

Speciální aplikace FV systémů

Tomáš Matuška

RP2 – Energetické systémy budov

Univerzitní centrum energeticky efektivních budov

ČVUT v Praze

Fotovoltaický ohřev vody

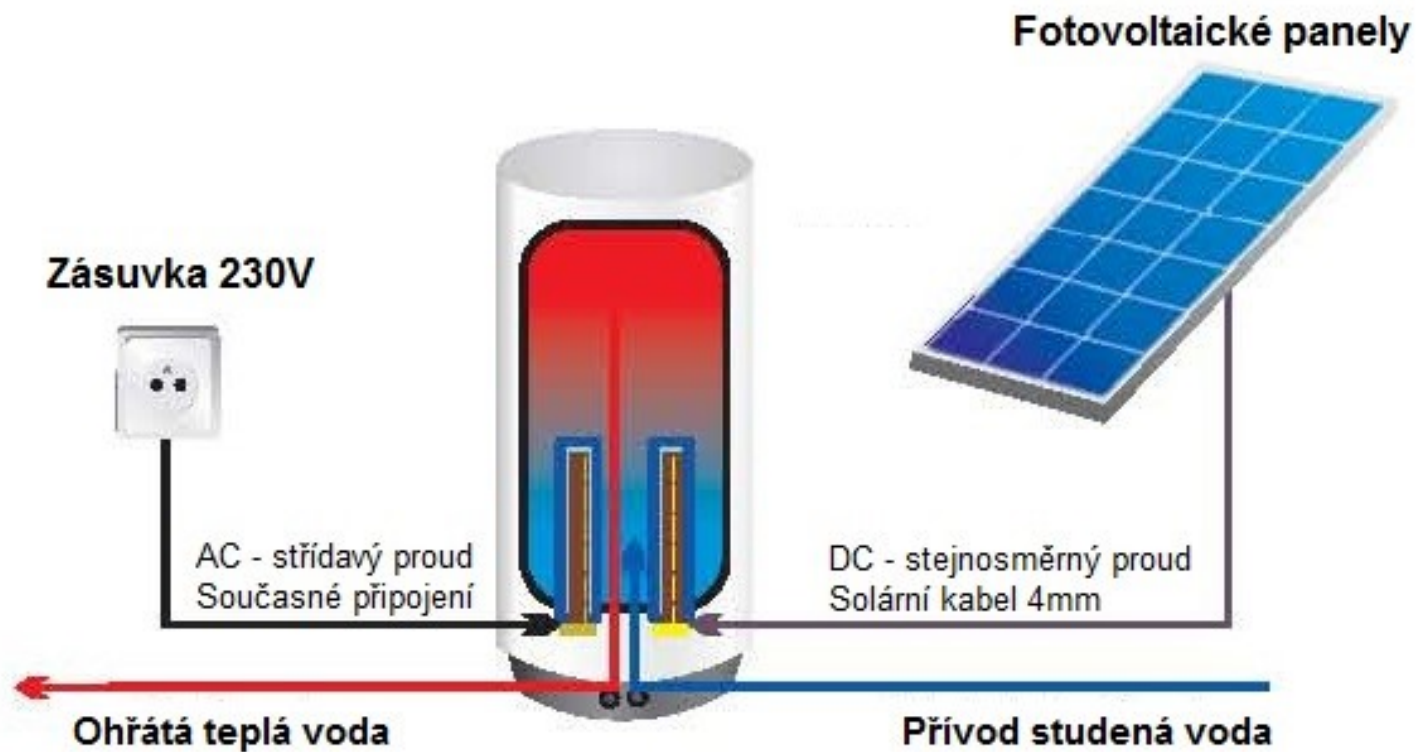
(a jeho porovnání s fototermickým ...)

- **srovnávací analýza ohřevu vody sluneční energií**
 - za srovnatelných podmínek (odběru tepla, klimatické podmínky)
 - stejným výpočtovým nástrojem (TRNSYS) za použití stejného modelu zásobníku
- **určit**
 - energetické přínosy
 - ekonomické parametry
- **fotovoltaický systém bez sledovače**
- **fotovoltaický systém se sledovačem (MPPT)**
- **fototermický systém**

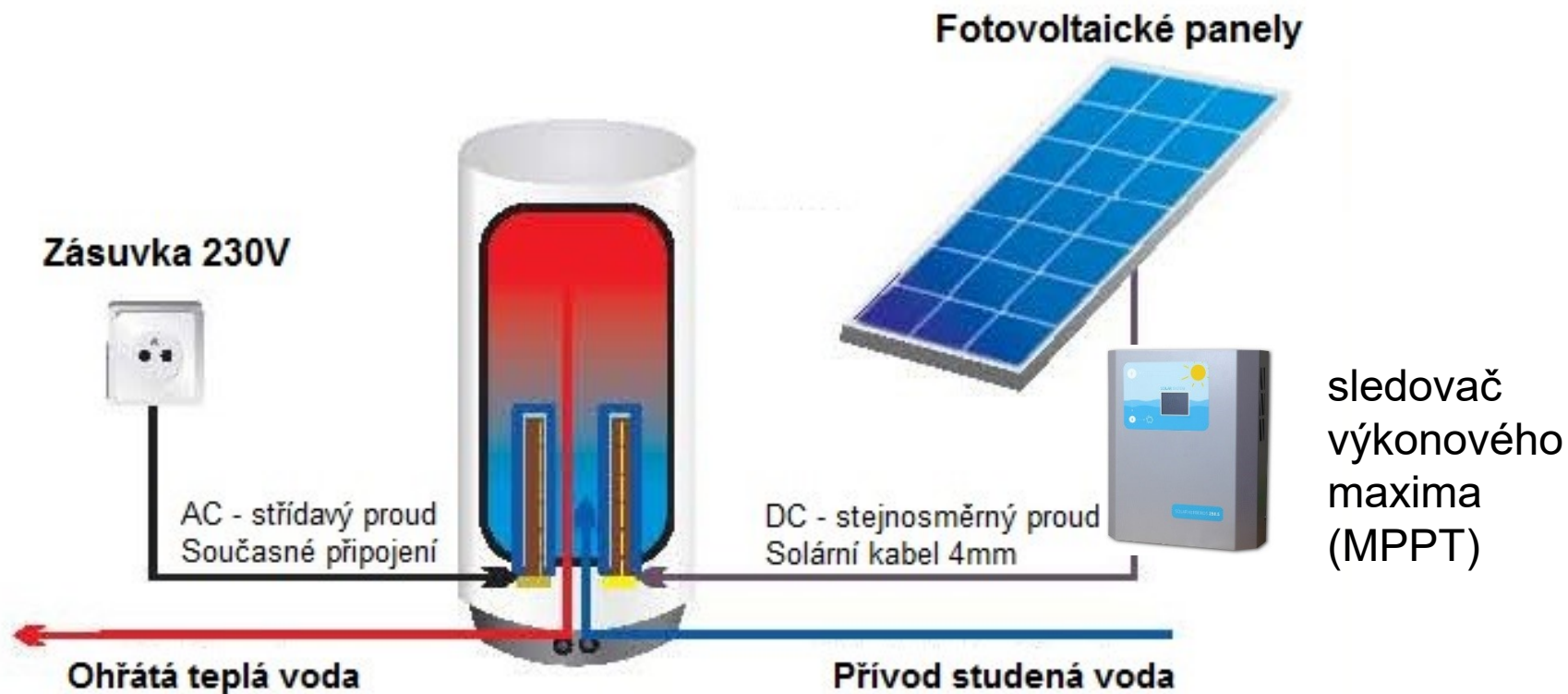
**samostatné
systémy ohřevu**

- u **FOTOTERMICKÝCH KOLEKTORŮ** jsou závislé na:
 - výkonové hustotě slunečního záření, úhlu dopadu záření
 - rozdílu teplot kapalina – okolí
 - technologii: ploché, trubkové vakuové, koncentrační, ...
- u **FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ** jsou závislé na:
 - výkonové hustotě slunečního záření, úhlu dopadu záření
 - teplotě okolí, proudění vzduchu okolo panelu ... teplotě panelu
 - technologii: monokrystalické, polykrystalické, amorfní, ...

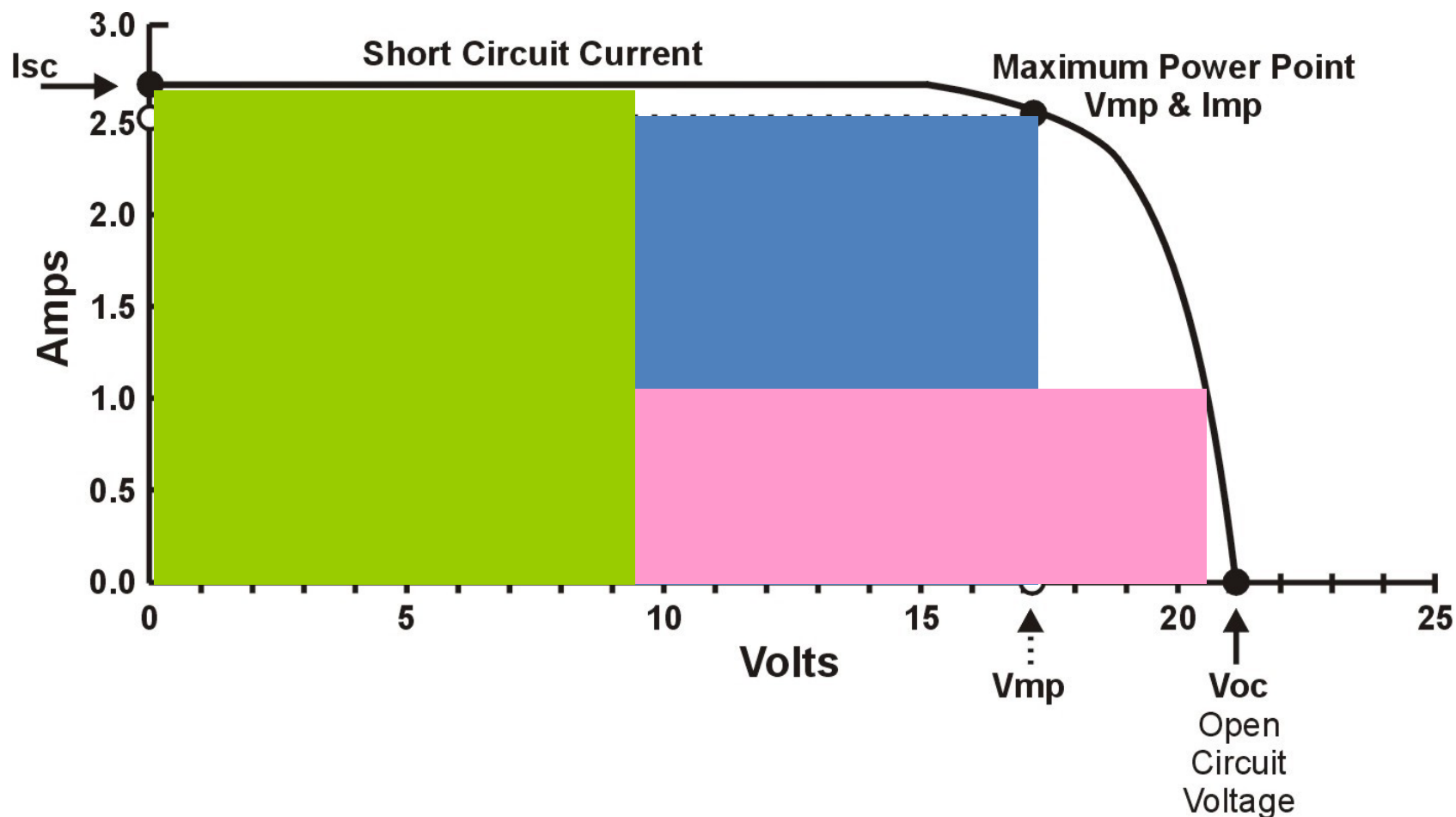
) FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY BEZ SLEDOVAČE MAXIMA



) FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY SE SLEDOVAČEM MAXIMA

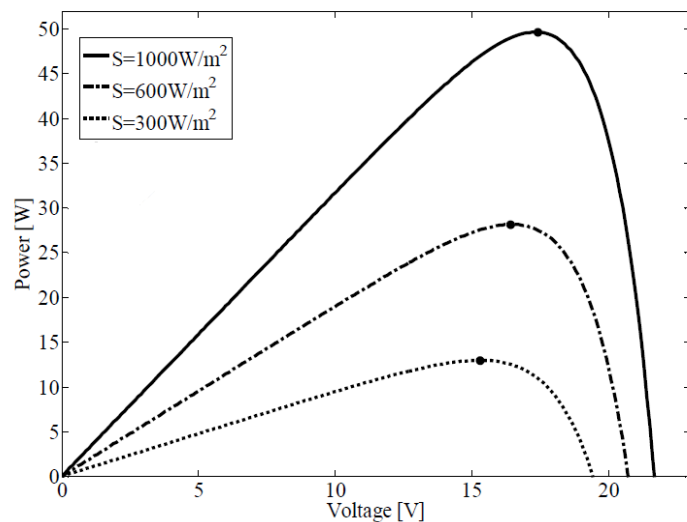
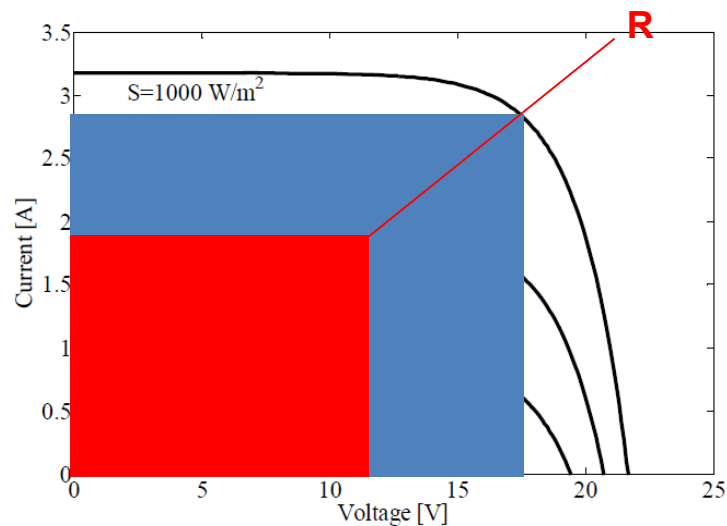


Voltampérová charakteristika FV článku

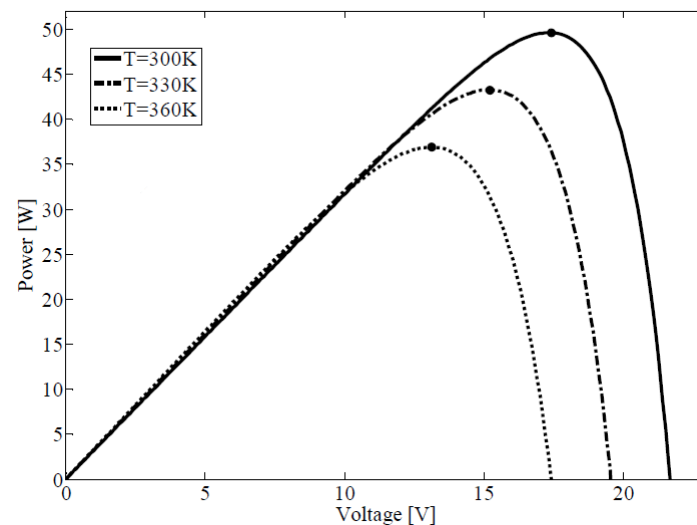
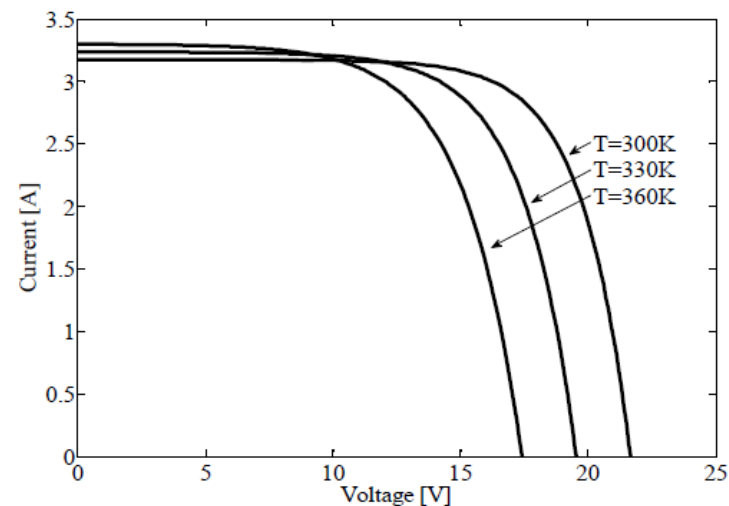


SLEDOVÁNÍ VÝKONOVÉHO MAXIMA U FV PANELŮ

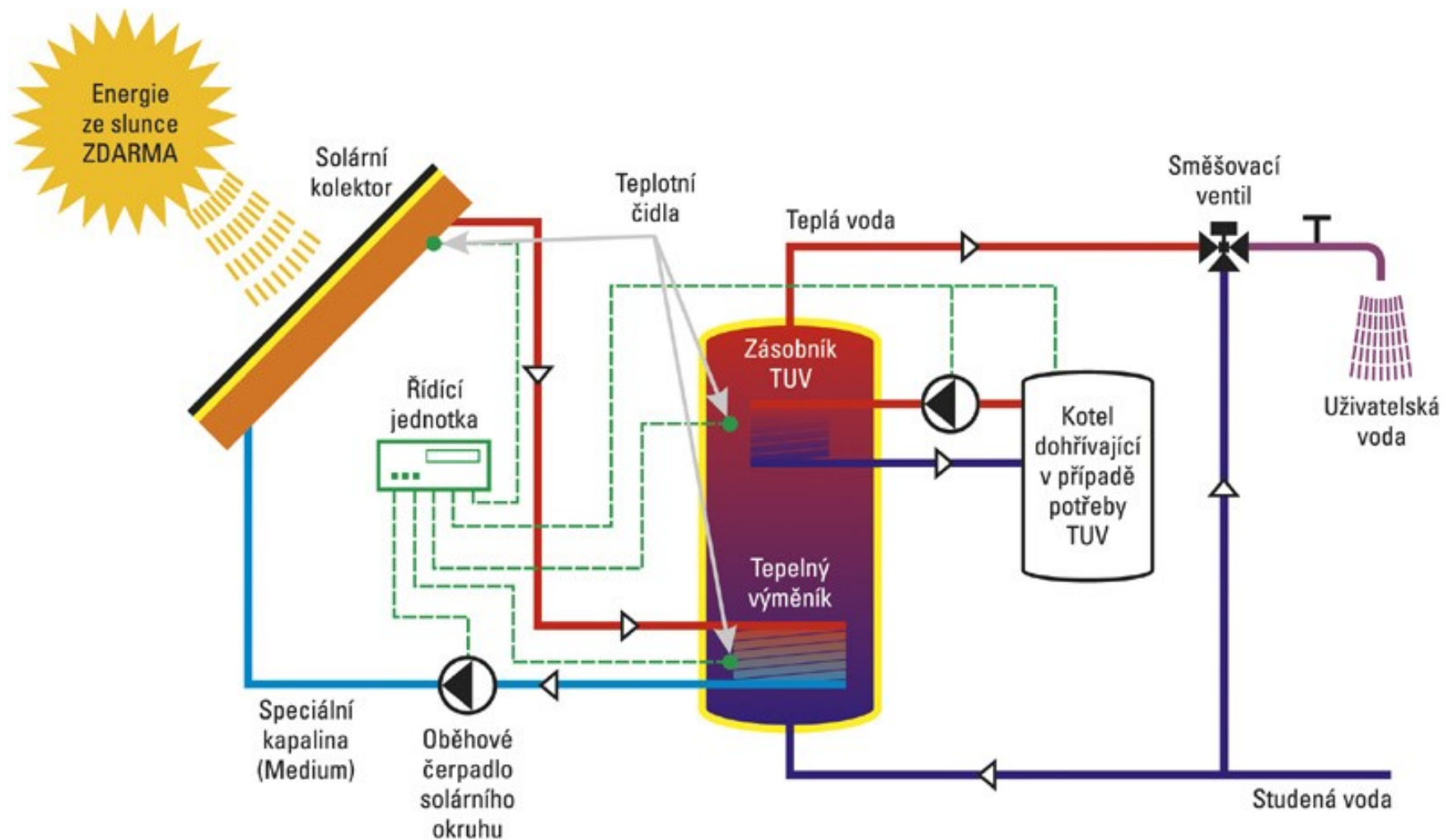
sluneční ozáření



teplota panelu



FOTOTERMICKÝ OHŘEV VODY



- **metoda – simulace v TRNSYS**

simulační prostředí určené pro výzkum a vývoj aplikací
původně vyvinuté pro solární systémy

- **klimatické údaje**

typický meteorologický rok pro Prahu (TMY)

konzervativní údaje o slunečním záření

roční úhrn na vodorovnou rovinu **998 kWh/m².rok**

- **odběr teplé vody**

160 l/den teplé vody **55 °C**, studená voda **10 °C**

denní profil pro domácnost podle ČSN EN 15450, přepočítaný na 160 l/den
potřeba tepla **2767 kWh/rok**

) PARAMETRY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ

8 panelů x 1.645 m² = 13.16 m²

8 panelů x 250 W = 2 kW_p

ELECTRICAL PERFORMANCE Y-SER

PV Module Type

KD250GH-4YB2

At 1000 W/m² (STC)⁽¹⁾

Maximum Power [W] 250

Maximum System Voltage [V] 1000

Efficiency [%] 15.1

At 800 W/m² (NOCT)⁽²⁾

Maximum Power [W] 180

Maximum Power Voltage [V] 26.8

Maximum Power Current [A] 6.72

Open Circuit Voltage (V_{oc}) [V] 33.7

Short Circuit Current (I_{sc}) [A] 7.36

Power Tolerance [%] +5 / -3

Maximum Reverse Current I_r [A] 15

Series Fuse Rating [A] 15

Temperature Coefficient of Max. Power [%/K] -0.46

Reduction of Efficiency (from 1000 W/m² to 200 W/m²) [%] 6.7

) PARAMETRY SOLÁRNÍHO ZÁSOBNÍKU TEPLÉ VODY

• Zásobníkový ohřivač

vodní objem **195 l**

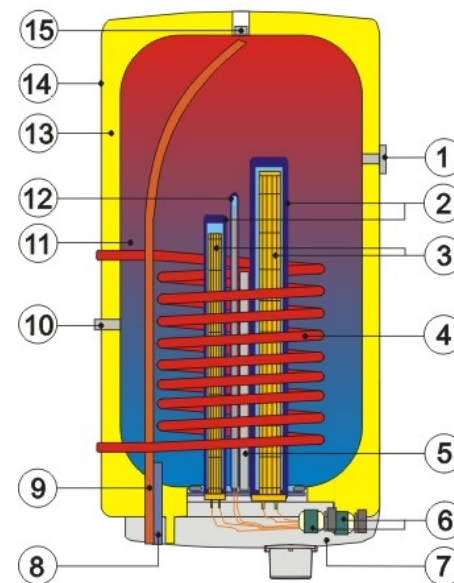
DC topné těleso **2,0 kW** v dolní části

AC topné těleso 2,0 kW v dolní části

denní tepelná ztráta **1,4 kWh/den** (pro 45 K)

rozměry

doporučená max. teplota v zásobníku **75 °C**

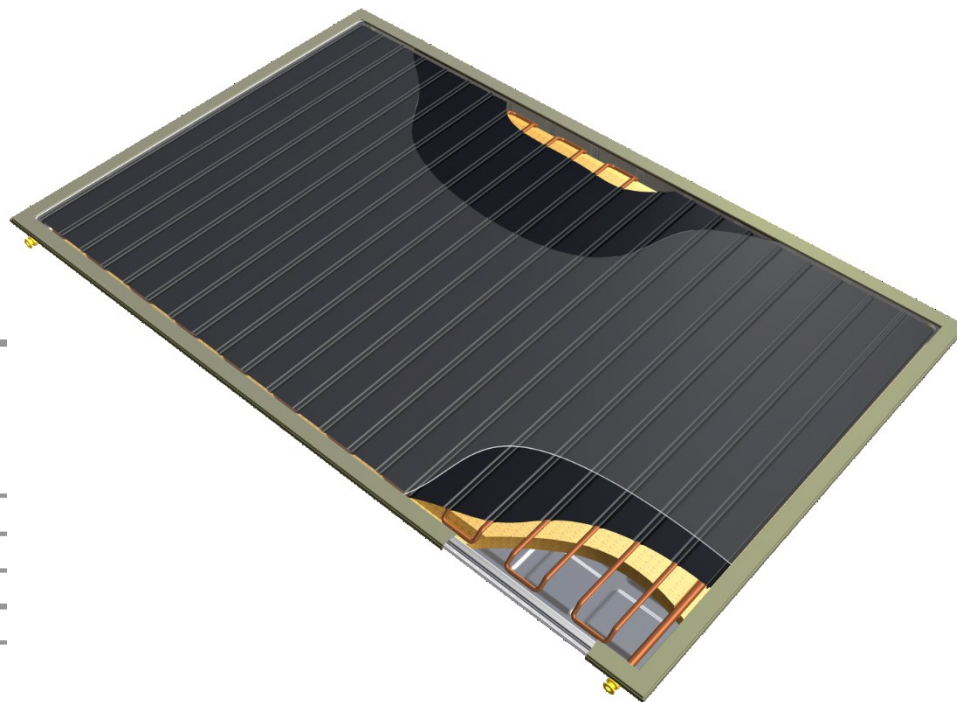


Typ ohřivače	Elektrický proud pro ohřev	Tepelné ztráty [kWh/24h]	Objem [l]	Hmotnost [kg]	Výška x průměr [mm]	Příkon AC spirály [kW]	Teplostěnná plocha výměníku [m²]	Jmenovitý tepelný výkon výměníku při teplotě topné vody 80°C a průtoku 720l/h [kW]
LX ACDC/M+K 100 A,B,C	AC+DC	0,88	95	58	881 x 524	2	1	24
LX ACDC/M+K 125 A,B,C	AC+DC	1,09	120	64	1046 x 524	2	1	24
LX ACDC/M+K 160 A,B,C	AC+DC	1,39	147	72	1235 x 524	2	1	24
LX ACDC/M+K 200 A,B,C	AC+DC	1,40	195	88	1287x584	2	1	24
LX ACDC/M + KW 200 A,B,C	AC+DC	1,40	195	88	1287x584	2	1	24*

) MATEMATICKÝ MODEL FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ

- detailní model FV panelu, komplexní voltampérová charakteristika
- uvažována optická charakteristika panelu (IAM)
- **není uvažováno s degradací** účinnosti FV panelu během let provozu
- uvažovány elektrické ztráty **2 %**
- uvažovány tepelné ztráty / zisky zásobníku TV
- max. teplota v zásobníku **85 °C**
- **AC těleso není zapojeno**
- varianty:
 - MPPT on (se sledováním výkonového maxima)
 - MPPT off (bez sledování výkonového maxima, **$R = 25 \Omega$**)

2 kolektory x 2.26 m² = 4.52 m²



	Aperture area (Aa)	Gross length
Collector name	[m ²]	[mm]
TS 300	1,78	2 009
TS 250	1,78	2 009
		2 009

Collector efficiency parameters related to <u>aperture area (Aa)</u>			-
Type of fluid and flow rate see note 1			W/(m ² K)
			W/(m ² K ²)
Stagnation temperature - Weather conditions see note 2	tstg	196	°C
Effective thermal capacity	Ceff = C/Aa	6,02	kJ/(m ² K)
Max. operation pressure - see note 3	pmax	600	kPa
Incidence angle modifiers K _θ (θ)			

- **Zásobníkový ohřivač**

vodní objem **200 l**

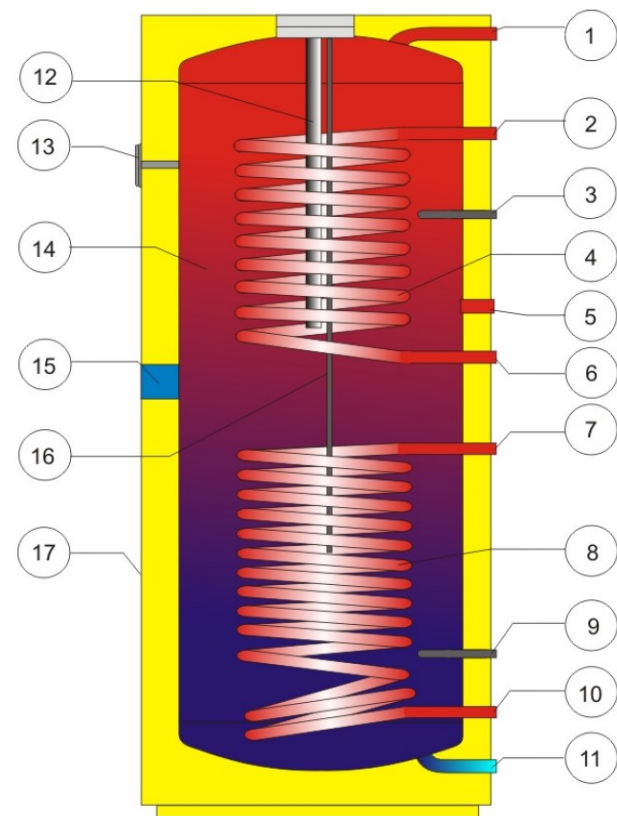
AC topné těleso 2,0 kW v horní části

denní tepelná ztráta **1,4 kWh/den** (pro 45 K)

rozměry

doporučená max. teplota v zásobníku **95 °C**

výměník tepla plocha **1 m²**



) MATEMATICKÝ MODEL FOTOTERMICKÉHO SYSTÉMU

- detailní model solárního kolektoru, křivka účinnosti
- uvažována optická charakteristika panelu (IAM)
- uvažovány ztráty potrubí kolektorového okruhu (18x1 mm), délka 40 m
- uvažovány tepelné ztráty / zisky zásobníku TV
- max. teplota v zásobníku **85 °C**
- **AC topné těleso není zapojeno**
- **uvažována spotřeba** elektrické energie na pohon čerpadla 25 W

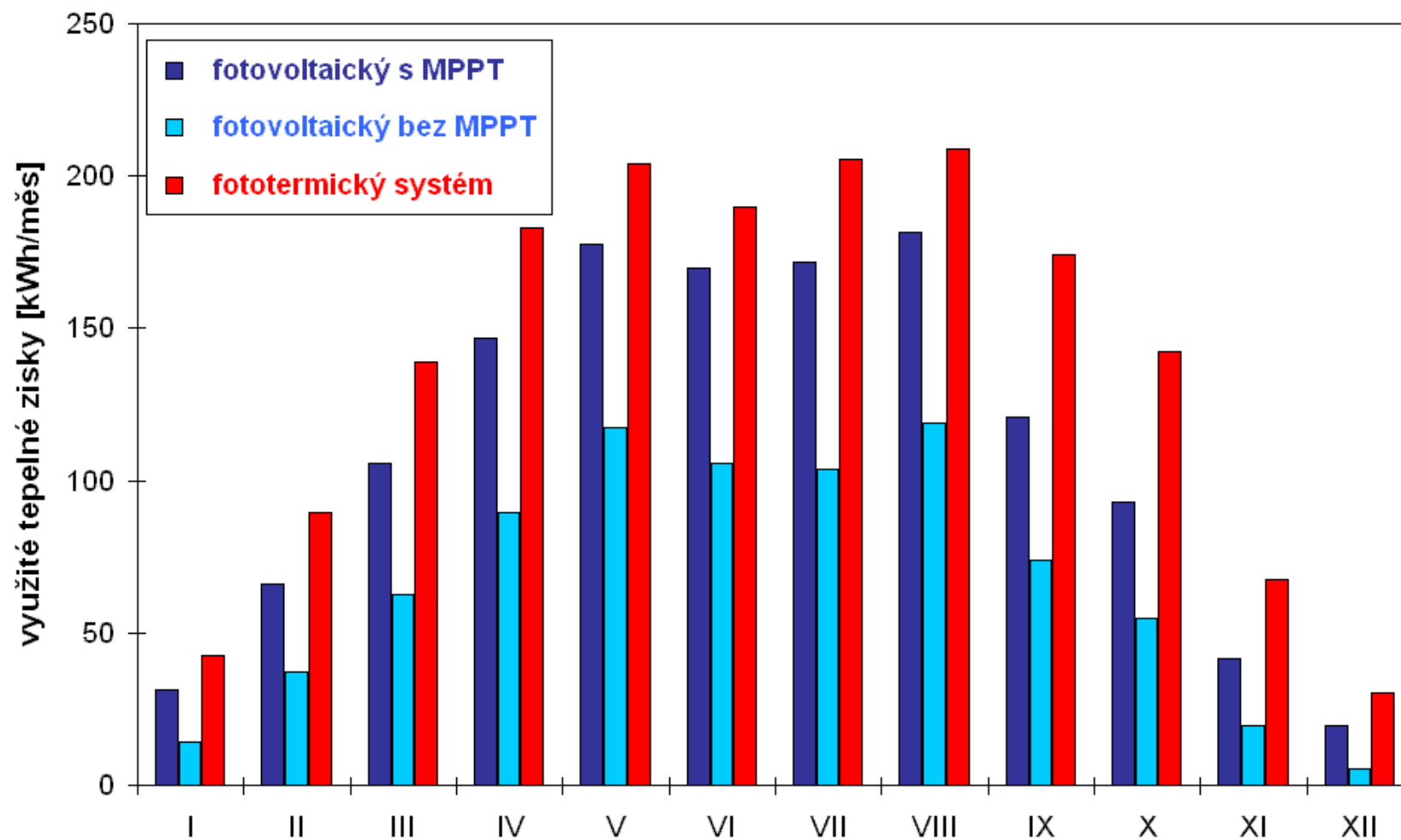
System	dohřev kWh/rok	využité zisky kWh/rok	solární podíl %
FV MPPT off	1964	803	29
FV MPPT on	1442	1325	48
FT	1090	1677	61

FV systém bez sledování výkonu

výrazně horší provoz oproti ideálnímu MPPT
(cca o 40 % nižší produkce) – nevhodně zvolený el. odpor DC tělesa

FT systém s měrnými zisky **nad 370 kWh/m².rok**

) PRŮBĚH ZISKŮ BĚHEM ROKU



- **FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY BEZ SLEDOVAČE** **65 tis. Kč**
 - FV panely, zásobník TV s DC tělesem, konstrukce na střechu, rozvaděč s ochranami, kabeláž 20 m 60 000 Kč
 - montáž 5 000 Kč (?)
- **FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY SE SLEDOVAČEM** **90 tis. Kč**
 - navíc regulátor s MPPT +25 000 Kč
- **FOTOTERMICKÝ OHŘEV VODY** **85 tis. Kč**
 - FT kolektory + příslušenství, nosná konstrukce, zásobník TV, čerpadlová skupina, regulátor, kapalina, potrubí, izolace 70 000 Kč
 - práce (elektro, instalace, doprava) 15 000 Kč

- **cena energie**

- cena elektřiny uvažována 2.5 Kč/kWh
- roční růst ceny 5 %

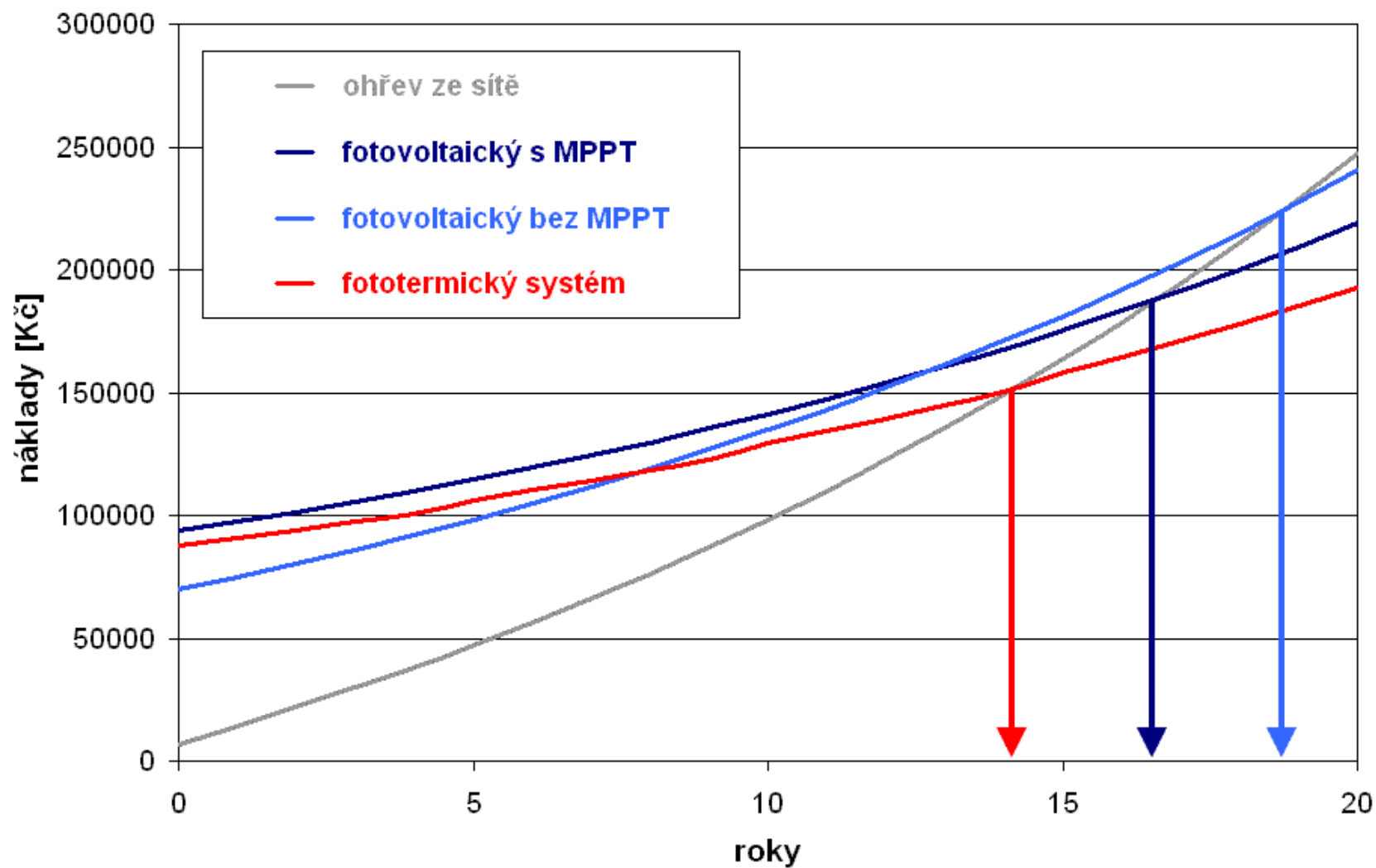
- **cena vložených prostředků**

- vlastní finance v bance s úrokem 0.1 %

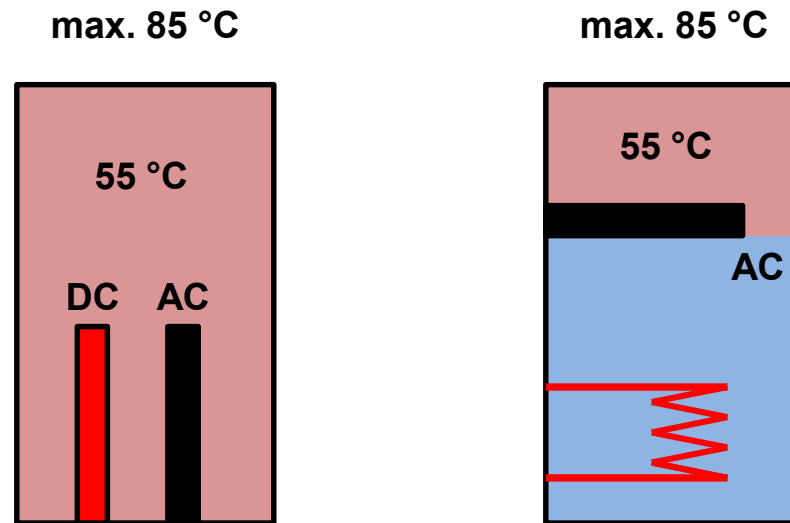
- **ostatní**

- FT systém: po 5 letech výměna kapaliny
- FT systém: započtení spotřeby elektřiny na pohon čerpadla

) EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ



- provoz při současném provozu AC topného tělesa (v obou systémech)
 - AC těleso v provozu při poklesu pod 55 °C (odběr ráno, odběr večer)
 - snížení využitelnosti zásobníků
 - **v reálném systému FV ohřevu se zisky sníží více**



System	dohřev kWh/rok	využité zisky kWh/rok	solární podíl %
FV MPPT off	2332	435	16
FV MPPT on	1767	1000	36
FT	1324	1443	52

FV systém bez sledování výkonu – propad na téměř **polovinu!**

FV systém se sledovačem výkonu – snížení **o 25 %**

FT systém – snížení **o 14 %**

adekvátně se zhorší návratnosti

) POROVNÁNÍ VÝKONOVĚ STEJNÝCH SYSTÉMŮ

- FT systém s **4.5 m²** solárních kolektorů (**2 ks**)
- FV systém s **19.7 m²** polykrystalických panelů (**12 ks**), MPPT on
- instalovaný výkon **3.1 kW**
- v obou variantách
 - energetické zisky **1443 kWh/rok**
 - solární pokrytí **52 %**

výsledkem je **o 30 % dražší** FV systém než FT systém

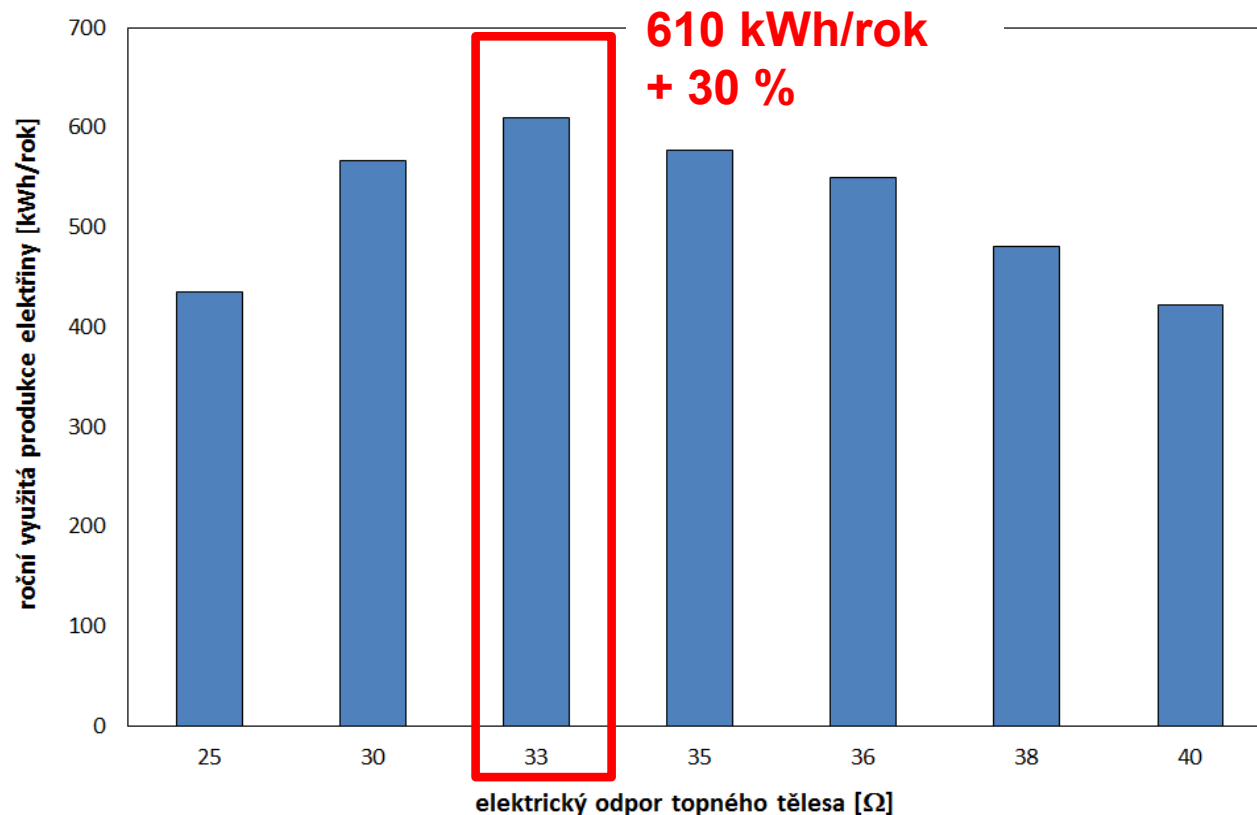
se stejnou užitečnou produkcí

... s jakým DC tělesem? (výkon)

... s jakým solárním zásobníkem? (objem)

) OPTIMALIZACE ZÁTĚŽE U VARIANTY MPPT OFF

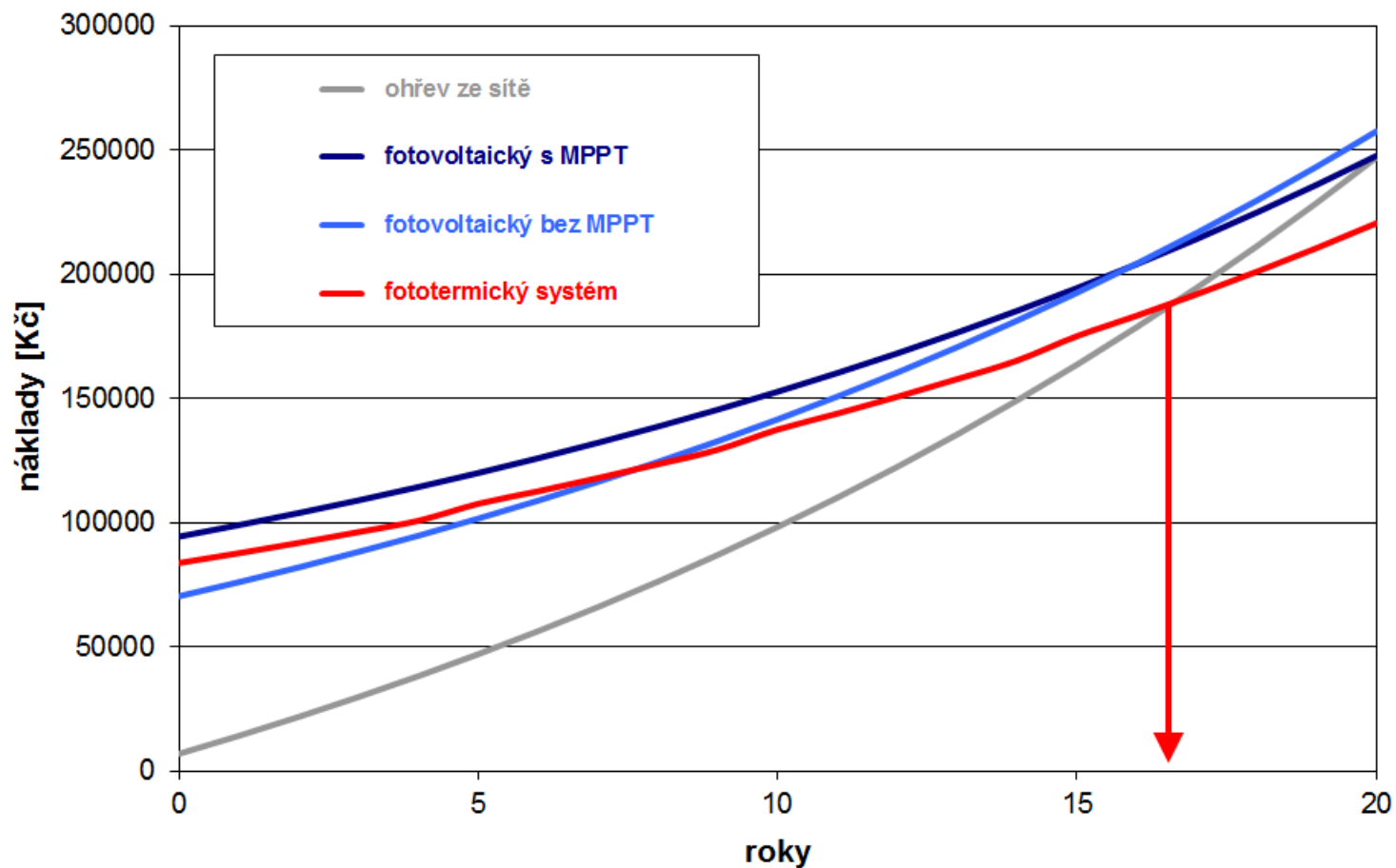
- 8 sériově zapojených FV panelů 250 W
- analýza při uvažování vlivu dohřevu



- pro jiný počet panelů, jinou konfiguraci panelů ... **jiný optimální el. odpor**

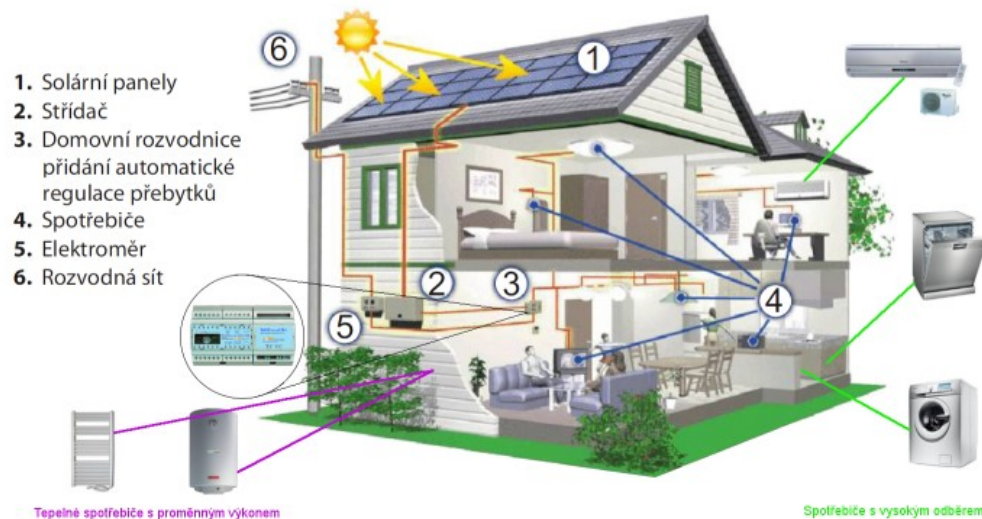
- **návrh FT se 2 ks TS500 (4.5 m²) je neúměrný k 200 l zásobníku**
 - 2 ks solárního kolektoru TS300
 - stejné charakteristiky, menší plocha (3.6 m²) adekvátní zásobníku 200 l
 - levnější kolektory o cca 5000 Kč
- **ekonomické porovnání pro reálný provoz systémů s vlivem dohřevu**
 - optimalizovaný FV systém bez sledovače (vhodná zátěž 33 Ω)
 - optimalizovaný FV systém se sledovačem
 - optimalizovaný FT systém s menší plochou kolektorů

) POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ ZA REÁLNÉHO PROVOZU



- **jednoúčelové FV systémy** bez sledovače výkonového maxima jsou
 - jednoduché, levné
 - **neúčinné, neekonomické**
 - i přes optimalizaci
- **FV systémy se sledovačem**
 - konkurenceschopnější
 - špatně řešené zásobníky jsou hlavním problémem
 - inspirace u solární termických systémů

- využití FV elektřiny pro ohřev vody má smysl
 - u kombinovaných systémů **s měničem**
 - prioritní dodávka elektřiny pro uživatelskou spotřebu (spotřebiče)
 - **přebytky** se využijí pro ohřev vody
 - případně v kombinaci s tepelným čerpadlem – zhodnocení elektrické energie



zdroj: solarcontrols

- **jednoúčelové FV systémy** bez sledovače výkonového maxima
 - určené pouze pro ohřev vody v zásobníku **mají velmi nízkou účinnost.**
- **optimalizací el. odporu lze stávající systémy zlepšit**, ale ekonomicky zůstávají nekonkurenschopné tradičním fototermickým systémům.
- **FV systémy se sledovačem** (MPPT) jsou konkurenschopnější, nicméně **nevhodná poloha dohřevu** snižuje jejich potenciál.
- Snaha o „spravedlivější“ hodnocení prostřednictvím **srovnávání stejně výkonných systémů** (stejný instalovaný výkon) vede sice k identickým tepelným přínosům a **stejnému solárnímu pokrytí**, avšak o **30 % dražším** FV systémem než je fototermický.
- **Využití FV elektřiny pro ohřev vody má smysl především u kombinovaných systémů s měničem pro dodávku elektřiny pro spotřebiče a přebytky využitými pro ohřev vody.**