



Tepelná čerpadla a sluneční energie

Tomáš Matuška, Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze
Bořivoj Šourek, Siemens, s.r.o.



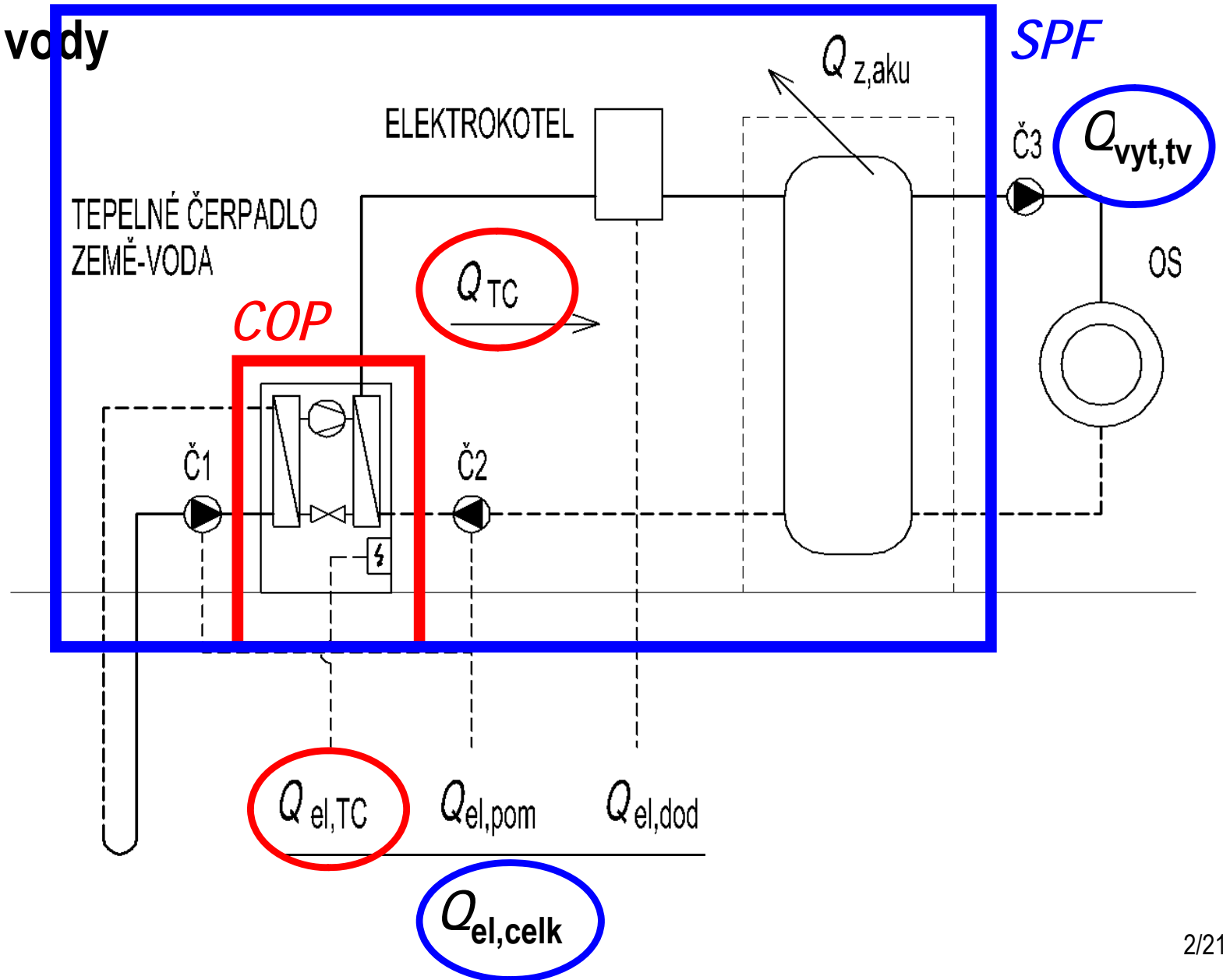
Tepelné čerpadlo - definice

příprava teplé vody

vytápění

$$COP = \frac{Q_{TČ}}{Q_{el,TČ}}$$

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





Požadavek na *SPF*

- 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 $\eta_e = 40 \%$ $SPF > 2,875$
- ČR: $\eta_e = 30 \%$ ¹⁾ **$SPF > 3,83$**

1) Czech Republic Energy Efficiency Report, ABB report, January, 2011



EN 15450 – příloha C (informativní)

Tabulka C.1 – Normové minimální a cílové hodnoty *SPF* pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro vytápění a přípravu teplé vody v renovacích (typické pro střední Evropu)

Zdroj energie/odvod	Minimální hodnoty <i>SPF</i>	Cílové hodnoty <i>SPF</i>
vzduch/voda	2,7	3,0
zemský masiv/voda	3,5	4,0
voda/voda	3,8	4,5

Tabulka C.2 – Normové minimální a cílové hodnoty *SPF* pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro vytápění a přípravu teplé vody v novostavbách (typické pro střední Evropu)

Zdroj energie/odvod	Minimální hodnoty <i>SPF</i>	Cílové hodnoty <i>SPF</i>
vzduch/voda	2,5	2,8
zemský masiv/voda	3,3	3,7
voda/voda	3,5	4,2

Tabulka C.3 – Normové minimální a cílové hodnoty *SPF* pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro samotnou přípravu teplé vody (typické pro střední Evropu)

Zdroj energie/odvod	Minimální hodnoty <i>SPF</i>	Cílové hodnoty <i>SPF</i>
vzduch/voda	2,3	2,8
zemský masiv/voda	3,0	3,5
voda/voda	3,2	3,8



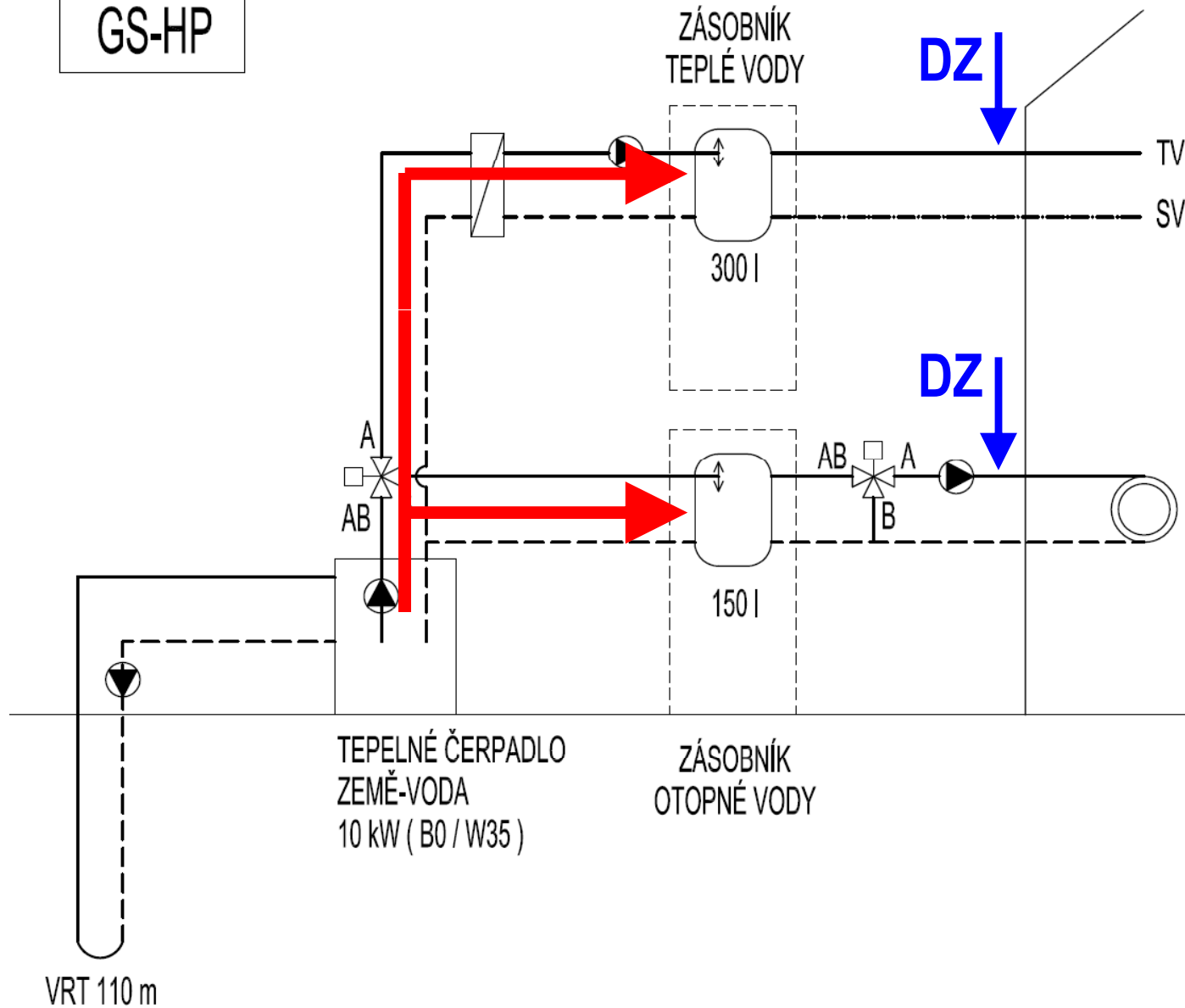
Popis rodinného domu

- **vytápění**
 - tepelná ztráta 8,5 kW (-12 °C)
 - potřeba tepla na vytápění 15 550 kWh/rok (100 kWh/m².rok), TMY Praha
 - otopná soustava 40/30 °C
- **teplá voda**
 - 4 osoby, 50 l/os.den
 - teplota teplé vody 55 °C, teplota studené vody 15 °C
 - potřeba tepla na ohřev vody 3 400 kWh/rok (**18 %** z celkové potřeby)
- **tepelné čerpadlo země-voda**
 - výkon 10 kW, $COP = 4,5$ při B0/W35
 - vrt délky 110 m, návrh podle doby proběhu 2200 h



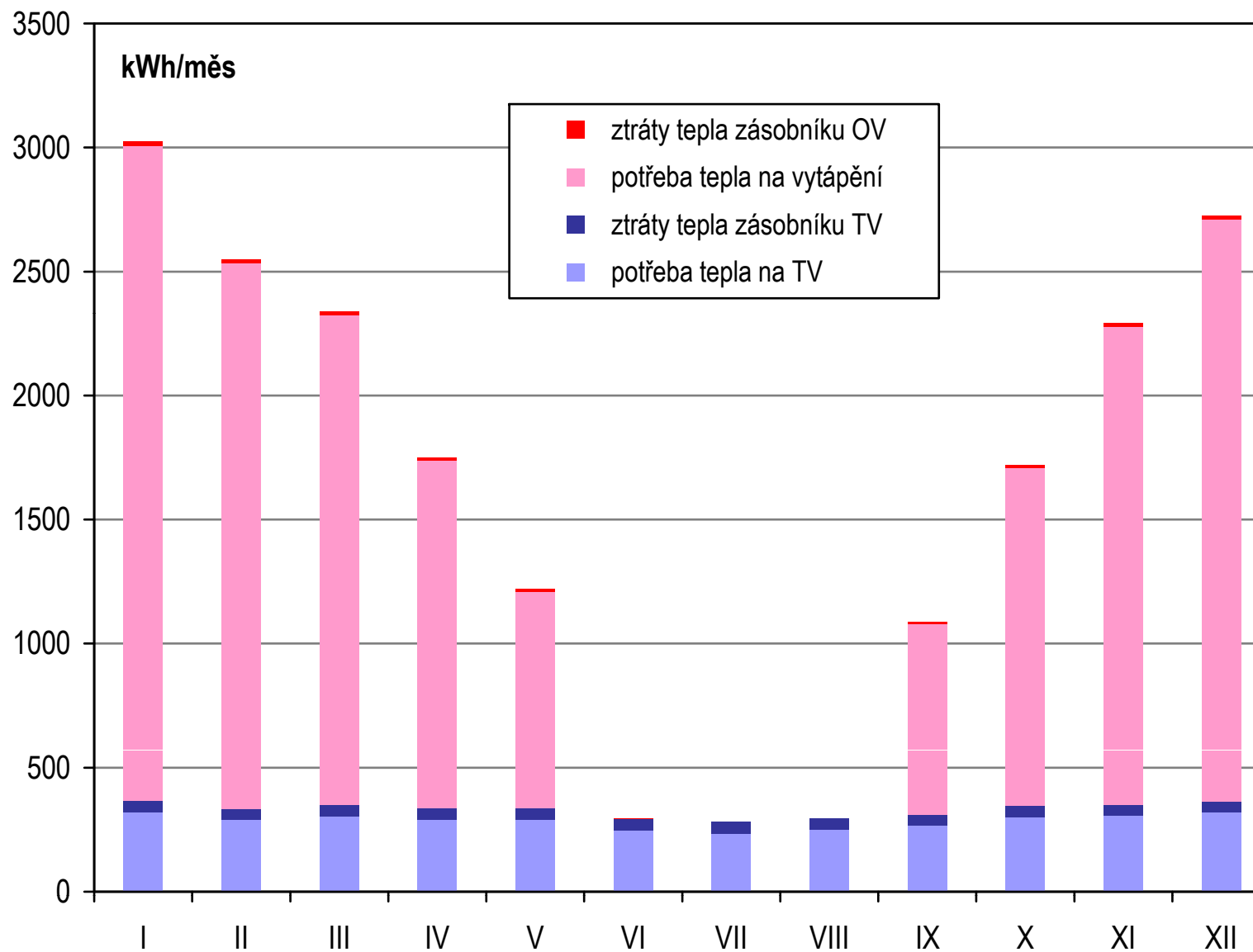
Základní varianta soustavy

GS-HP





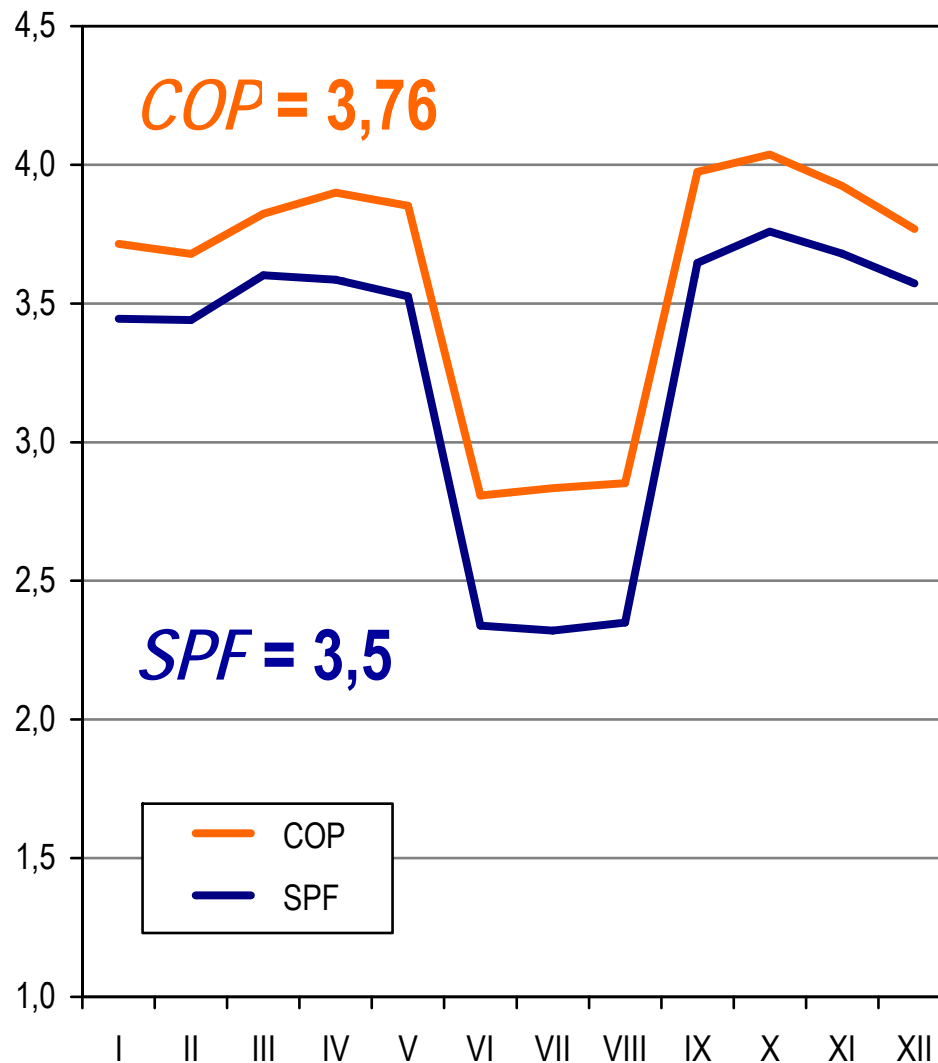
Sezónní topný faktor soustavy





Výsledky pro základní variantu

GS-HP



COP vytápění = 4,4

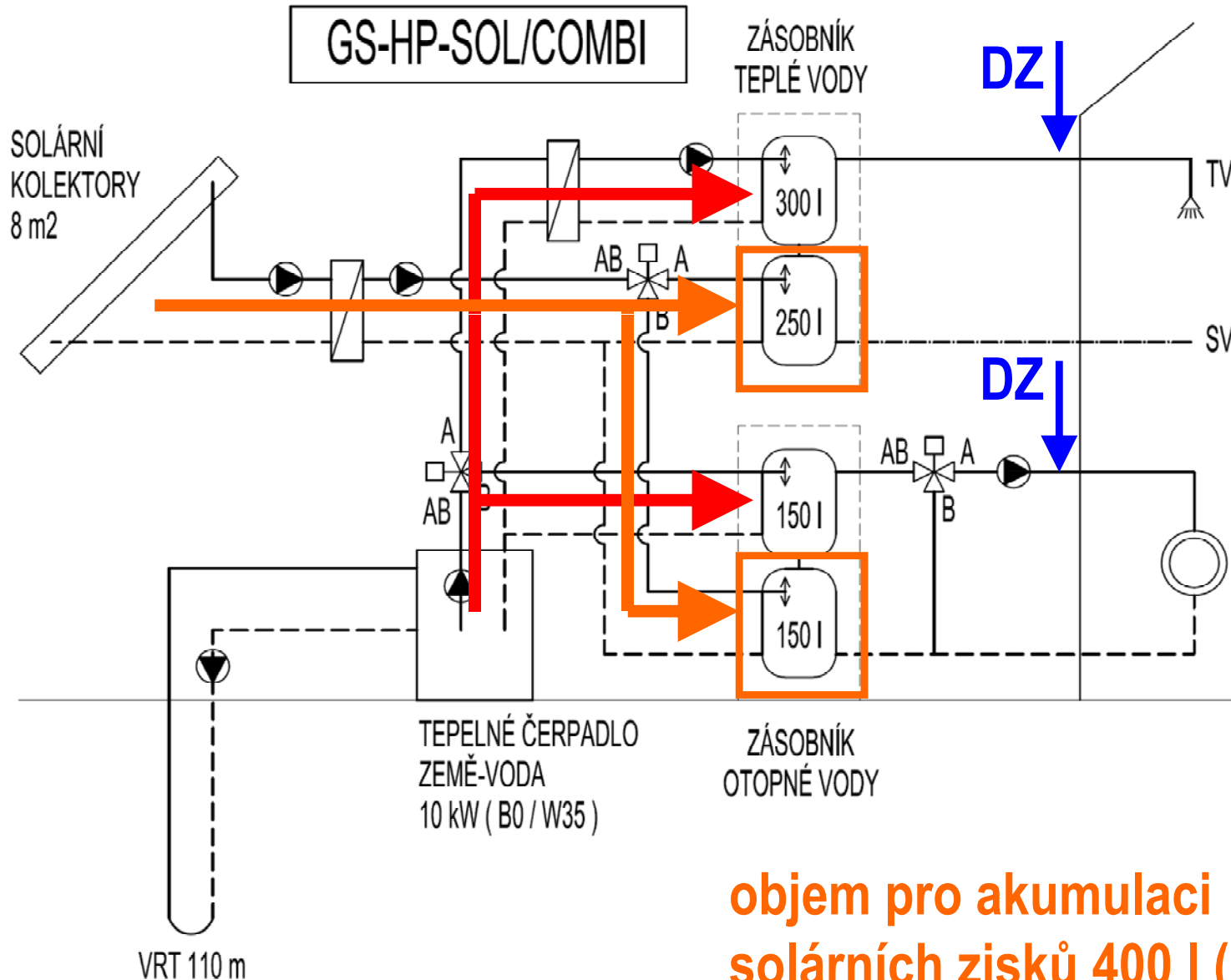
COP teplá voda = 2,7

soustava splňuje minimální
 $SPF = 3,5$ (EN 15450)

jak splnit cílovou hodnotu
 $SPF = 4,0$?



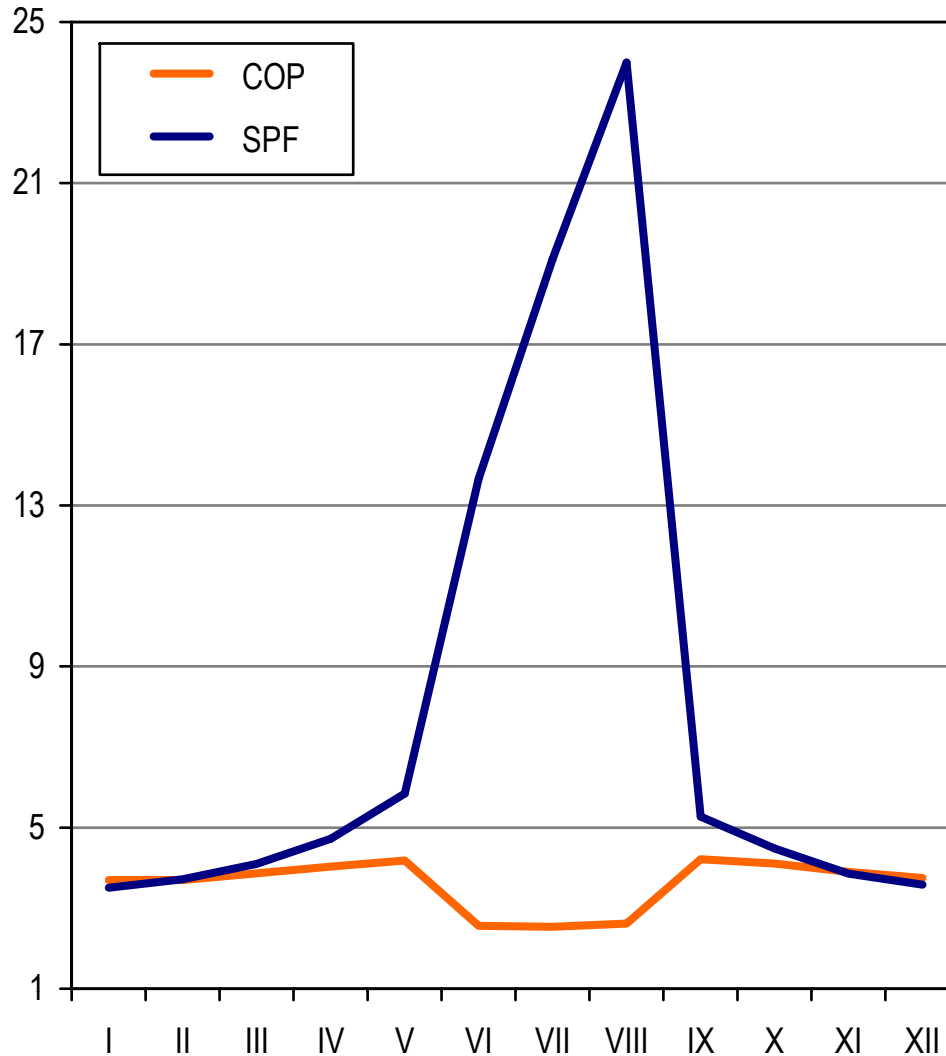
Solární kombinovaná soustava s TČ





Výsledky

GS-HP-SOL/COMBI



COP = 3,85

SPF = 4,15

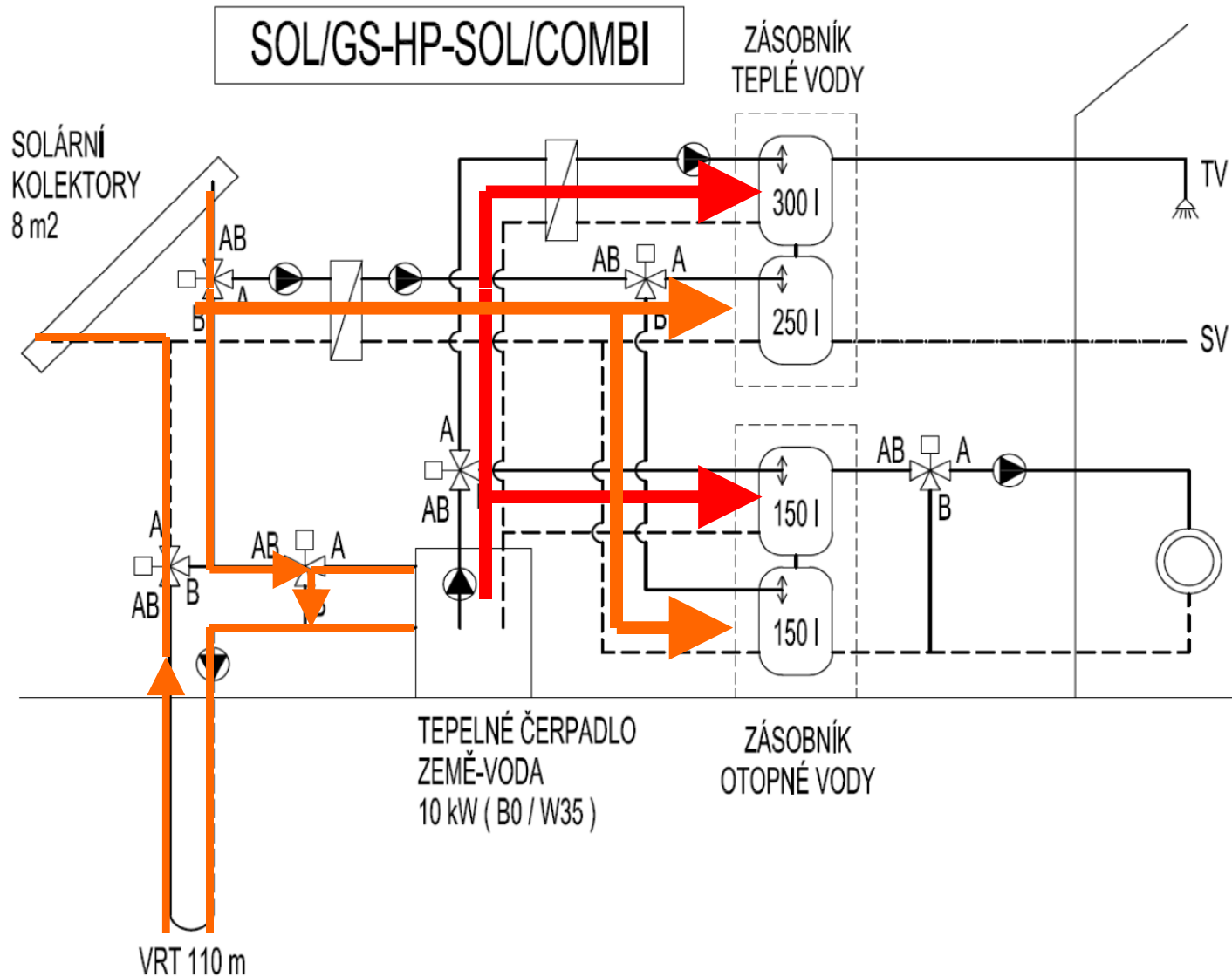
solární soustava přebírá letní přípravu TV

minimalizace dodávky tepla tepelným čerpadlem v letním období

snížení spotřeby elektrické energie soustavy



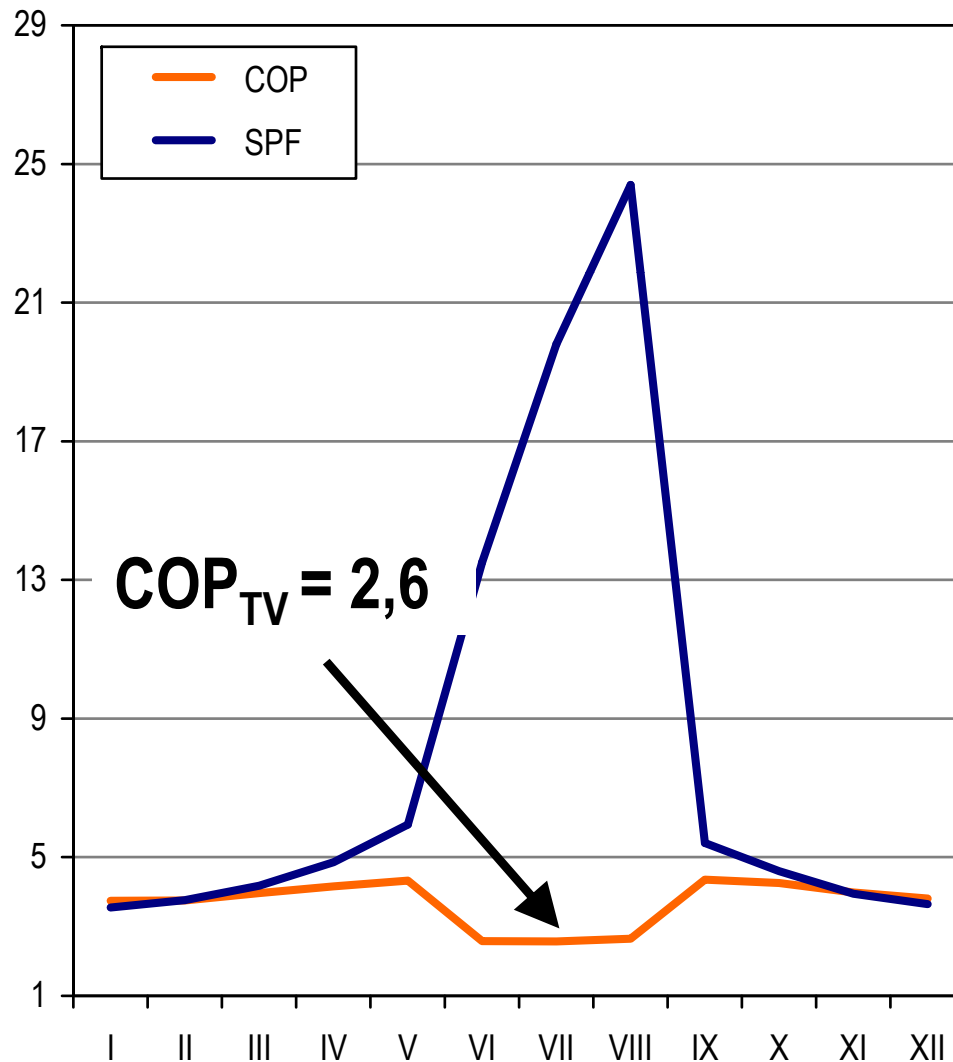
Přebytky pro regeneraci vrtu





Přebytky pro regeneraci vrtu

SOL/GS-HP-SOL/COMBI



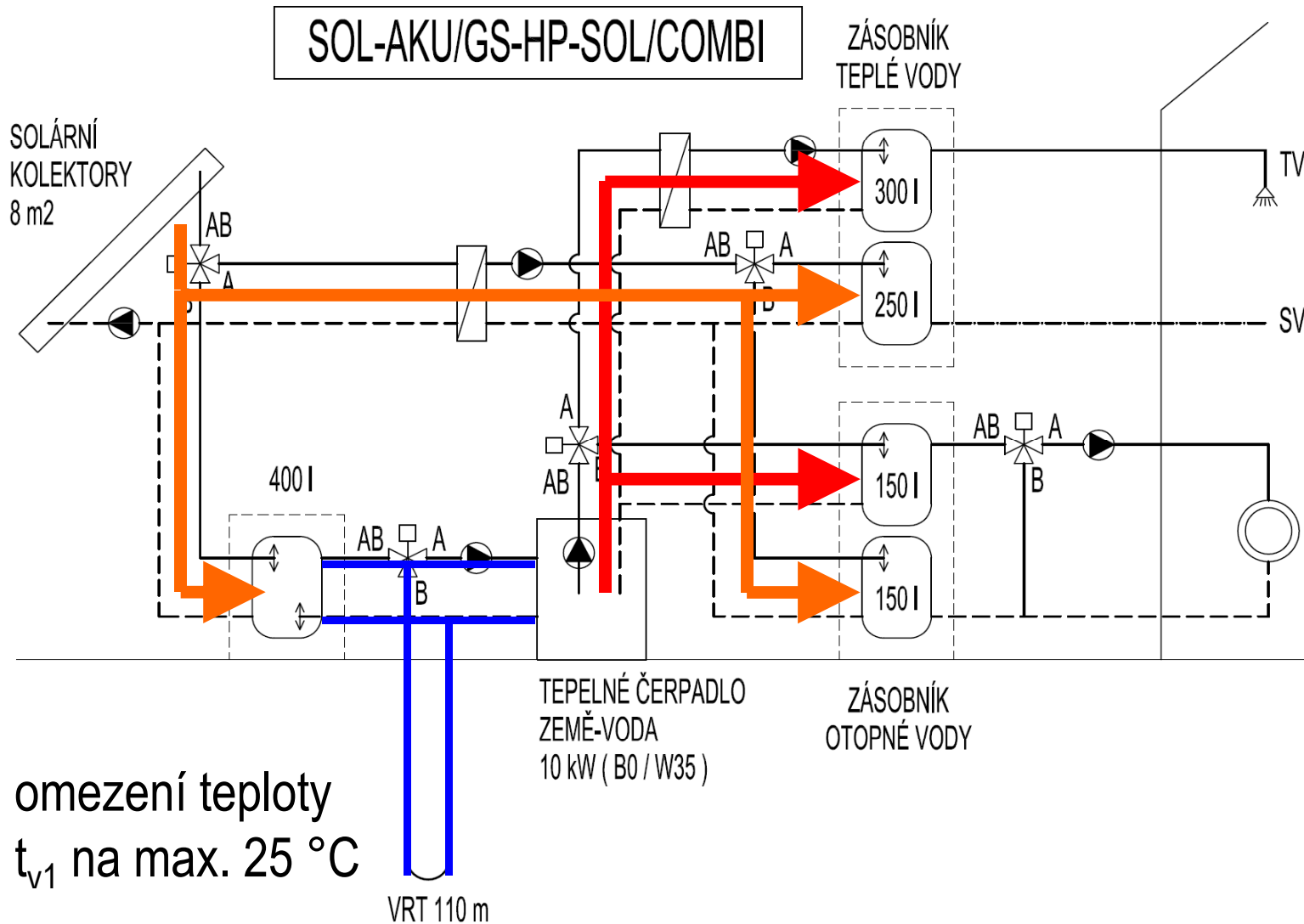
COP = 3,93 (3,85)

SPF = 4,23 (4,15)

regenerace vrtů nebo
předehřev výstupu z vrtů
solárním teplem pomáhá jen
málo ...



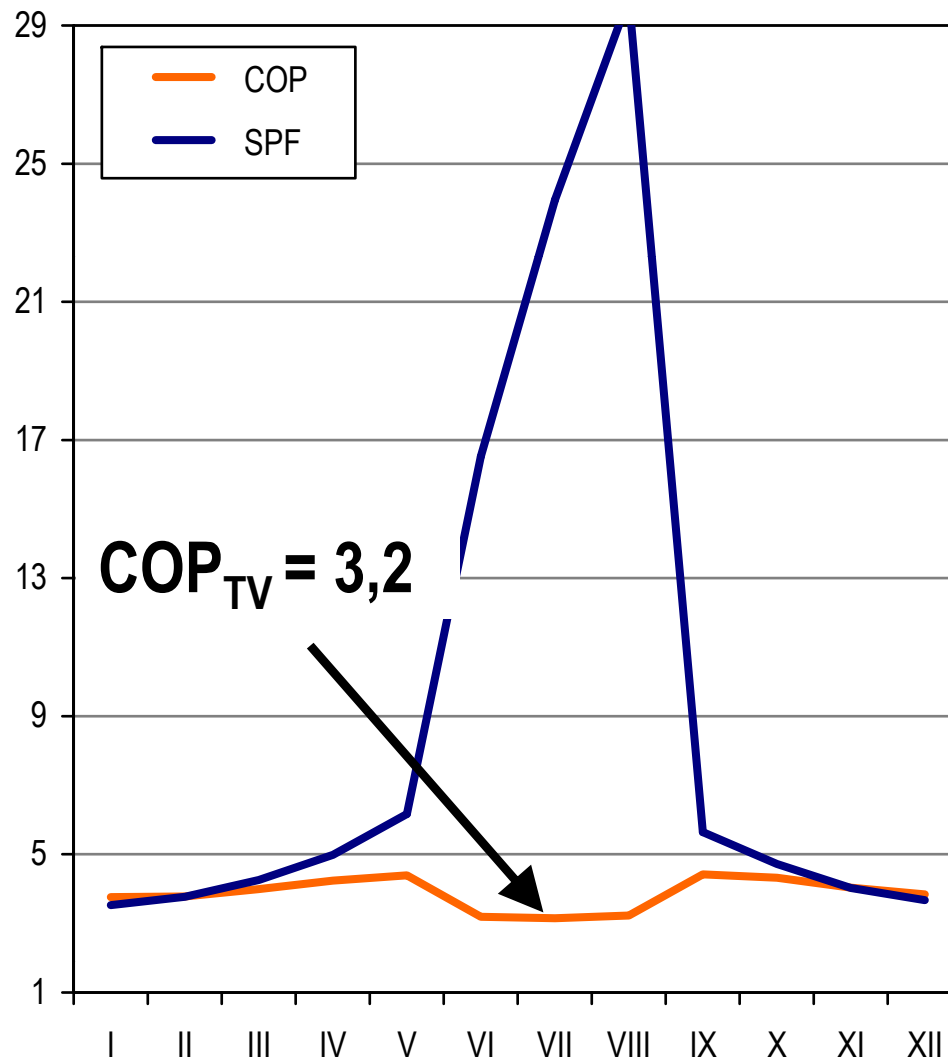
Akumulace na primární straně TČ





Akumulace na primární straně TČ

SOL-AKU/GS-HP-SOL/COMBI



$$COP = 3,98 (3,85)$$

$$SPF = 4,29 (4,15)$$

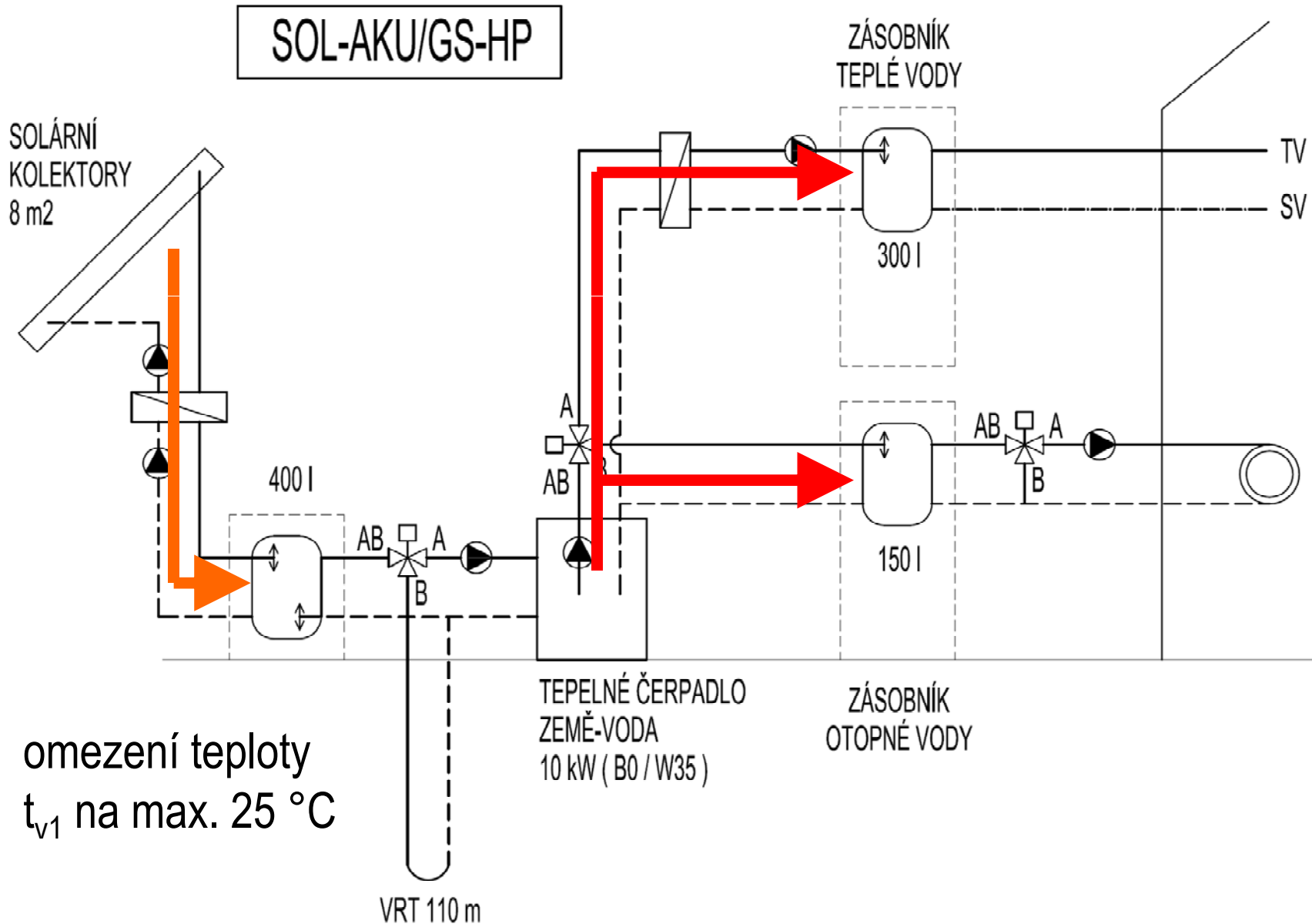
akumulace přináší lepší využití solárních zisků na primáru pro TČ

topný faktor TČ v létě vzroste

malý vliv zlepšení COP pro TV na celkový SPF



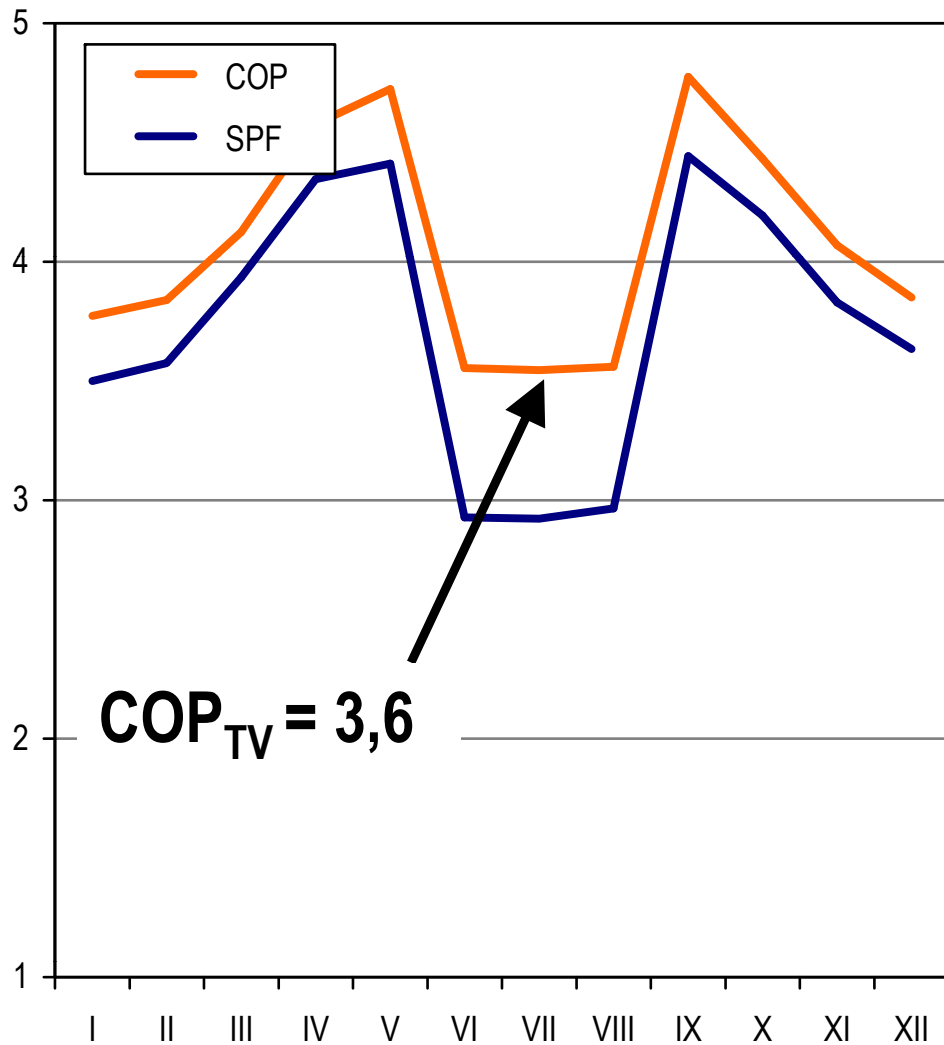
Solární energie pouze pro primár TČ





Akumulace na primární straně TČ

SOL-AKU/GS-HP



COP = 4,07 (3,85)

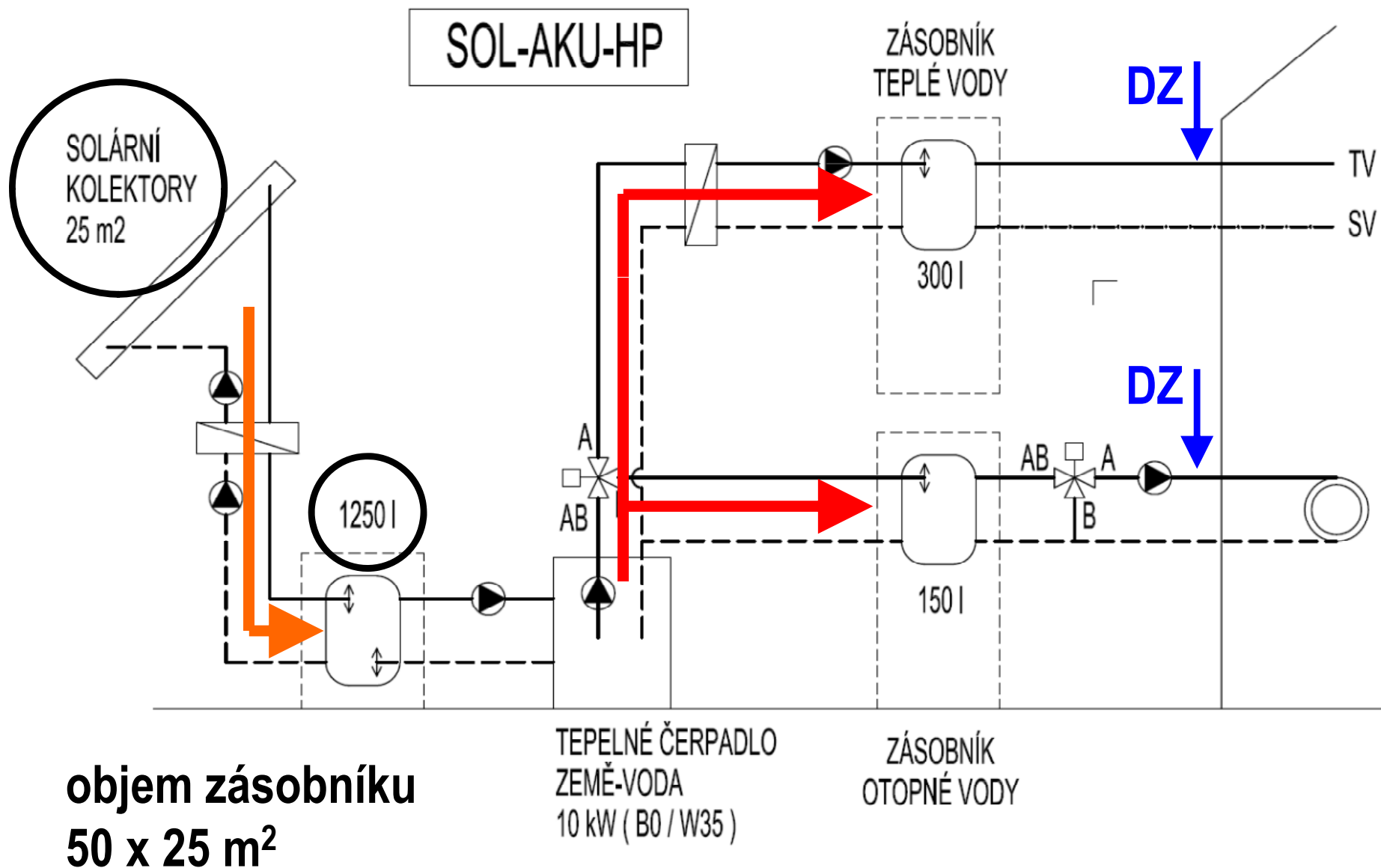
SPF = 3,81 (4,15)

zvýšení *COP*

kvůli nepřímému využití solárních zisků je *SPF* nízký



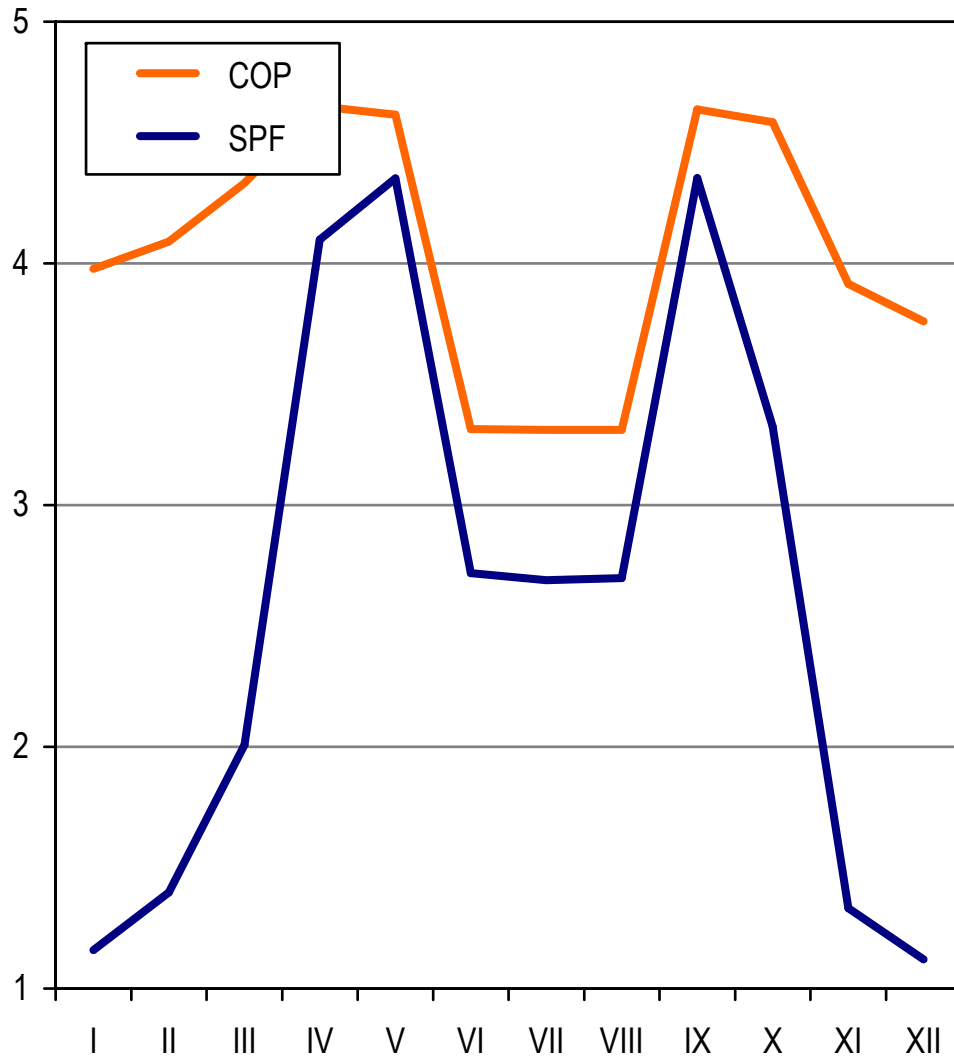
Extrémní případ! – TČ bez vrtu





Akumulace na primární straně TČ

SOL-AKU-HP



$COP = 4,26$ (3,85)

$SPF = 1,69$ (4,15)

po většinu roku je nutný dohřev
dodatkovým zdrojem tepla !
(elektrokotlem s $COP = 1$)

**soustava se chová jako
neúčinná**

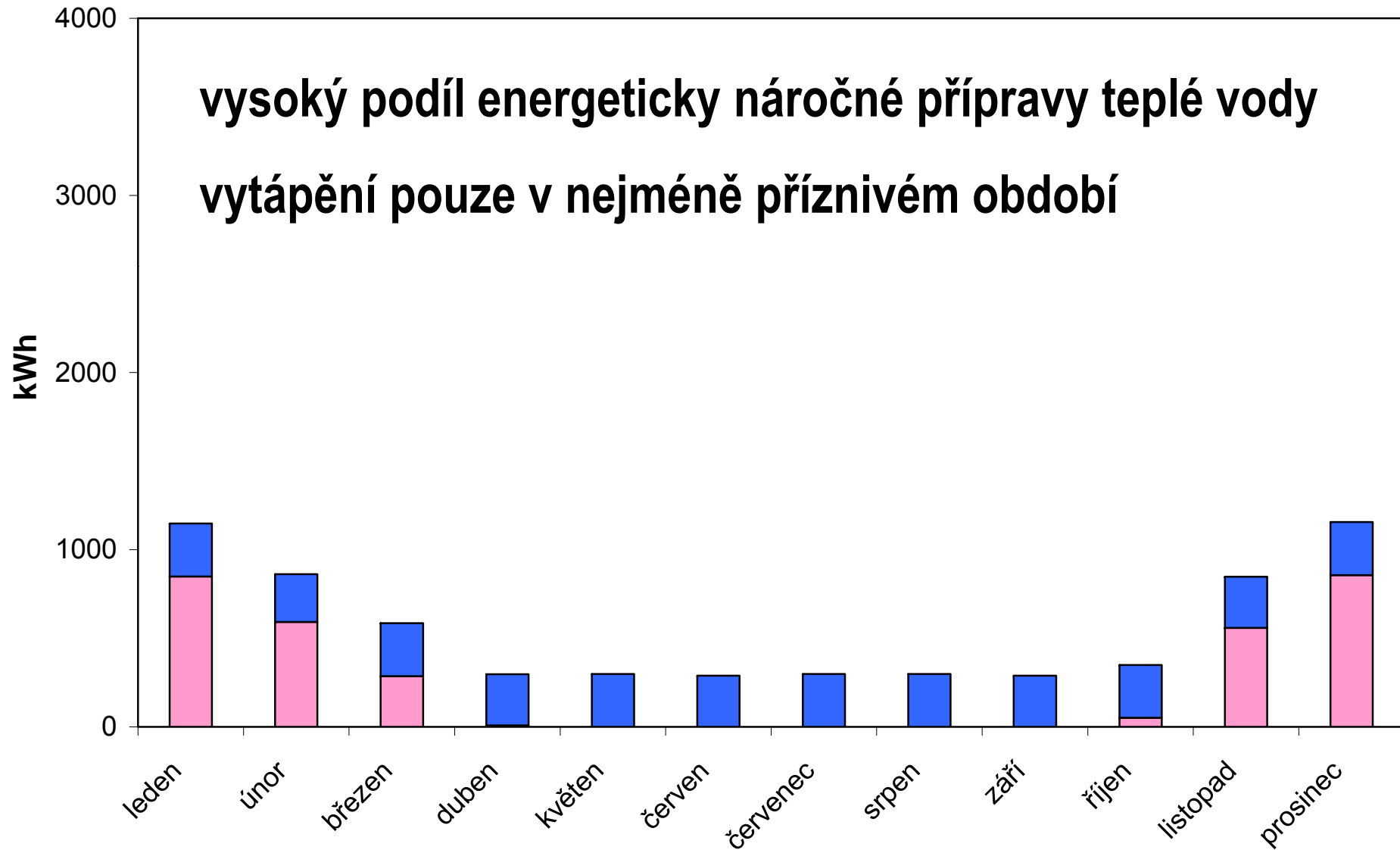


Závěry

- provozní *COP* není z hlediska hodnocení nasazení TČ rozhodující
- **důležitý je *SPF* celé soustavy**
- paralelní soustava dosahuje vysokého *SPF* = 4,15 (oproti variantě bez solární soustavy *SPF* = 3,5)
- všechny ostatní varianty přináší pouze malé zlepšení *SPF* (max. 4,26) nebo i zhoršení (**pouze sériové zapojení nemá smysl**)
- přínosy solární soustavy na provozní *COP* tepelného čerpadla se neodrážejí v celkové bilanci
- **výsledky platí pro běžný dům**
- pro dům s výraznou potřebou TV (pasivní domy) lze předpokládat odlišné dopady



Lze splnit min. *SPF* u pasivního domu ?





Popis pasivního rodinného domu

■ vytápění

- tepelná ztráta 2,7 kW (-12 °C), 160 m²
- potřeba tepla na vytápění 3 200 kWh/rok (20 kWh/m².rok), TMY Praha
- otopná soustava 35/25 °C (sálavé vytápění), ekvitermní regulace

■ teplá voda

- 4 osoby, 40 l/os.den
- teplota teplé vody 55 °C, teplota studené vody 15 °C
- potřeba tepla na ohřev vody 3 500 kWh/rok, včetně ztrát

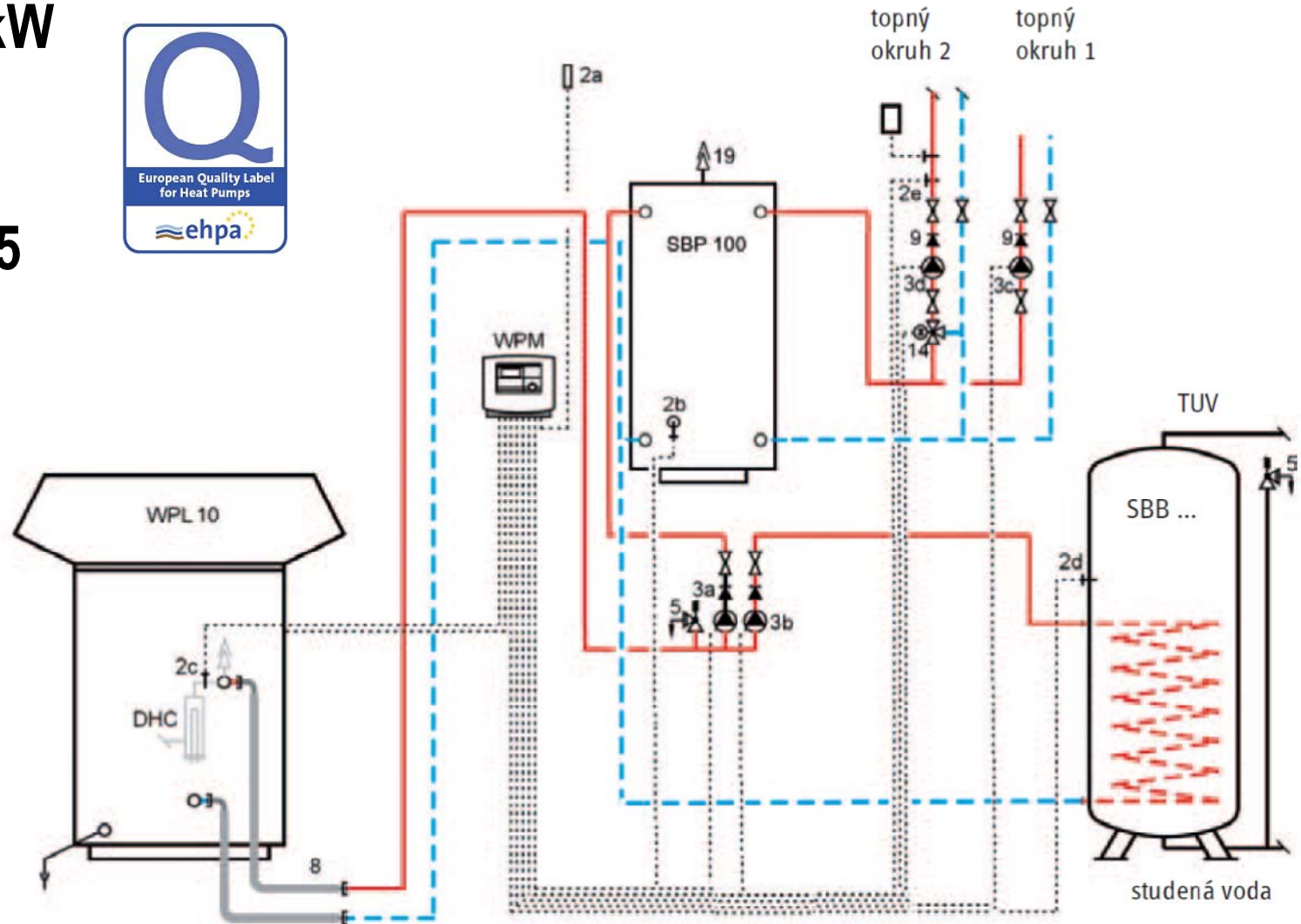


Tepelné čerpadlo vzduch-voda

výkon 6,7 kW

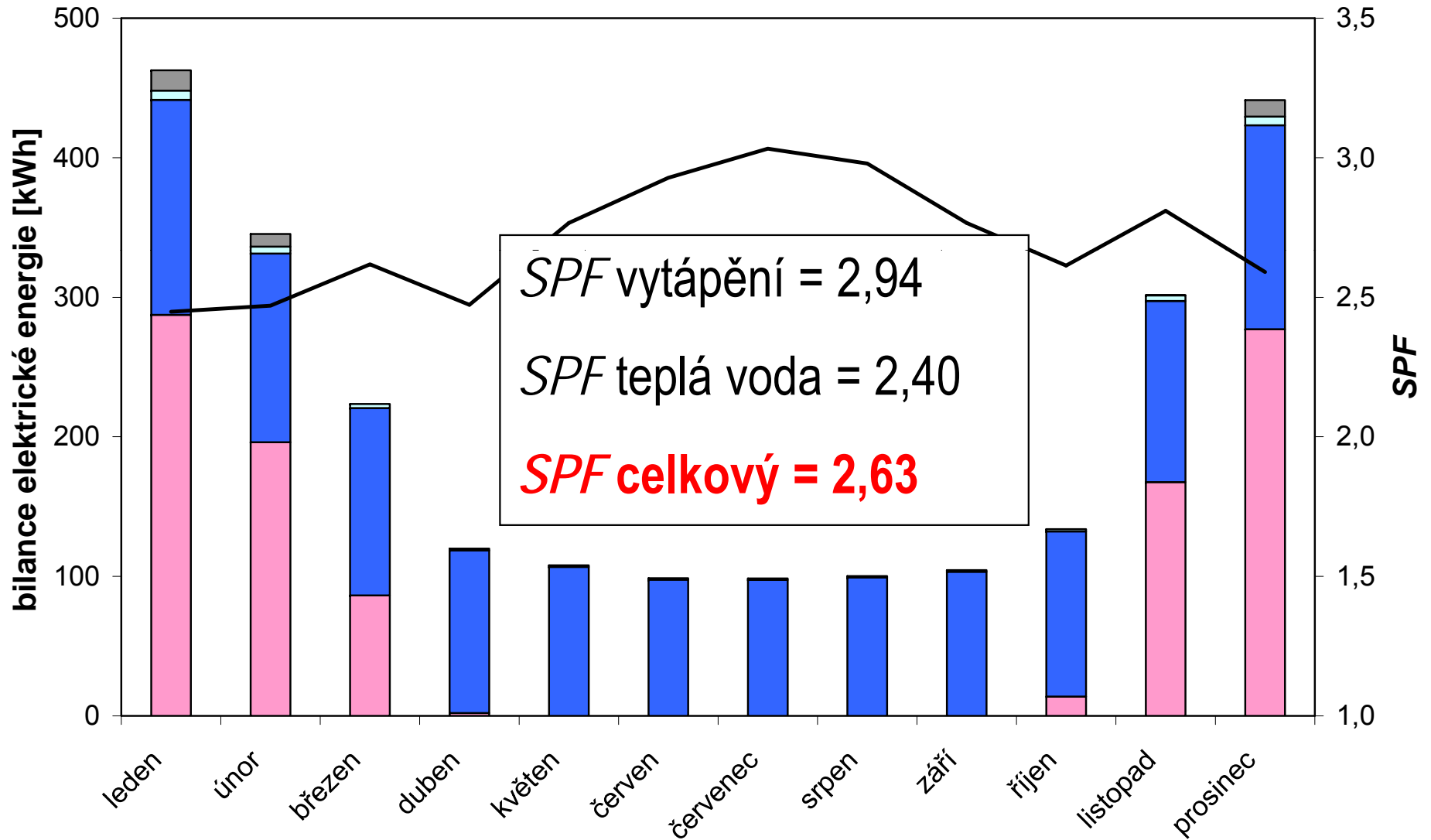
COP 3,2

při A2 / W35





Tepelné čerpadlo vzduch-voda



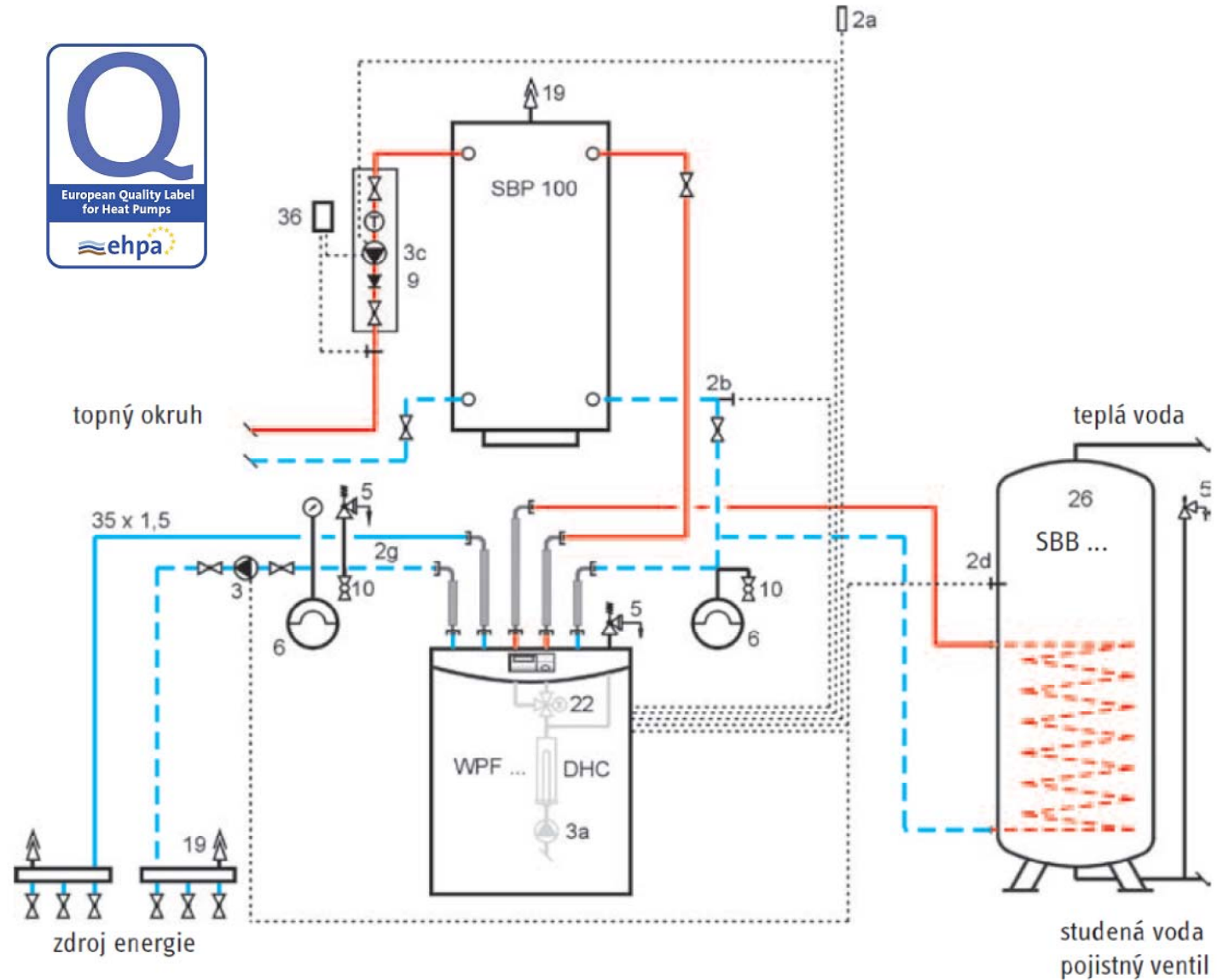


Tepelné čerpadlo země-voda

výkon 5,8 kW

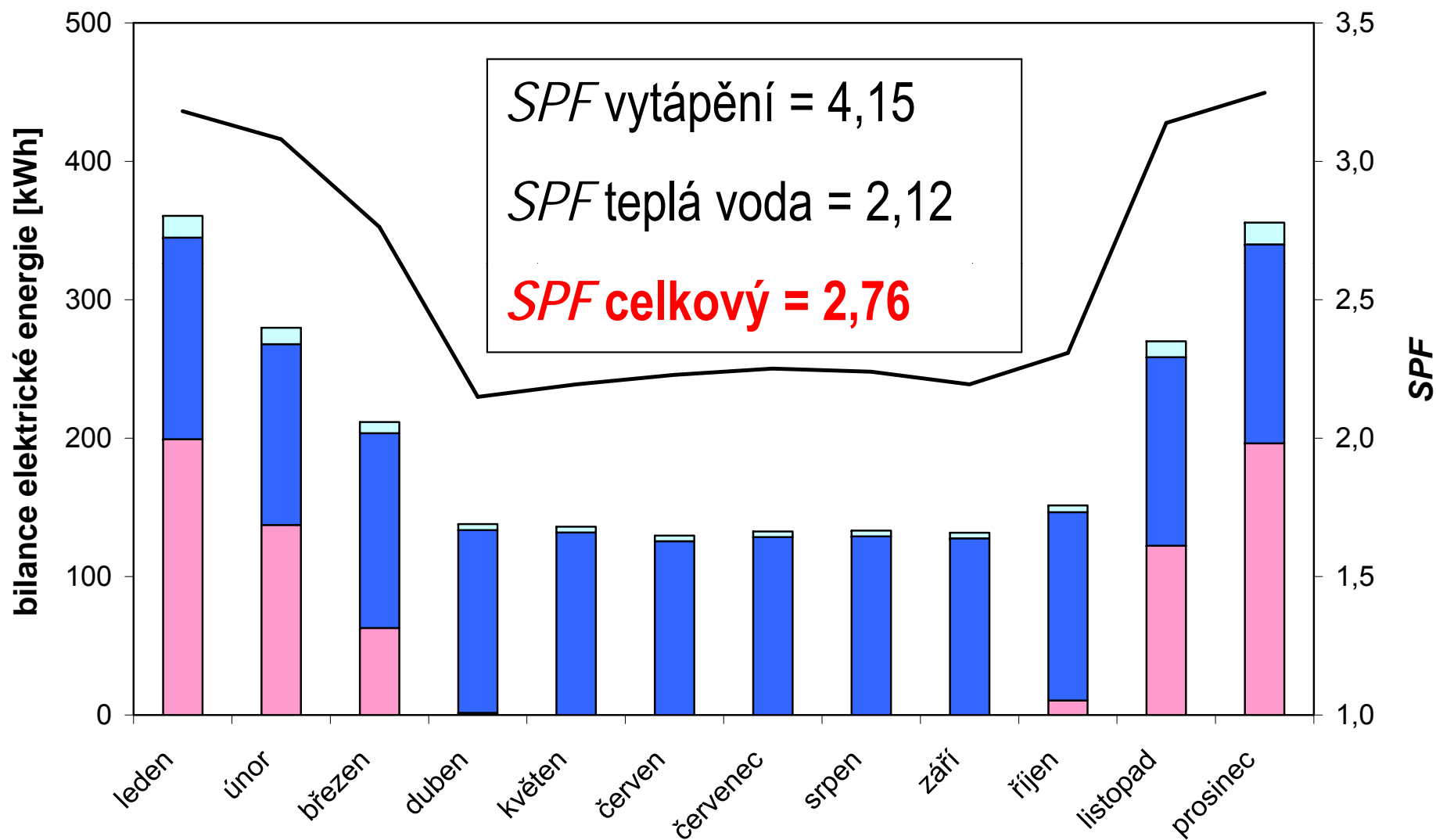
COP 4,3

při B0 / W35





Tepelné čerpadlo země-voda





Je tepelné čerpadlo vhodné?

- **varianty tepelného čerpadla**

- vzduch-voda $EE = 2540 \text{ kWh/rok}$ **$PE = 7620 \text{ kWh/rok}$**
- země-voda $EE = 2430 \text{ kWh/rok}$ **$PE = 7290 \text{ kWh/rok}$**

- **kondenzační plynový kotel a solární soustava**

- $5 \text{ m}^2 \times 350 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) = 1750 \text{ kWh/rok}$ $PE = 88 \text{ kWh/rok}$
- zemní plyn 4966 kWh/rok $PE = 5750 \text{ kWh/rok}$
- celkem **$PE = 5838 \text{ kWh/rok}$**

rozdíl 25 až 30 %



Efektivní využití TČ pro pasivní domy

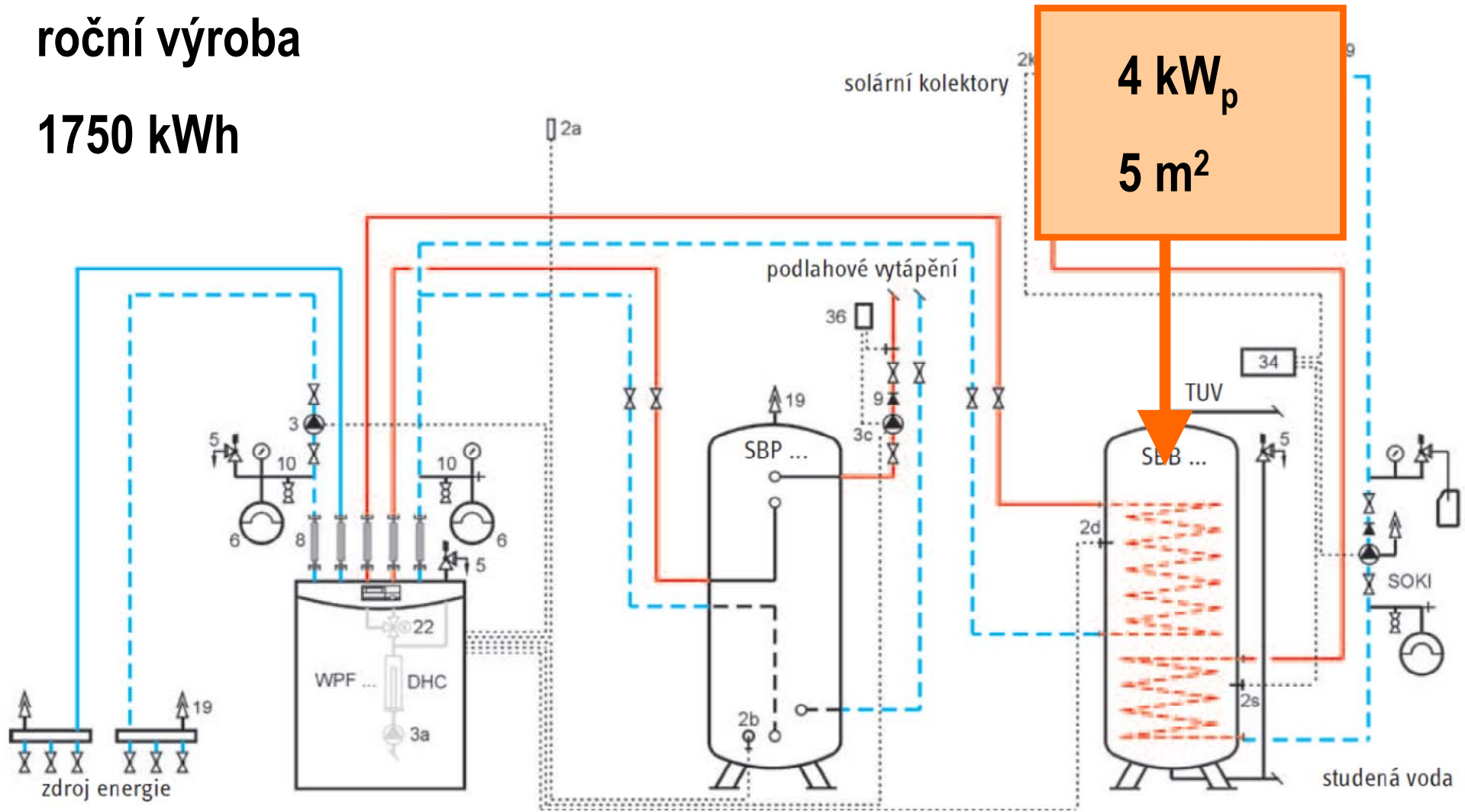
- **koncepce tepelných čerpadel pro efektivnější ohřev vody**
 - příprava teplé vody na nižší teploty (**45 °C**), větší objemy akumulace
 - tepelná čerpadla s dochlazovačem chladiva pro předehřev studené vody
 - kaskádový ohřev teplé vody (zásobníky v sérii), stratifikovaný ohřev
 - tepelná čerpadla s CO₂ (ohřev na vysoké teploty s dostatečným topným faktorem)
- **kombinace s využitím solární energie**
 - ohřev vody solární tepelnou soustavou ($COP > 50$)
 - přímá kompenzace spotřeby elektrické energie FV systémem



Kombinace se solární tepelnou soustavou

roční výroba

1750 kWh





Kombinace se solární tepelnou soustavou

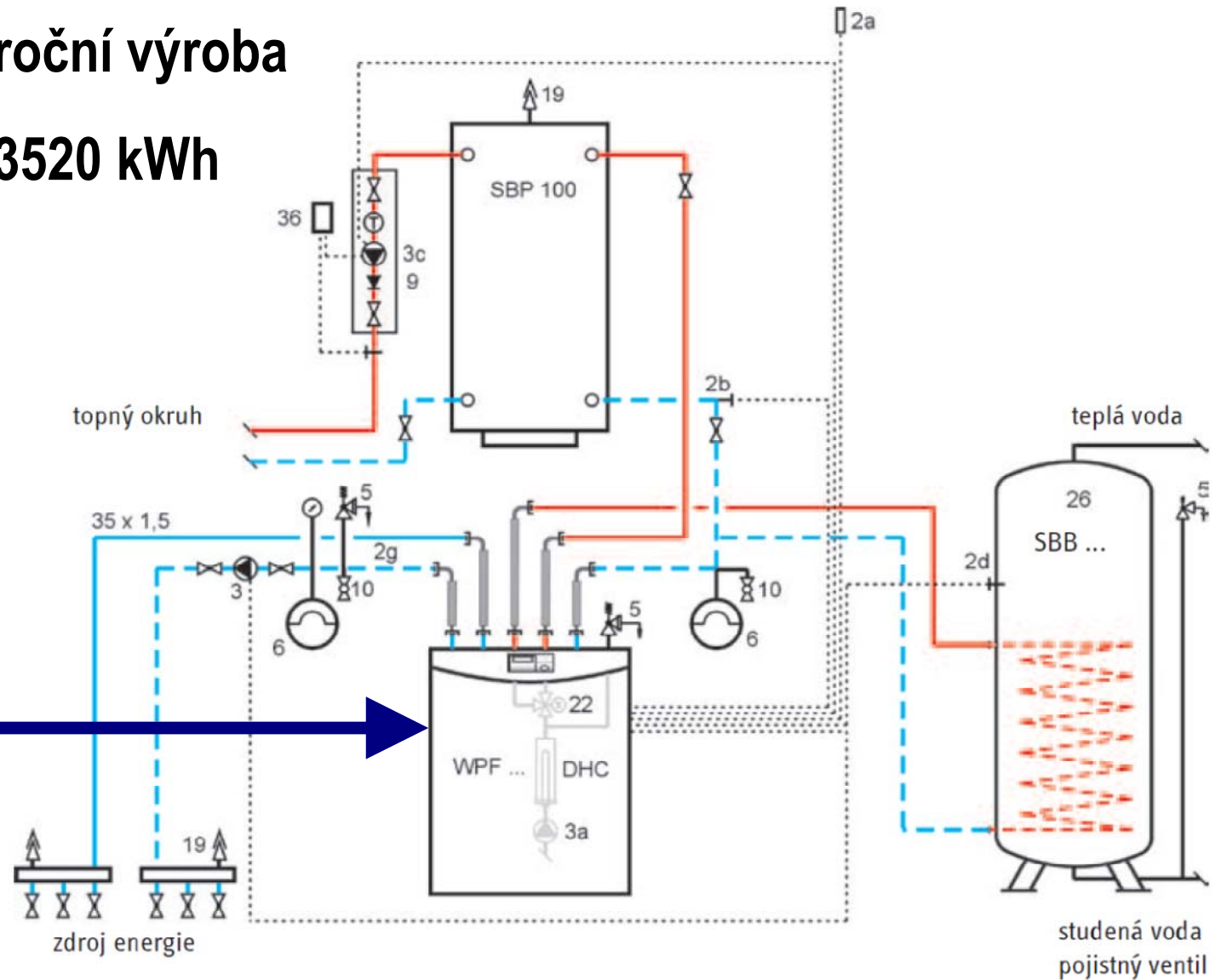
	vzduch – voda			země - voda		
	Vytápění	TV	Celkem	Vytápění	TV	Celkem
Teplo ze solární soustavy	0	1748	1748	0	1748	1748
Teplo z tepelného čerpadla	3175	1765	4941	3201	1767	4968
Teplo z elektrokotle (ze sítě)	26	2	27	0	0	0
El. energie pro TČ (ze sítě)	1033	783	1815	730	826	1556
Pomocná el. energie (ze sítě)	16	70	86	42	86	128
Sezónní topný faktor <i>SPF</i>	2,96	4,11	3,47	4,15	3,85	3,99



Kombinace s fotovoltaickým systémem

4 kW_p
50 m²

roční výroba
3520 kWh





Kombinace s fotovoltaickým systémem

	vzduch – voda			země - voda		
	Vytápění	TV	Celkem	Vytápění	TV	Celkem
Využitá elektřina z FV	176	470	646	140	522	662
Teplo z tepelného čerpadla	3170	3511	6681	3201	3515	6716
Teplo z elektrokotle (ze sítě)	31	4	36	0	0	0
El. energie pro TČ (ze sítě)	856	972	1828	592	1090	1682
Pomocná el. energie (ze sítě)	14	14	28	13	15	28
Sezónní topný faktor <i>SPF</i>	3,51	3,55	3,53	5,29	3,18	3,93



Závěry

- samotné nasazení tepelných čerpadel **běžné koncepce** v pasivních domech je neefektivní (z pohledu primární energie)
- z pohledu primární energie je výhodnější použít kombinaci plynového kotle a solární soustavy
- kombinace **s využitím solární energie** umožňuje zlepšit bilanci a splnit požadavky na *SPF*
- použití **5 m²** solárních kolektorů a **50 m²** fotovoltaických panelů (při účinnosti 7 %) **je srovnatelné**

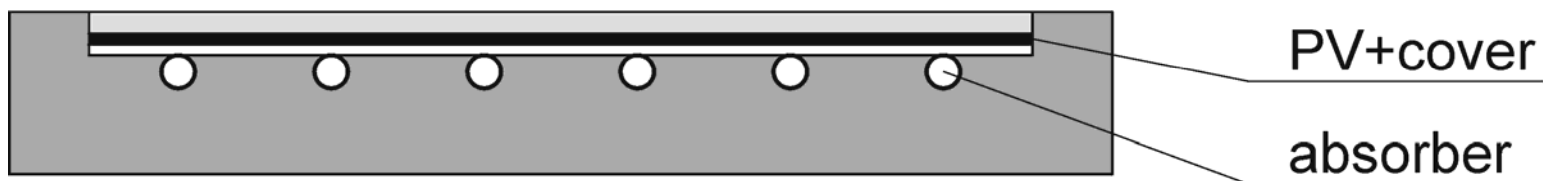


Hybridní kolektor FVT-kapalina

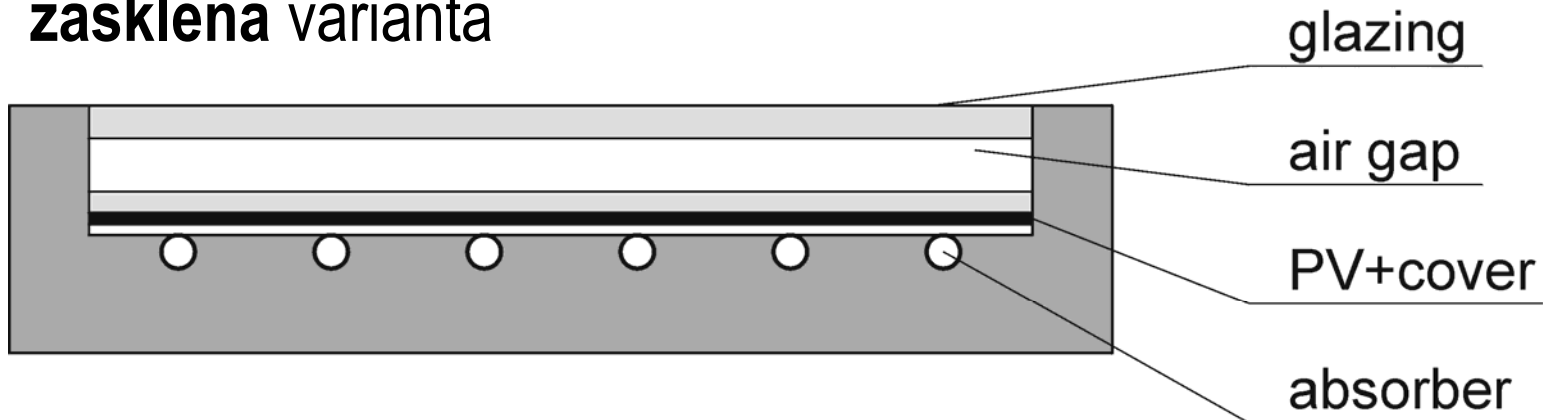
kolektor FVT-kapalina: výměník tepla pro chlazení zadní strany

vyžaduje velmi dobrý tepelný kontakt s FV článkem

nezasklená varianta

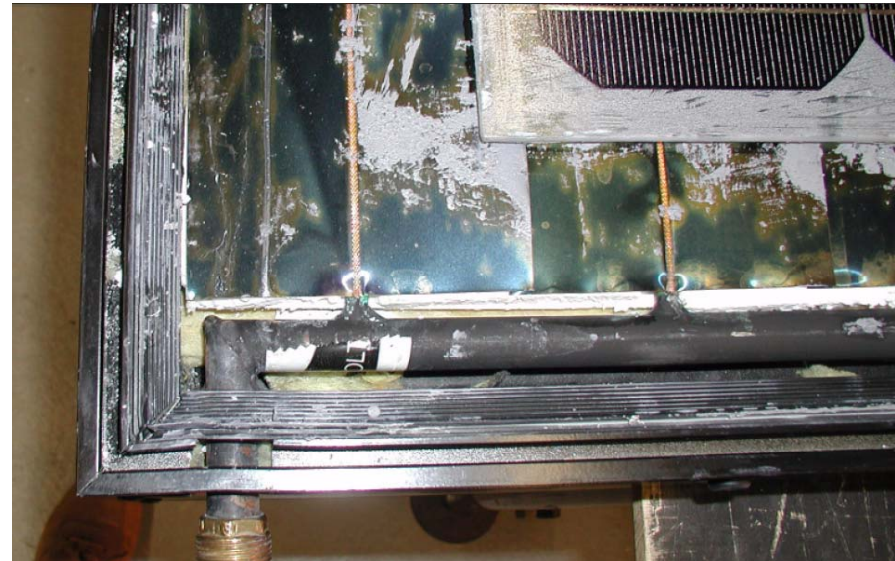
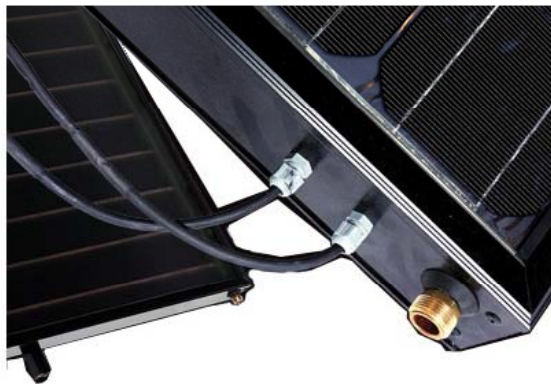
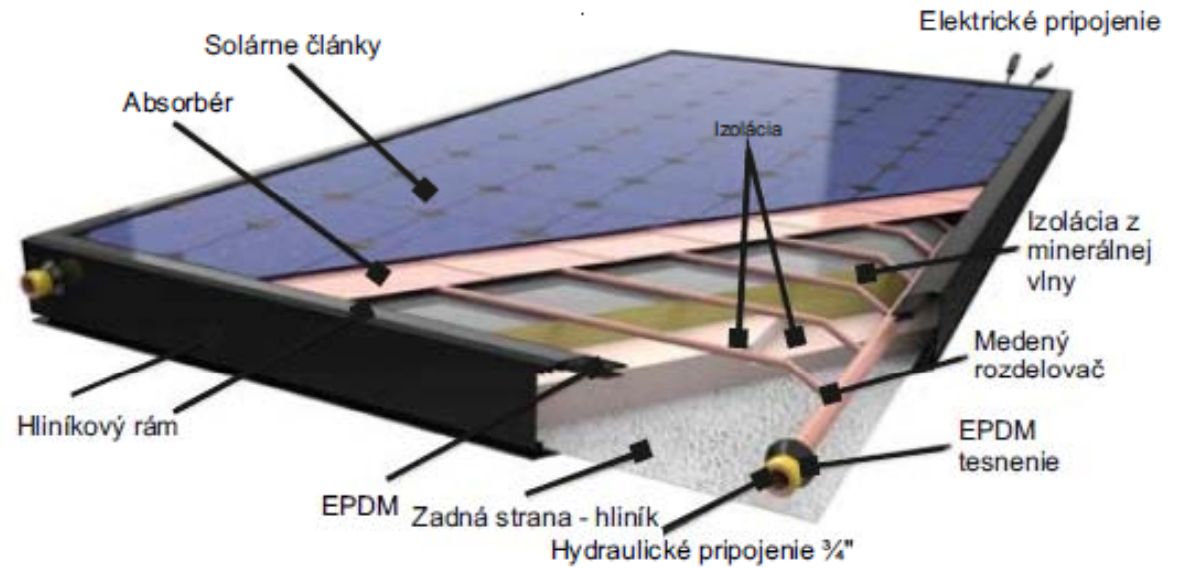


zasklená varianta



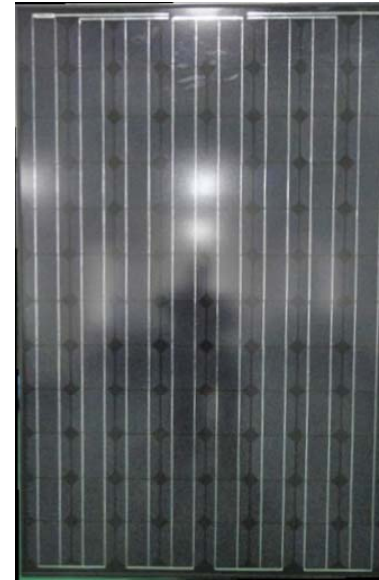


Hybridní FVT kolektory na trhu





Hybridní FVT kolektory na trhu



■ cena !

- FV(pc) moduly: < 200 EUR/m², pod 1400 EUR/kWp
- FV-T moduly: 450 to 950 EUR/m², 3000 – 7000 EUR/kWp
- VT pod PV modul ~ 50 to 80 EUR/m²



Projekt MacSheep (<http://www.macsheep.spf.ch>)



ENERGY.2011.4.1-1

Revisiting solar-thermal systems for using breakthroughs in scientific and technological fields

New **M**aterials and **C**ontrol for a next generation of compact combined **S**olar and **h**eat pump systems with boosted **e**nergetic and **e**xergetic **p**erformance

- **cíl:** vyvinout inovativní kompaktní systém kombinujících technologií solárních soustav a tepelných čerpadel pro přípravu teplé vody a vytápění s použitím:
 - informačních a telekomunikačních technologií (ICT), nových materiálů a technologií



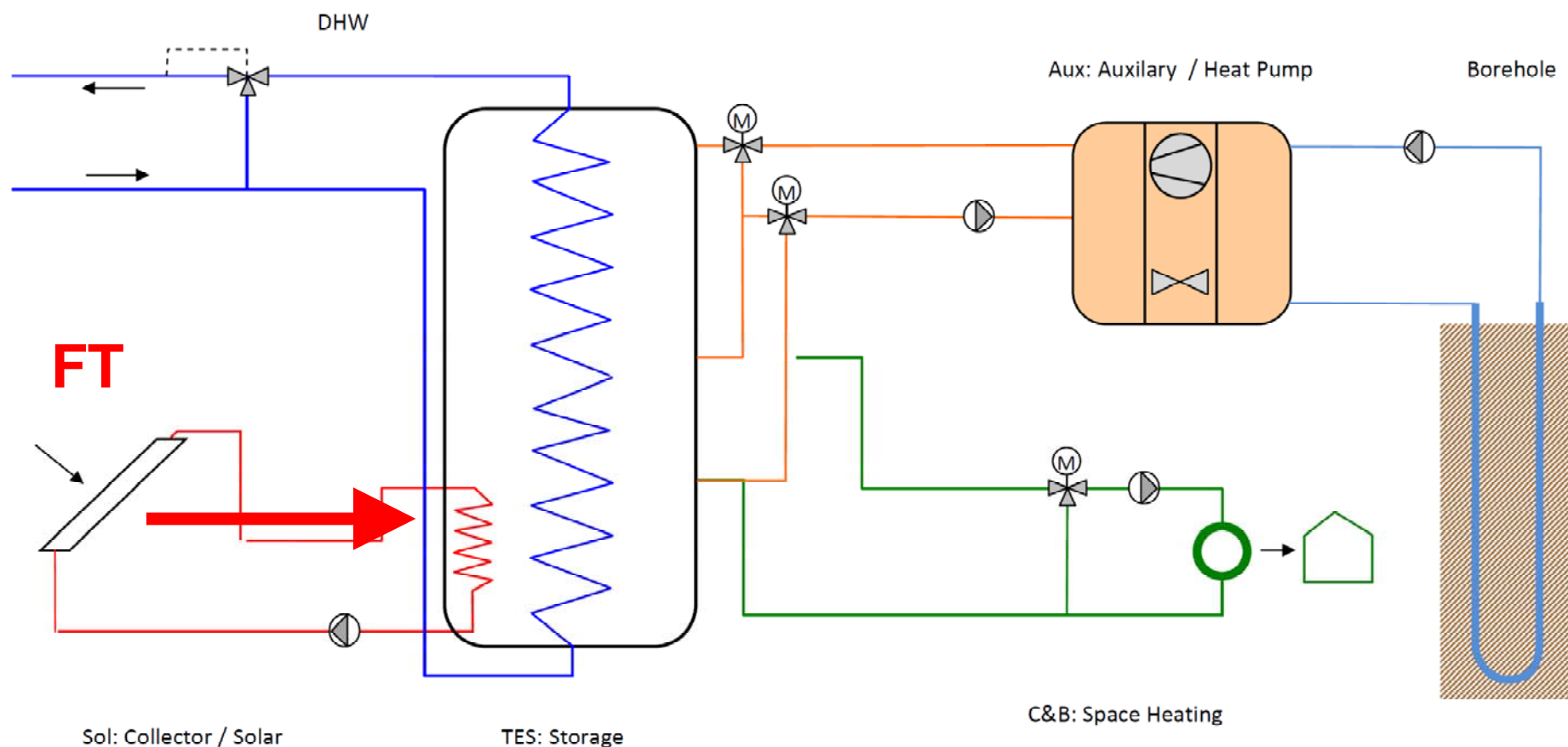
SWISS SOLAR ENERGY PRODUCTS
SINCE 1973





Solární soustava + TČ jako výchozí varianta

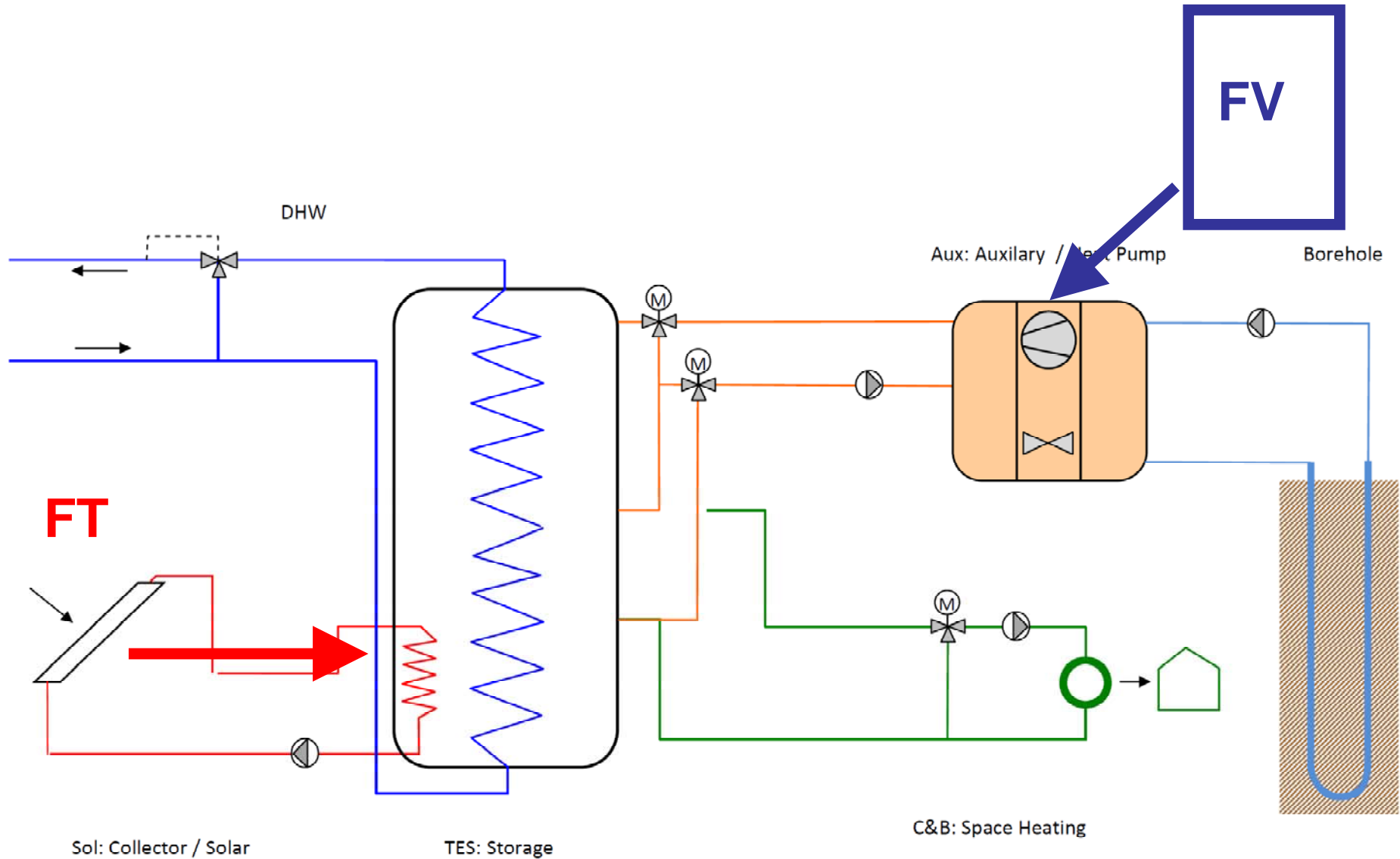
„state of art“ systém: paralelní kombinace solární soustavy a tepelného čerpadla s kvalitními prvky (kolektor, TČ), dostupné na trhu



cíl: snížit potřebu elektrické energie o **25 %** při **stejně ceně** soustavy



FV v kombinaci s tepelným čerpadlem





FV v kombinaci s tepelným čerpadlem

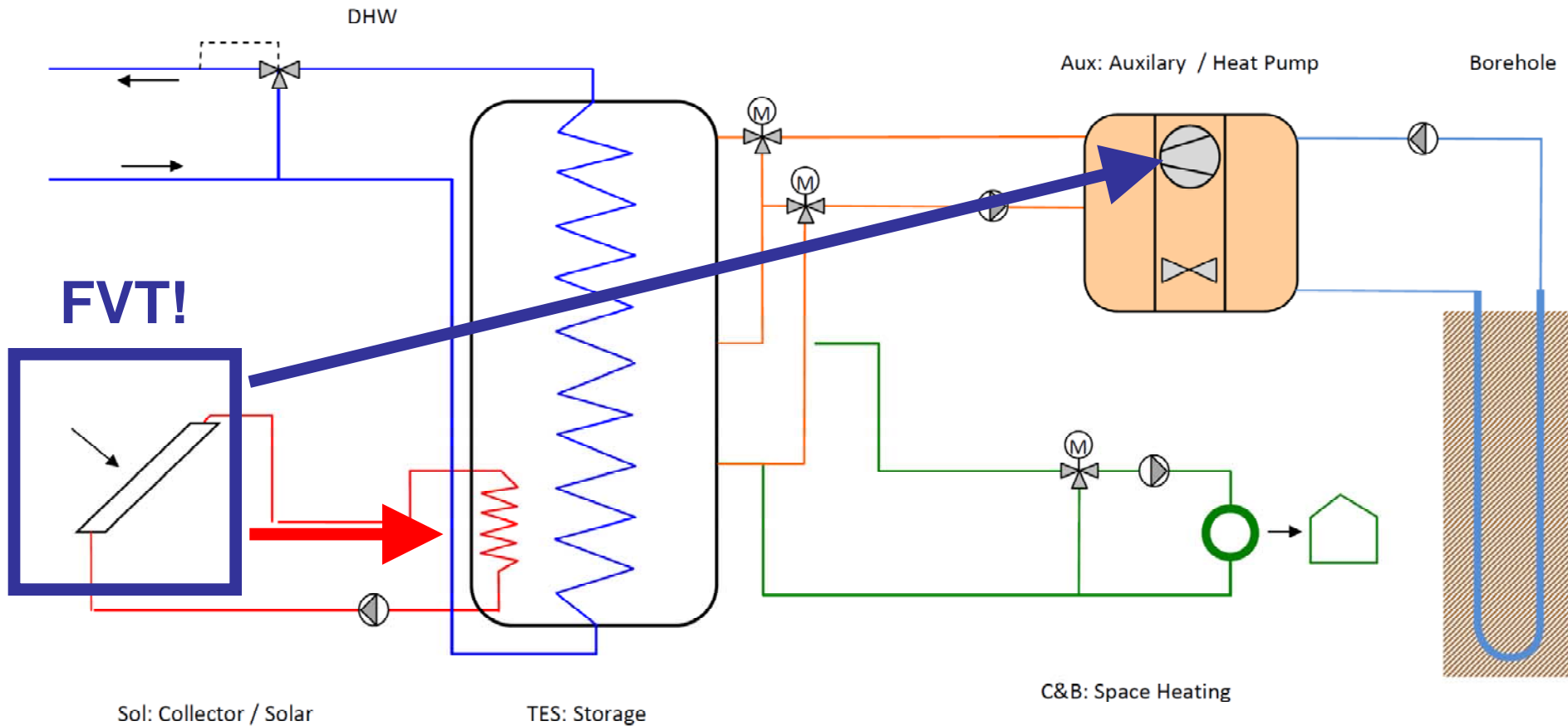
ponechání referenčních plochých zasklených SK

- FV: 15 m² FV panelů, 2.25 kWp
- náklady na FV systému 3200 EUR
- započtené pouze podílem využité elektřiny v kombinovaném **SHP** systému

	Δcost [EUR]	ΔW_{el} [%]	$PV_{\text{el}} \text{ use}$ [%]	$\Delta\text{cost/year}$ [EUR/a]
FV	+430	-11	10.3	-53



FVT v kombinaci s tepelným čerpadlem



zasklený FVT kolektor

nezasklený FVT kolektor



FVT v kombinaci s tepelným čerpadlem

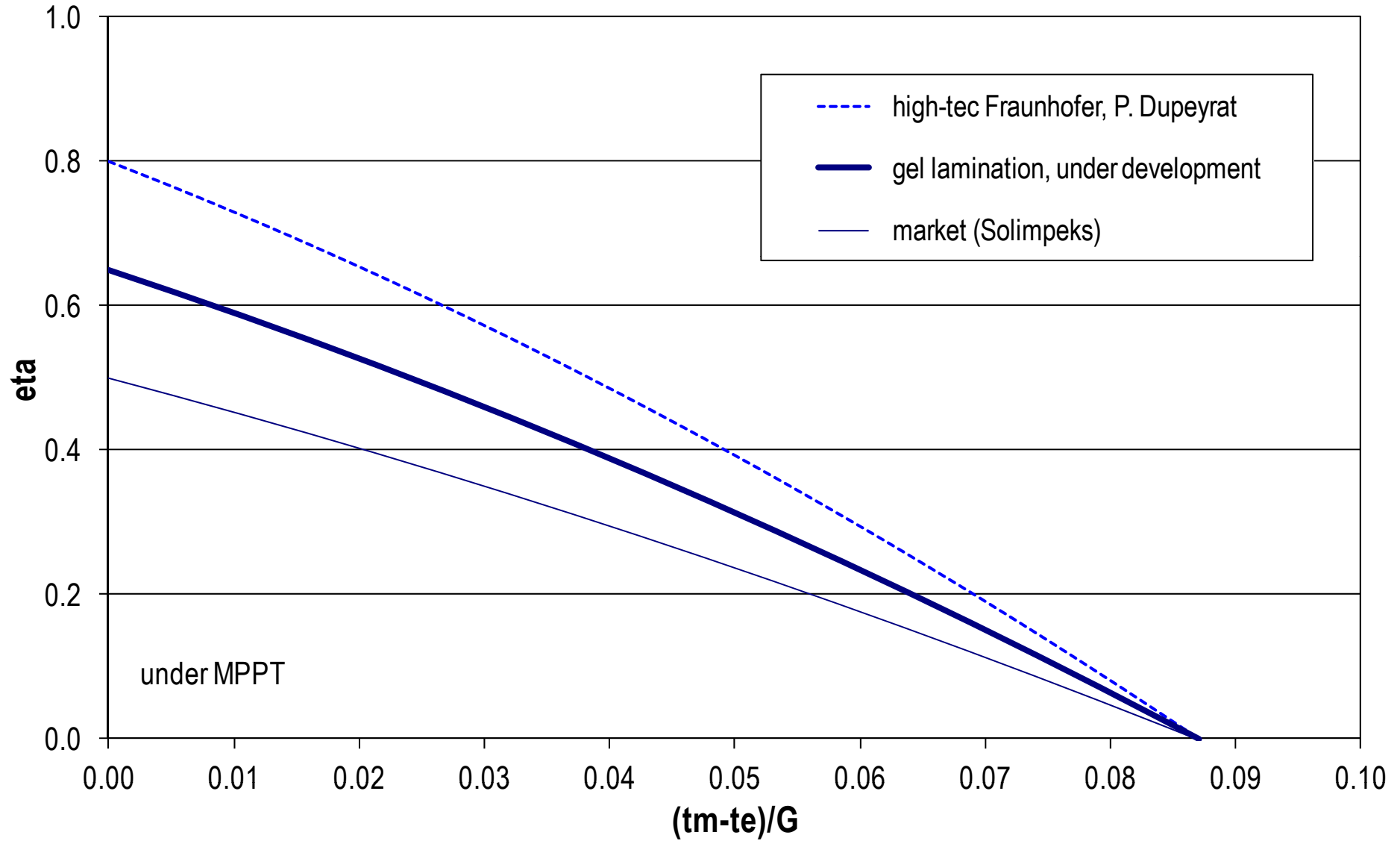
nahrazení 9.3 m² referenčních plochých zasklených SK

- COM: 15 m² **nezasklený** komerční FVT 450 EUR/m²
- LC: 15 m² **nezasklený** nízkonákladový FVT 250 EUR/m²
- náklady na zbytek FV systému 1575 EUR, započtené pouze podílem využití elektřiny v kombinovaném **SHP** systému

	Δcost [EUR]	ΔW_{el} [%]	$\text{PV}_{\text{el}} \text{ use}$ [%]	$\Delta\text{cost/year}$ [EUR/a]
COM	2085	4	14.5	190
LC	-912	6	14.6	-29



zasklený FVT: ve vývoji





FVT v kombinaci s tepelným čerpadlem

nahrazení referenčních plochých zasklených SK

- REP: 10 m² **zasklený vývojový** FVT 450 EUR/m²
- SER: 10 m² **zasklený vývojový** FVT 450 EUR/m² + 4.6 m² referenční kolektor
- náklady na zbytek FV systému 1575 EUR, započtené pouze podílem využití elektřiny v kombinovaném **SHP** systému

	Δcost [EUR]	ΔW_{el} [%]	$PV_{\text{el}} \text{ use}$ [%]	$\Delta\text{cost/year}$ [EUR/a]
REP	329	0	19.0	28
SER	2217	-5	18.1	120



FVT v kombinaci s TČ s regulací výkonu

nahrazení referenčních plochých zasklených SK

- kompresor s regulací výkonu (digital scroll) podle produkce FVT kolektorů
- REP: 15 m² **nezasklený** nízkonákladový FVT 250 EUR/m²
- náklady na zbytek FV systému 1575 EUR, započtené pouze podílem využití elektřiny v kombinovaném **SHP** systému

	Δcost [EUR]	ΔW_{el} [%]	$PV_{\text{el}} \text{ use}$ [%]	$\Delta\text{cost/year}$ [EUR/a]
REP	1	-3	28	-21



Děkuji za pozornost

Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí

Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Technická 4, 166 07 Praha 6

tomas.matuska@fs.cvut.cz



SOLAB

Solární laboratoř Ústavu techniky prostředí
Fakulty strojní ČVUT v Praze

