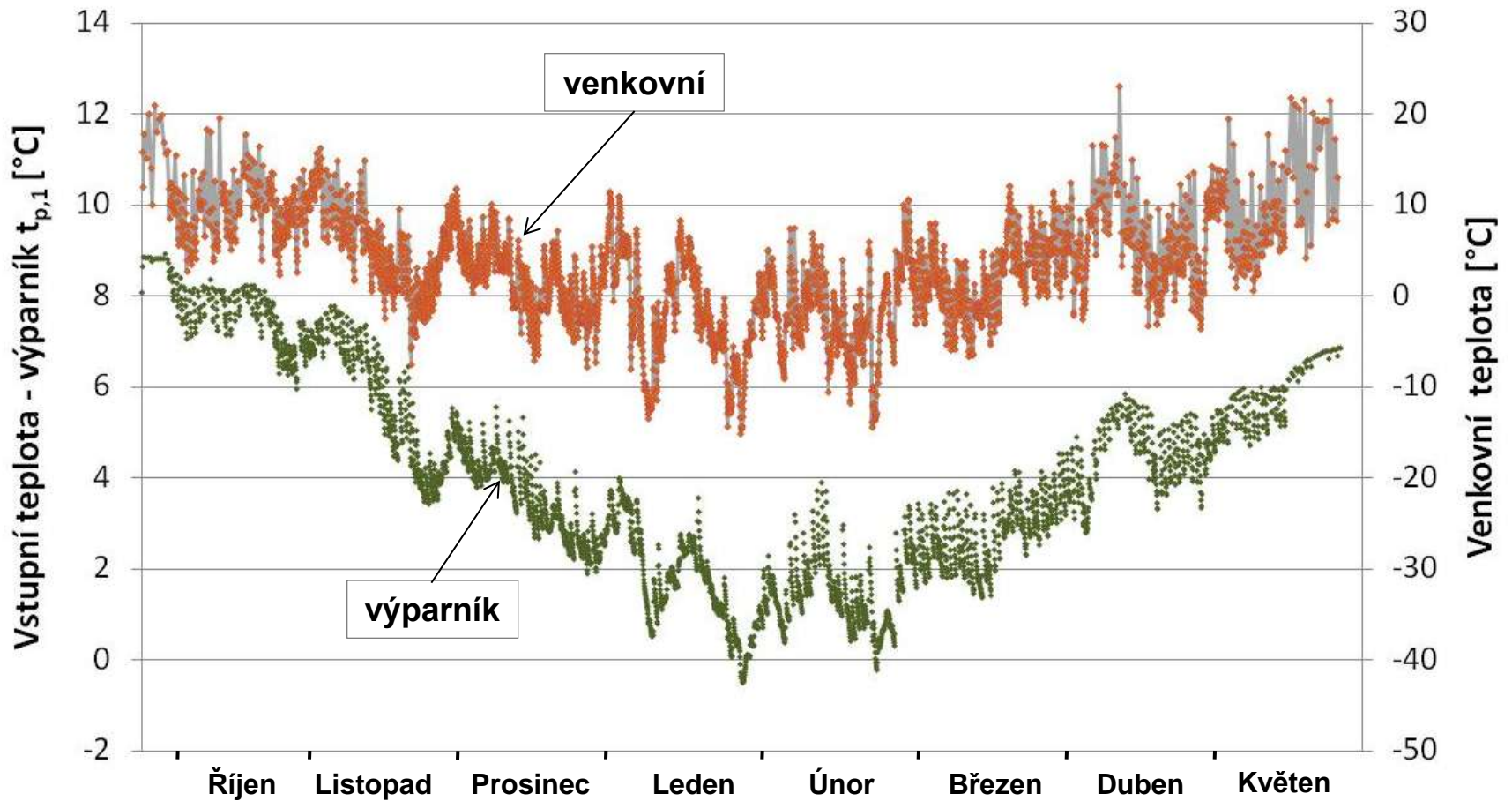
- vzduch – voda  $t_{v1} = t_e$
- voda – voda  $t_{v1} = 10 \text{ °C}$
- země – voda  $t_{v1} = f(t_e)$

$$t_{v1} = \max(0 \text{ °C}; \min(0,15 \cdot t_e + 1,5 \text{ °C}; 4,5 \text{ °C}))$$



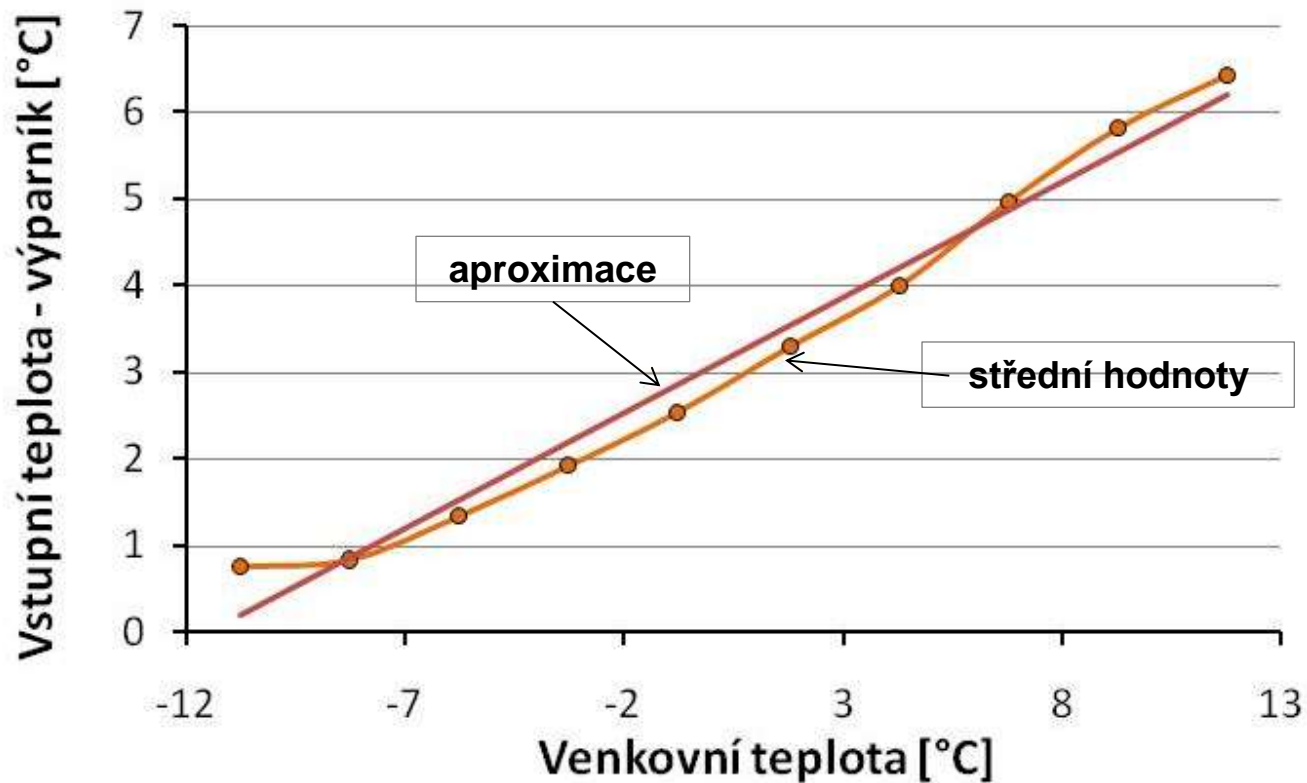
# TEPLOTA NA VSTUPU DO VÝPARNÍKU BĚHEM ROKU

měření na vrtu FS, ČVUT v Praze



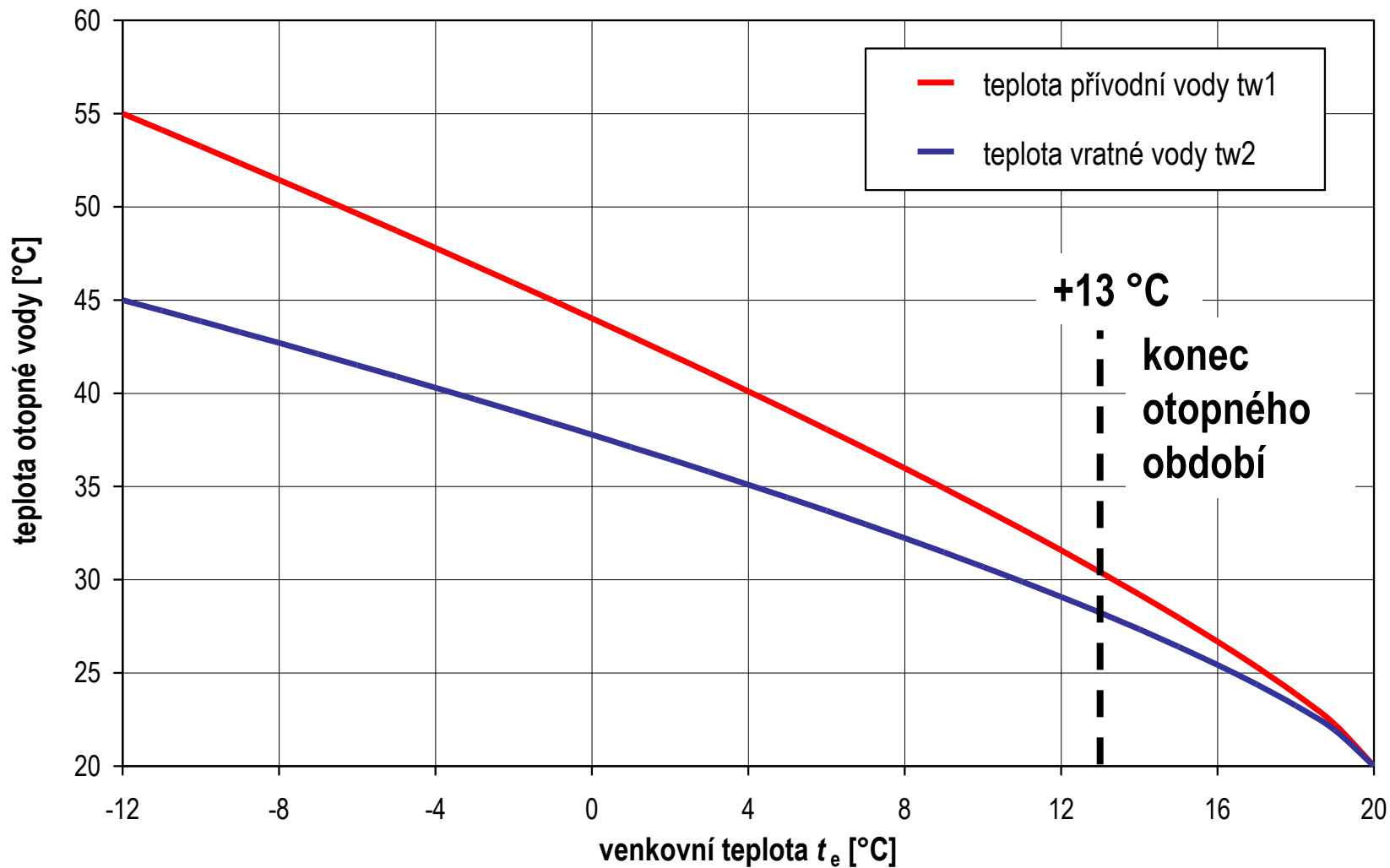
zdroj: R. Krainer

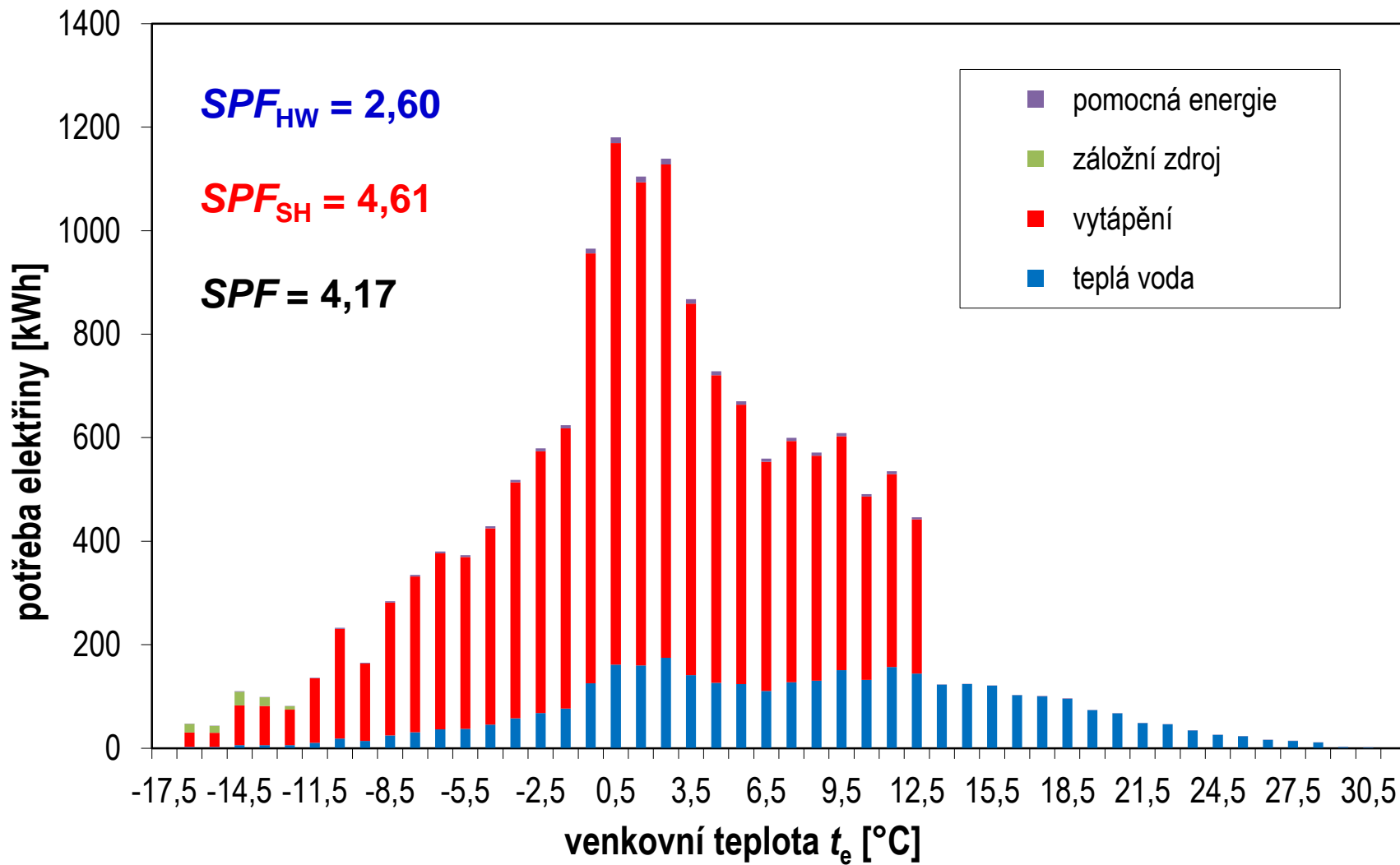
# ) TEPLOTA NA VSTUPU DO VÝPARNÍKU BĚHEM ROKU



zdroj: R. Krainer

# TEPLOTA NA VÝSTUPU Z KONDENZÁTORU BĚHEM ROKU





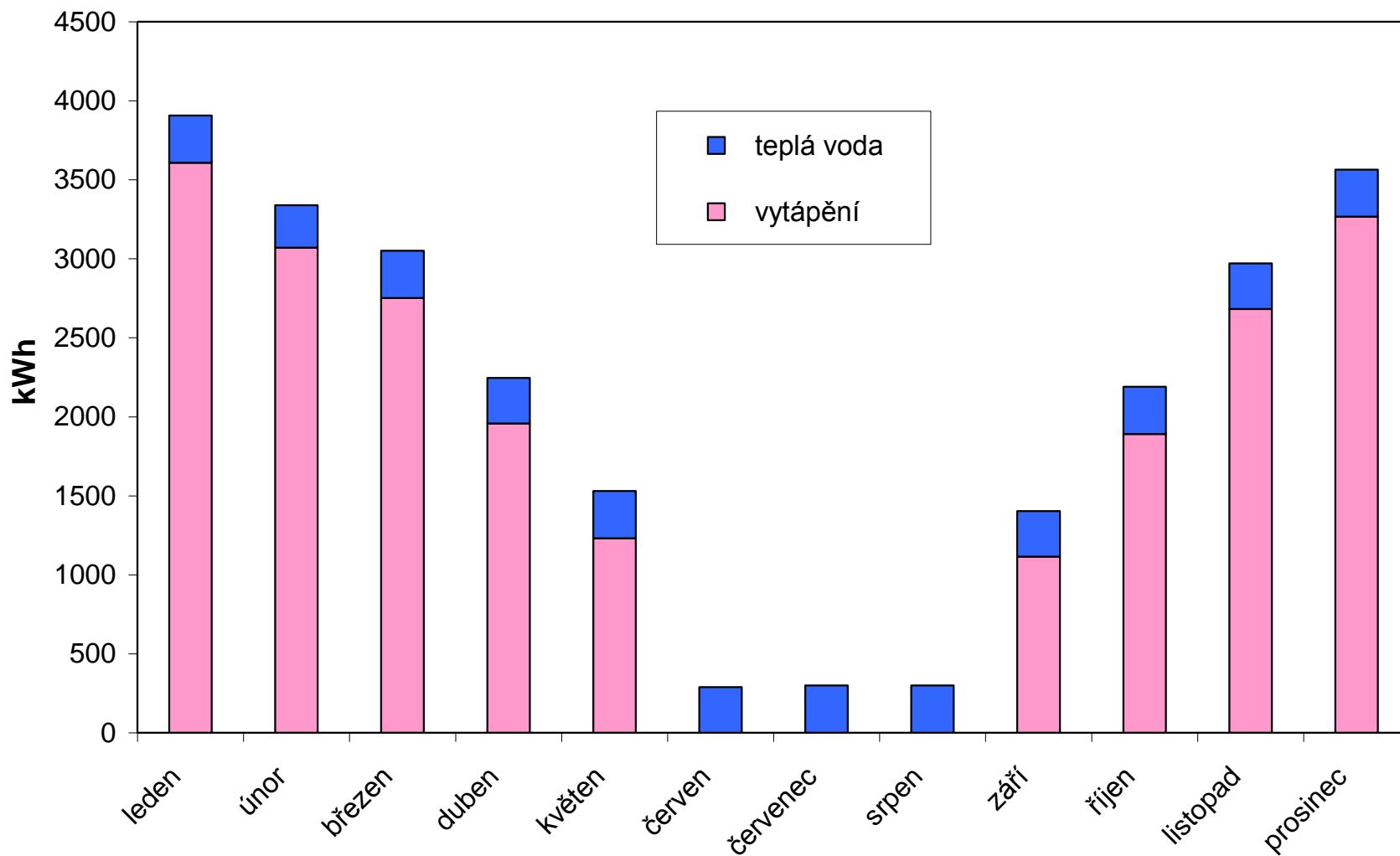
- **vytápění**

- 160 m<sup>2</sup>
- tepelná ztráta 10 kW (-12 °C)
- potřeba tepla na vytápění 21 500 kWh/rok (135 kWh/m<sup>2</sup>.rok)
- otopná soustava **50/40 °C** **35/30 °C**

- **teplá voda**

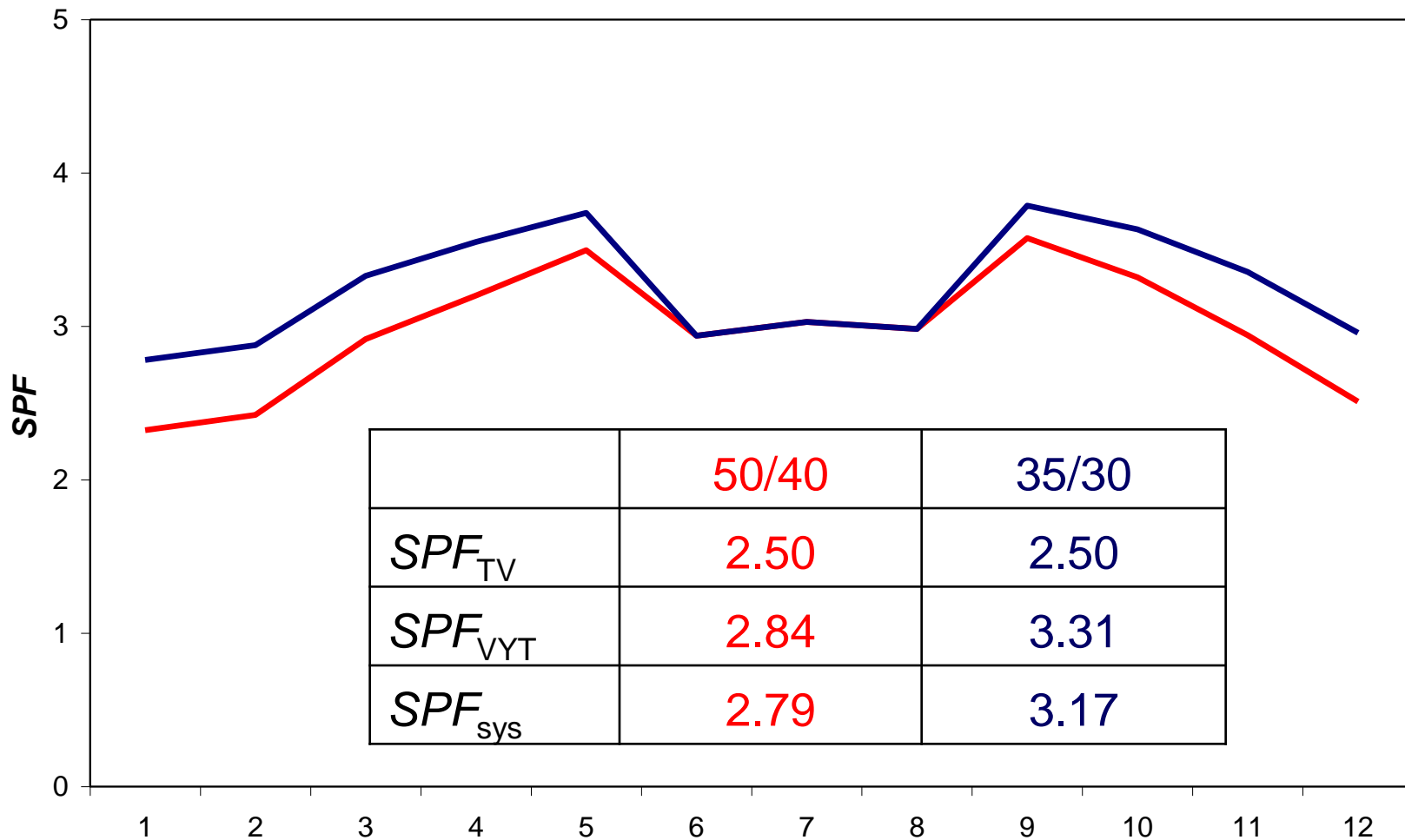
- 4 osoby, 45 l/os.den, tepelné ztráty 15 %
- teplota teplé vody 55 °C, teplota studené vody 15 °C
- potřeba tepla na ohřev vody 3 500 kWh/rok (**14 %** z celkové potřeby)

# ) BĚŽNÝ DŮM – POTŘEBA TEPLA

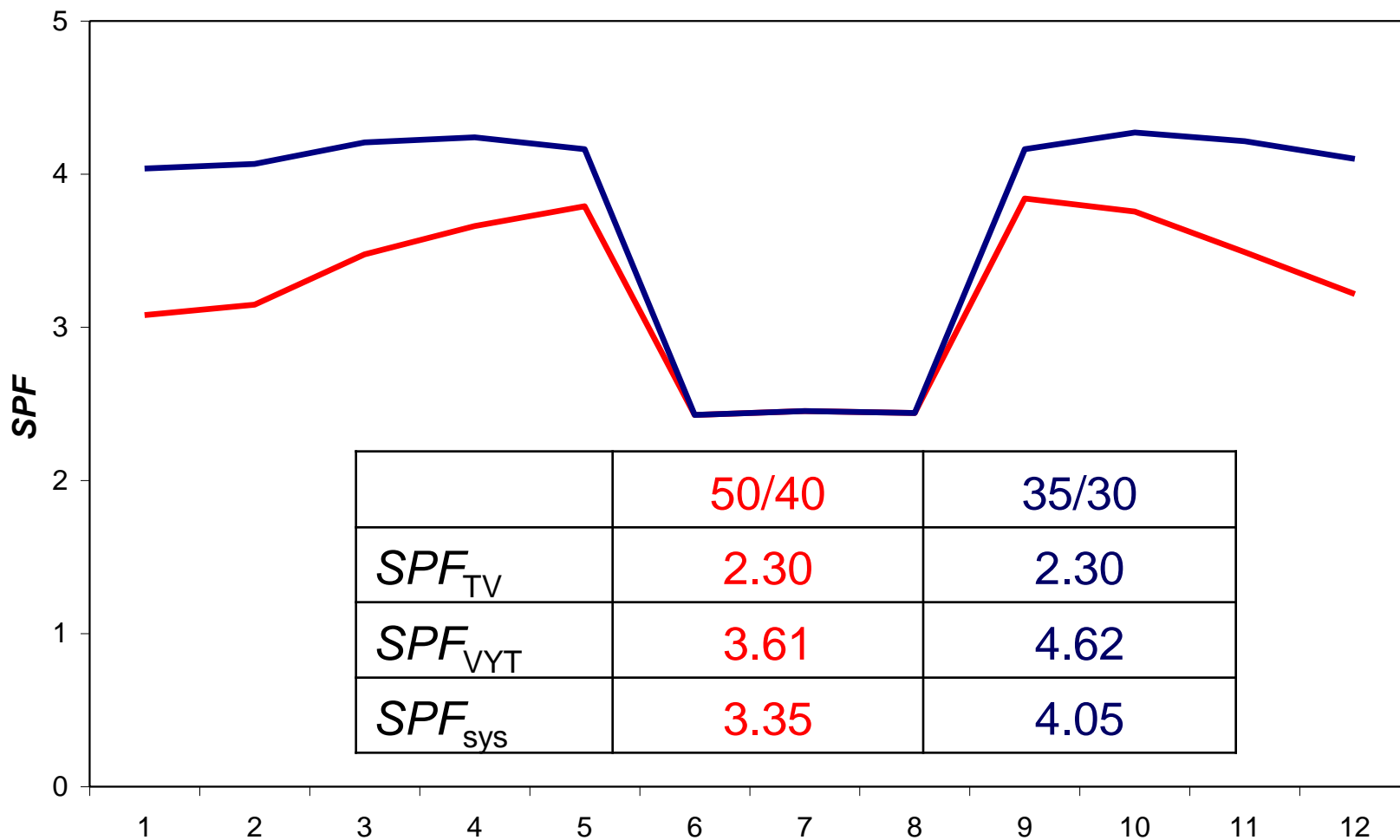




výkon 8,1 kW a  $COP = 3,4$  při A2/W35



výkon 9,9 kW a COP = 4,5 při B0/W35



- **požadavky na SPF lze splnit**
  - velká potřeba tepla na vytápění oproti přípravě teplé vody
  - nízkoteplotní otopná soustava
  - vysoké pokrytí potřeby tepla tepelným čerpadlem (snaha o monovalentní řešení)
  - správně navržený nízkopotenciální zdroj tepla
  - běžná koncepce řešení tepelných čerpadel

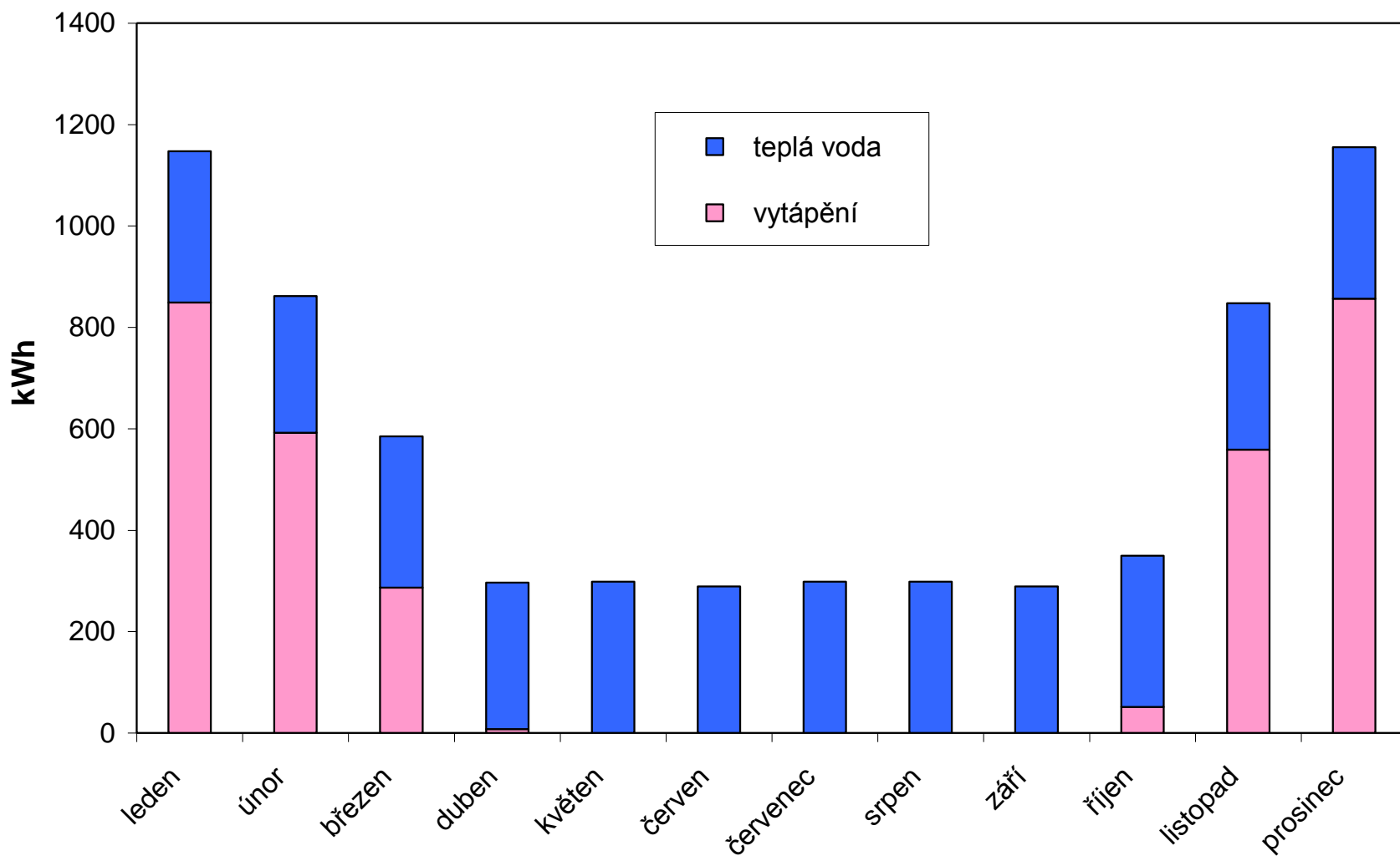
- **vytápění**

- 160 m<sup>2</sup>
- tepelná ztráta 2,7 kW (-12 °C)
- potřeba tepla na vytápění 3 200 kWh/rok (20 kWh/m<sup>2</sup>.rok)
- otopná soustava **35/25 °C**

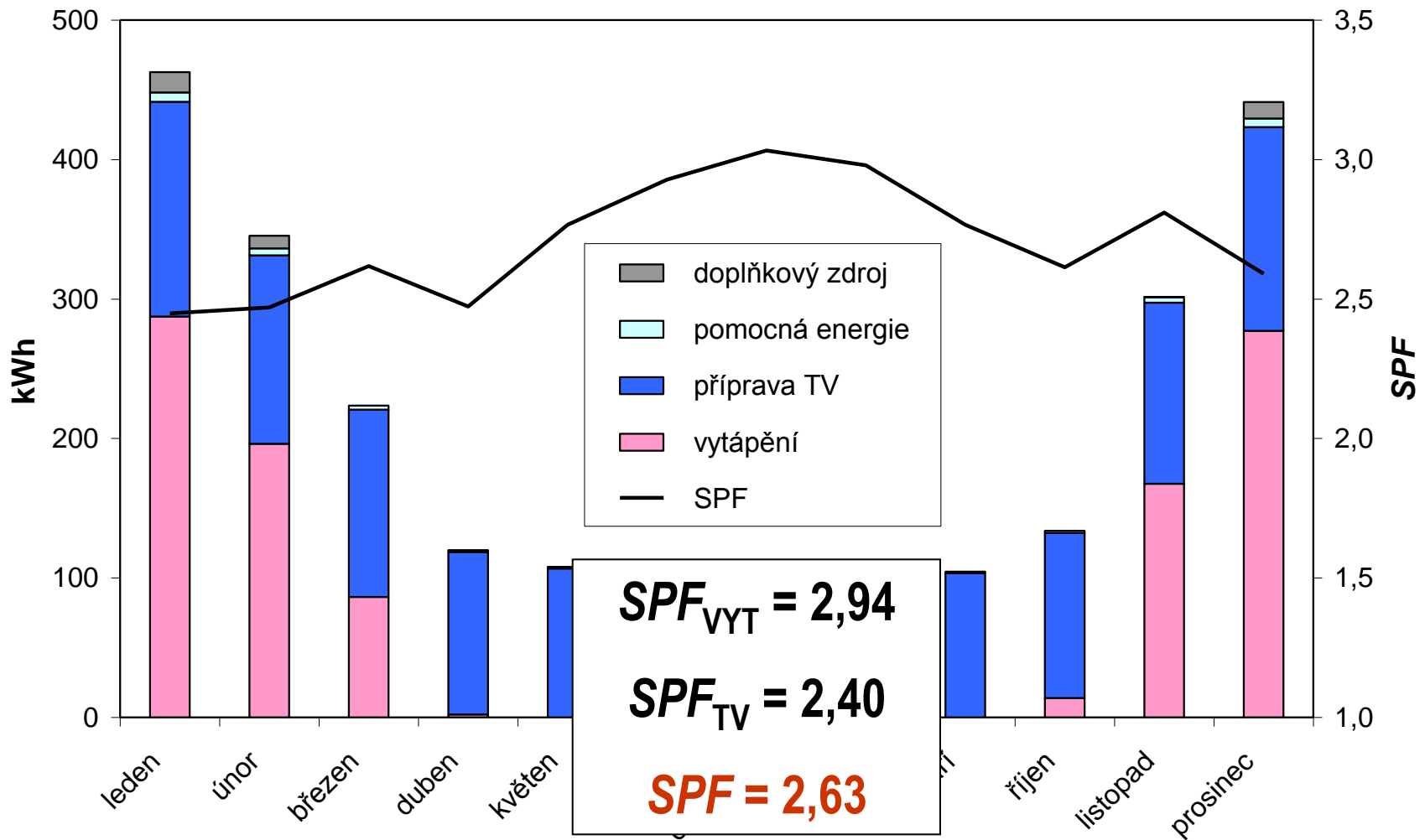
- **teplá voda**

- 4 osoby, 45 l/os.den, tepelné ztráty 15 %
- teplota teplé vody 55 °C, teplota studené vody 15 °C
- potřeba tepla na ohřev vody 3 500 kWh/rok (**52 %** z celkové potřeby)

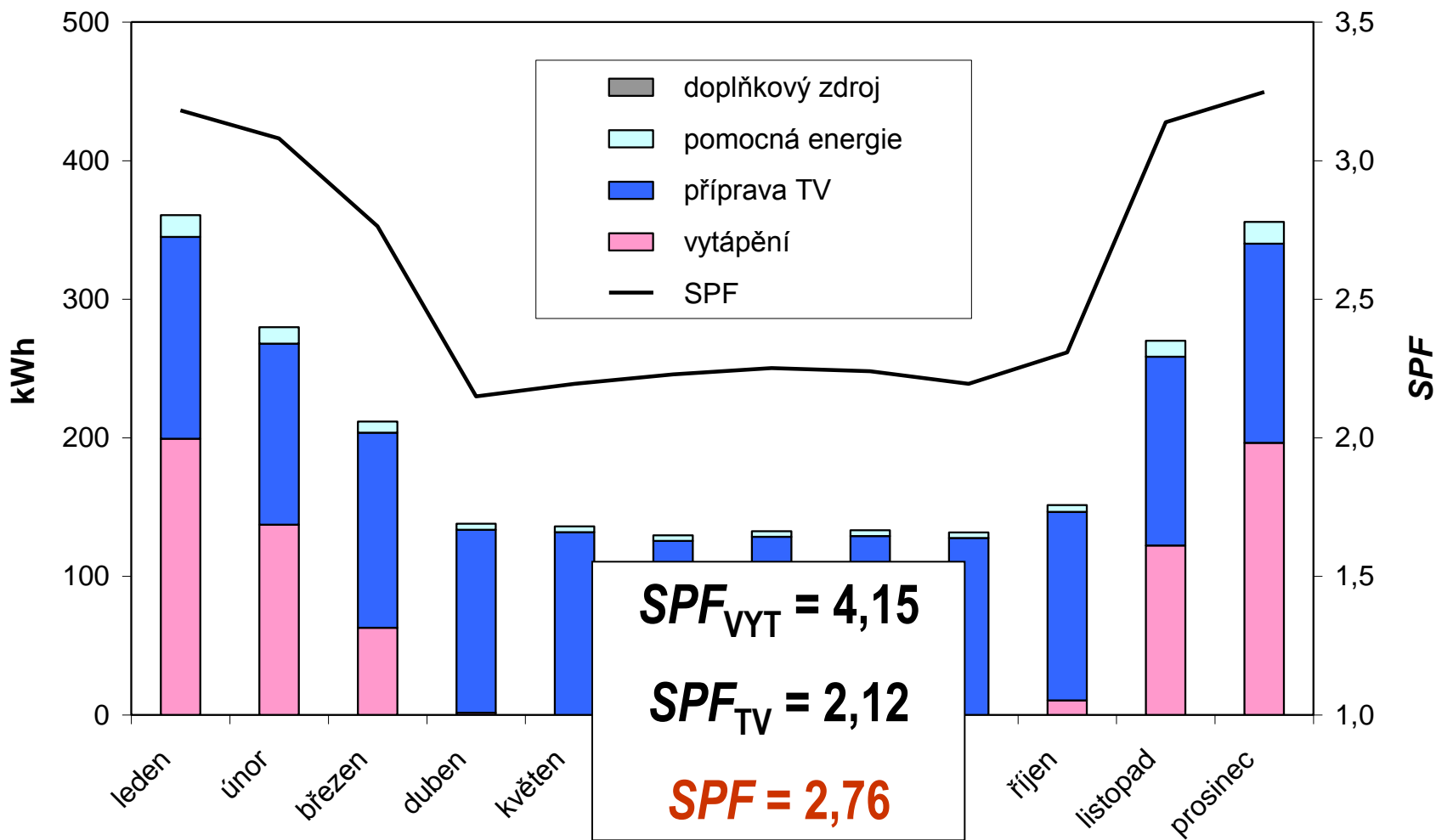
# ) PASIVNÍ DŮM – POTŘEBA TEPLA



výkon 6,7 kW a  $COP = 3,2$  při A2/W35



výkon 5,8 kW a  $COP = 4,3$  při B0/W35



- **požadavky na  $SPF > 2.9$  nelze splnit i přes**
  - nízkoteplotní otopnou soustavu
  - monovalentní řešení
  - správně navržený nízkopotenciální zdroj tepla
- **vlivem**
  - vysoké teploty TV
  - velké potřeby tepla na přípravu teplé vody oproti vytápění
  - běžné koncepce řešení tepelných čerpadel
- **plynový kotel + solární soustava = o 20 až 30 % nižší potřeba primární energie**



- **snížení požadavku teploty teplé vody na 45 °C**
  - snížení tepelného komfortu
  - hygienické požadavky
  
- **koncepce tepelných čerpadel pro efektivnější ohřev vody**
  - tepelná čerpadla s dochlazovačem chladiva pro předeřev studené vody
  - využití chladiče přehřátých par chladiva pro vyšší teplotní úroveň
  - kaskádový ohřev teplé vody, dva zásobníky v sérii, stratifikovaný ohřev

