



Efektivní využití (nejen) obnovitelných zdrojů energie

Tomáš Matuška

Energetické systémy budov, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze

tomas.matuska@fs.cvut.cz

Energeticky efektivní budovy

- nízkoenergetické
- pasivní
- nulové
- plusové
- aktivní
- soběstačné

nízká potřeba energie

tepelný komfort

zdravé vnitřní prostředí

minimální negativní dopad na ŽP

bezpečí

ekonomická efektivita

estetická hlediska

sociální vazby

...

Pasivní dům

- termín nemá oporu v legislativě
 - různá hodnocení pasivních domů s různě nastavenými kritérii
- ČSN 73 0540-2: informativní příloha
- TNI 73 0329: technická normalizační informace
- PHPP dobrovolný systém hodnocení

Kritéria pasivního domu (ČSN 73 0540-2)

	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m²·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m²·a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m²·a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m²·a)]
Obytná budova: rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
Obytná budova: bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18–22 °C	≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy	Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120

Kritéria pasivního RD podle TNI 73 0329 a PHPP

	TNI	PHPP
počet kritérií	7	5
měrná potřeba tepla na vytápění	< 20 kWh/m ² .rok	< 15 kWh/m ² .rok
vzduchotěsnost n50	< 0,6 /h	< 0,6 /h
měrná potřeba neobnovitelné primární energie	< 60 kWh/m ² .rok	< 120 kWh/m ² .rok

TNI: vytápění, teplá voda, pomocná energie

PHPP: vytápění, teplá voda, pomocná energie, uživatelská energie
(spotřeba el. spotřebičů cca 60 kWh/m².rok)

Kritéria nulového domu (ČSN 73 0540-2)

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]	Měrná primární energie [kWh/(m ² a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy $\leq 0,25$ Bytové domy $\leq 0,35$	Rodinné domy ≤ 20 Bytové domy ≤ 15	0	0
	Blízký nulovému			80	30
Neobytné budovy	Nulový	$\leq 0,35$	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	90

úroveň A: vytápění, teplá voda, pomocná energie, uživatelská energie

úroveň B: vytápění, teplá voda, pomocná energie

Nulový dům

- není dům bez potřeby vytápět ...
- není dům bez potřeby vnější energie ...
- bilančně nulový z hlediska **neobnovitelné primární energie**
- **tradiční definice = roční potřeba primární energie je kompenzována roční produkcí**

- nulová budova neznamena soběstačná budova (aktuální kompenzace)
 - významná interakce s vnější sítí (zima – léto) !
 - elektrická síť, tepelná síť

Energeticky soběstačný dům

- není dům bez potřeby vytápět ...
- dům bez potřeby vnější energie ...
- bilančně nulový v každém okamžiku



Fraunhofer ISE house



Rolf Disch – Heliotrope, Freiburg

Téměř nulová budova podle směrnice EPBD

- “budovou s téměř nulovou spotřebou energie” je budova, jejíž **energetická náročnost je velmi nízká.**
- téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být **ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů,**
- ... včetně energie z obnovitelných zdrojů **vyráběné v místě či v jeho okolí**

Přirozená definice téměř nulové budovy

- **nízká spotřeba energie** úsporné konstrukce a systémy
- **obnovitelné zdroje energie** teplo, chlad, elektřina
- **v místě či okolí** obálka budovy

 zahrada

 městská čtvrť, obec, vesnice ?

 kraj, stát ?

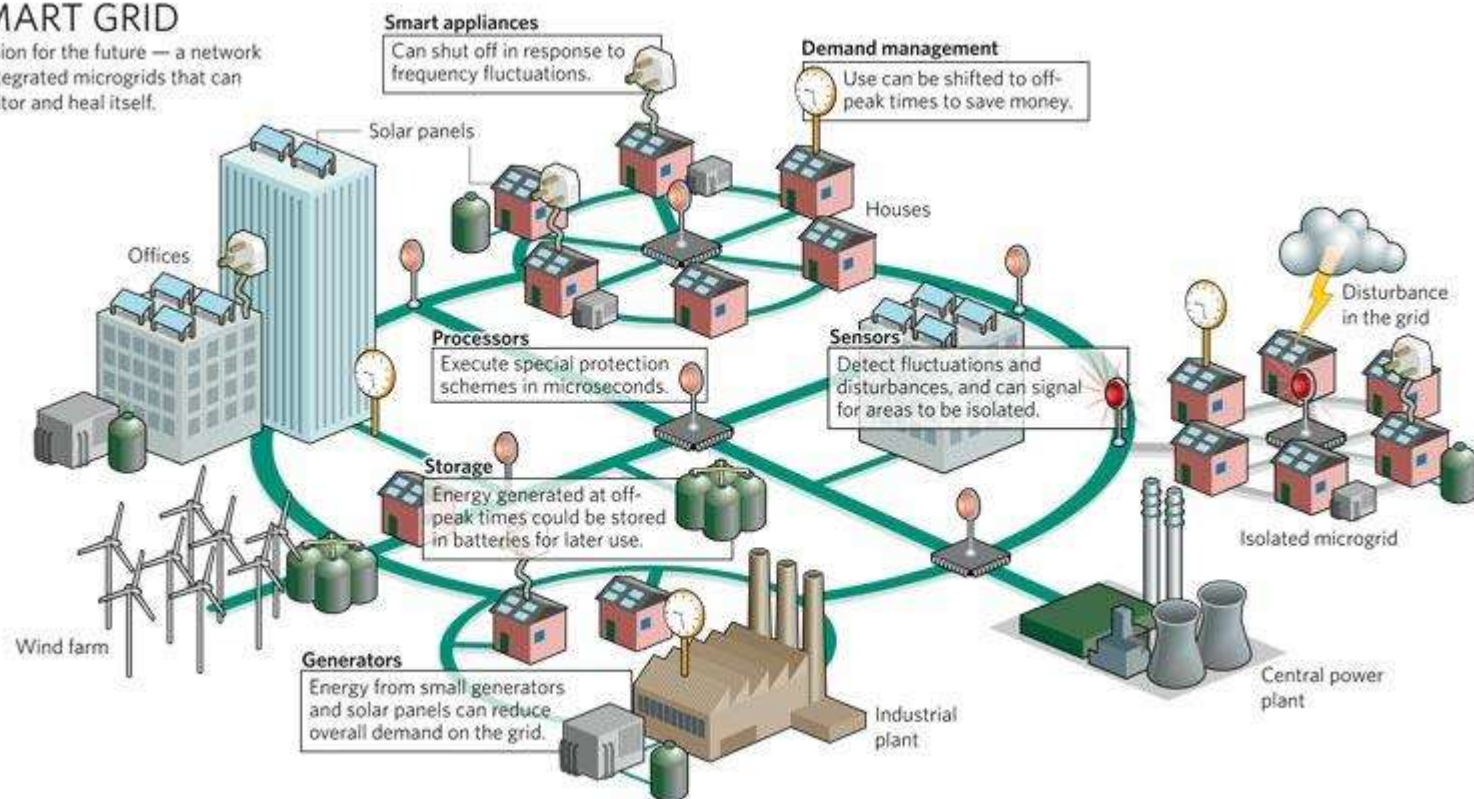
Soběstačnost jako nutnost ... místní znamená zde



Nulové budovy jako interaktivní budovy ...

SMART GRID

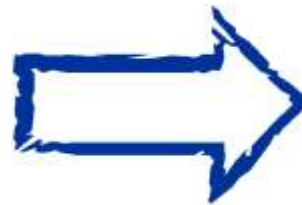
A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.



moderní budova = budova s minimalizovanou potřebou neobnovitelné primární energie



Tradiční teepee, Taos,
New Mexico



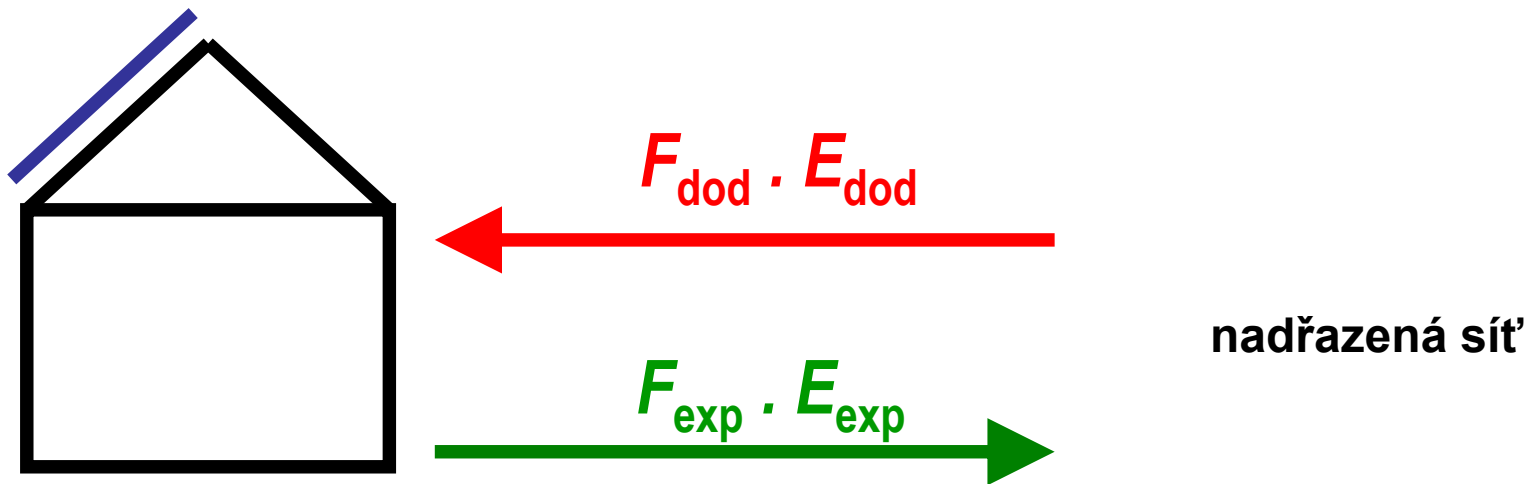
Mode-Gakuen Spiral
Towers: Nagoya, Japan



Neobnovitelná primární energie

- **energie z neobnovitelných zdrojů** užitá k „výrobě“ energie (energonositele) dodaného do budovy
- umožňuje sčítání různých energonositelů na společném základě, vyjadřujícím **zjednodušeně** míru vlivu na životní prostředí, vyčerpávání zásob, atd.
- vypočítá se z dodané (delivered) a vydané (exported) energie jednotlivých energonositelů a faktorů neobnovitelné primární energie = **konverzních faktorů**

Bilance neobnovitelné primární energie



Konverzní faktory – vyhláška 78/2013 Sb.

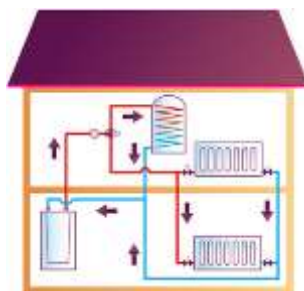
Zdroj	<i>F</i> [kWh/kWh]
Zemní plyn, černé uhlí, hnědé uhlí	1,1
Propan-butan, LPG, topný olej	1,2
Elektrická energie	3,0
Dřevo, ostatní biomasa	0,1
Dřevěné peletky	0,2
Energie okolní prostředí (elektrina, teplo)	0
Elektrina – dodávka mimo budovu	-3,0
Teplo – dodávka mimo budovu	-1,0
Soustava zásobování teplem s podílem OZE < 50 %	1,0
Soustava zásobování teplem s podílem OZE mezi 50 % a 80 %	0,3
Soustava zásobování teplem s podílem OZE > 50 %	0,1

Konverzní faktory

- **konverzní faktory** a výpočet mají fyzikální základ, avšak počítá se s politickým vlivem (motivační konverzní faktory)
- každý stát jiný podíl OZE v energonositelích = jiné konverzní faktory
- příklad: konverzní faktory pro elektrickou energii

	FR	DE	NL	PL	ES	SE	UK
% OZE	12.8	10.3	4.2	2.7	22.3	50.2	4.7
F_E	2.58	2.60	2.56	3.00	2.60	2.00	2.92

Využití primární energie



energetická potřeba budovy

vytápění
chlazení
větrání
příprava teplé vody
osvětlení, atd.

potřeba energie Q

technické systémy budov

zdroje energie
teplo, chlad, elektřina
soustavy pro rozvod a sdílení energie
klimatizační systémy
příprava teplé vody

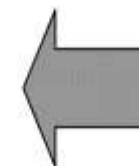
provozní účinnost η

těžba, zpracování, výroba, doprava

energonositelé
zemní plyn, kapalná paliva, tuhá paliva, elektrická energie, dálkové teplo a chlad

konverzní faktor F

primární energie PE
(neobnovitelná)



budova

Využití primární energie

- faktor využití primární energie **PER**
- náročnost zařízení / soustavy na primární energii
- poměr mezi potřebou primární energie **PE** a energií dodanou pro krytí potřeb **Q**

$$PER = \frac{PE}{Q} = \frac{F}{\eta}$$

* η : provozní účinnost celé soustavy, vztažená k energetickému obsahu paliv

Příklady *PER* pro různé zdroje tepla

Zdroj tepla / energonositel	F	η	<i>PER</i>
	[-]	[-]	[-]
Elektrický kotel / elektřina	3,00	1,00	3,00
Tepelné čerpadlo A/W / elektřina	3,00	2,90	1,03
Tepelné čerpadlo B/W / elektřina	3,00	3,70	0,81
Plynový kotel běžný / zemní plyn	1,10	0,75	1,47
Plynový kotel kondenzační / zemní plyn	1,10	0,93	1,18
Kotel na pelety / dřevní pelety	0,20	0,80	0,25
Solární tepelná soustava / sluneční energie	0,00	1,00	0,00

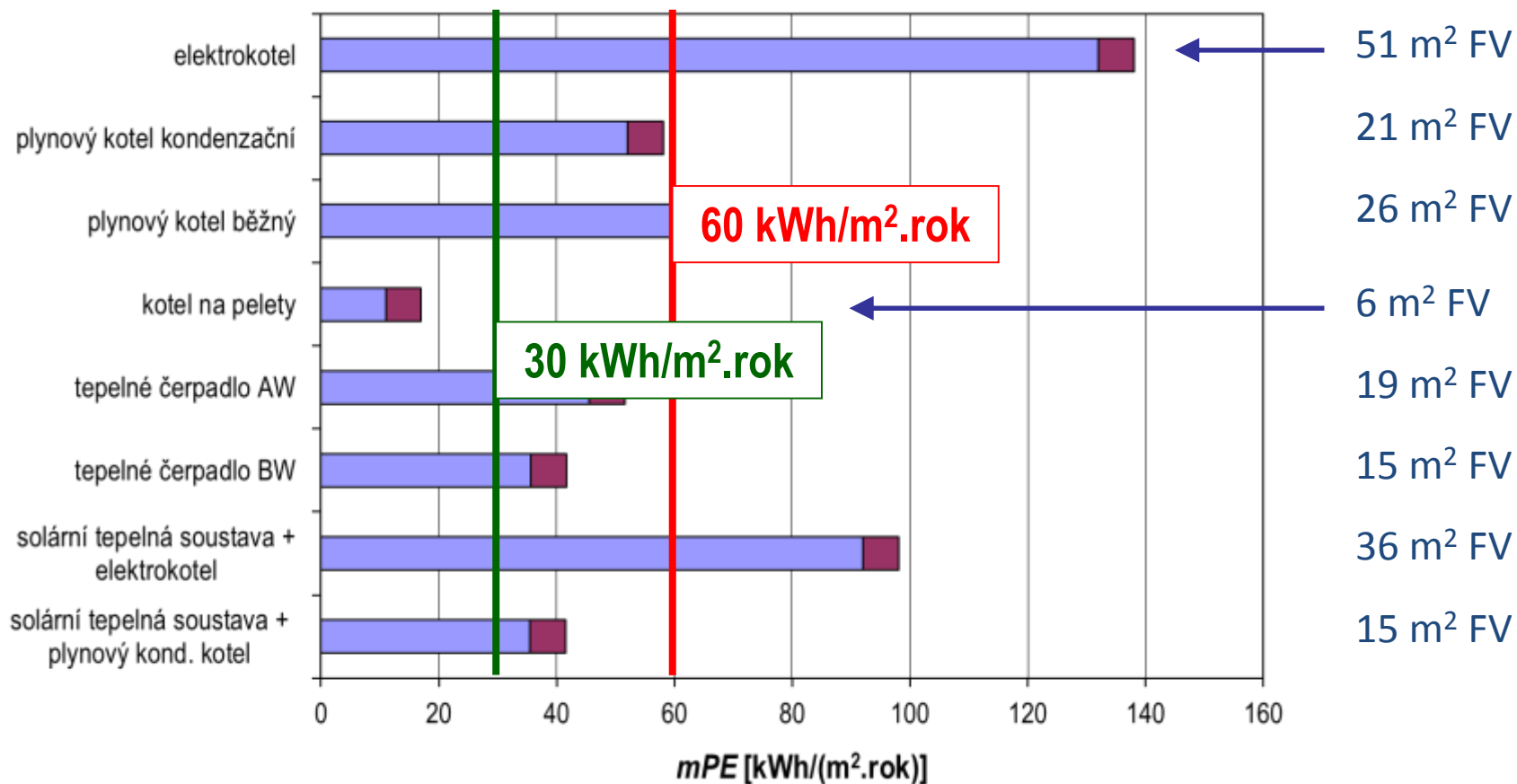
Bilance primární energie pro RD

- vytápěná plocha 150 m²
- potřeba tepla na vytápění 3000 kWh/rok
- potřeba tepla na přípravu TV 3000 kWh/rok
- **celková dodaná energie 6600 kWh/rok**
- pomocná el . energie 300 kWh/rok

zdroje

elektrokotel plynový kotel tepelné čerpadlo kotel na pelety
solární soustava (2000 kWh/rok)

Bilance primární energie (pasivní rodinný dům)



Zdroje elektřiny



Zdroje elektřiny

- fotovoltaické systémy
- větrné mikroelektrárny
- **stabilní** palivové doplňkové zdroje na bázi OZE s vysokou regulační schopností (roční využití, ekonomika), hybridní systémy s OZE
- mikrozdroje v budovách zapojené do nadřazených sítí
- inteligentní řízení výroby a odběru elektrické energie (smart grids)
- akumulace elektřiny (cena, životnost)

nestabilní zdroje

Fotovoltaika

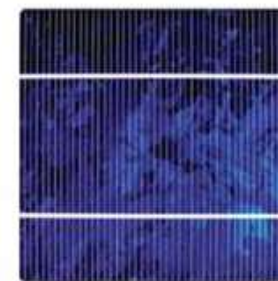
Fotovoltaické systémy

- jednoduchá technologie
 - aplikace s největším potenciálem pro kompenzaci primární energie
- výrazný pokles ceny technologie v posledních letech
- provozně bezemisní, bezhlučná technologie
- možnost integrace do obvodového pláště (BIPV)



Účinnost a přínosy

Druh FV technologie	η_{panel} při STC [%]
Monokrystalické	18
Polykrystalické	15
Amorfní	7
Tenkvrstvé CdTe	10
Tenkvrstvé CIGS	12
HIT (amorfní/mono/amorfní)	18



účinnost FV systémů: minus (10 až 15 %)

roční zisky $kW_p * 950$ hodin

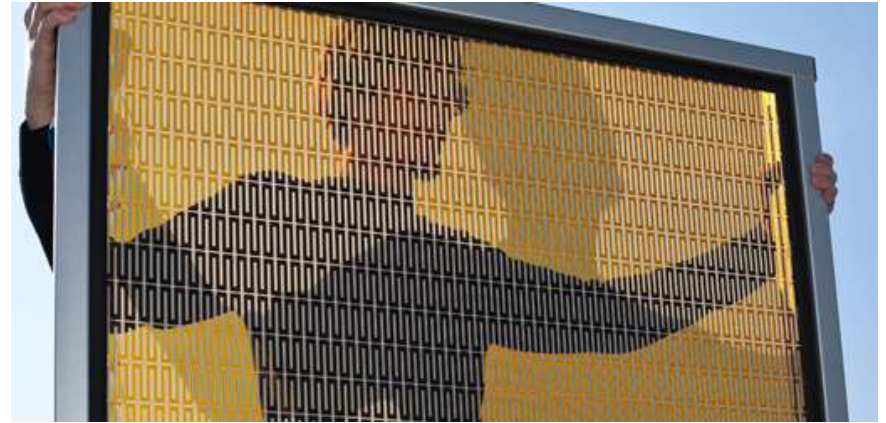
BIPV – stínící zařízení



BIPV pro přirozené osvětlení

transparentní moduly

semitransparentní moduly



dvojitá okna s FV, argonová výplň

Barevná řešení



gray-brown



green



blue



red



gray-green



purple



BIPV v konstrukční integraci



BIPV v konstrukční integraci



BIPV v konstrukční integraci (hydroizolace)



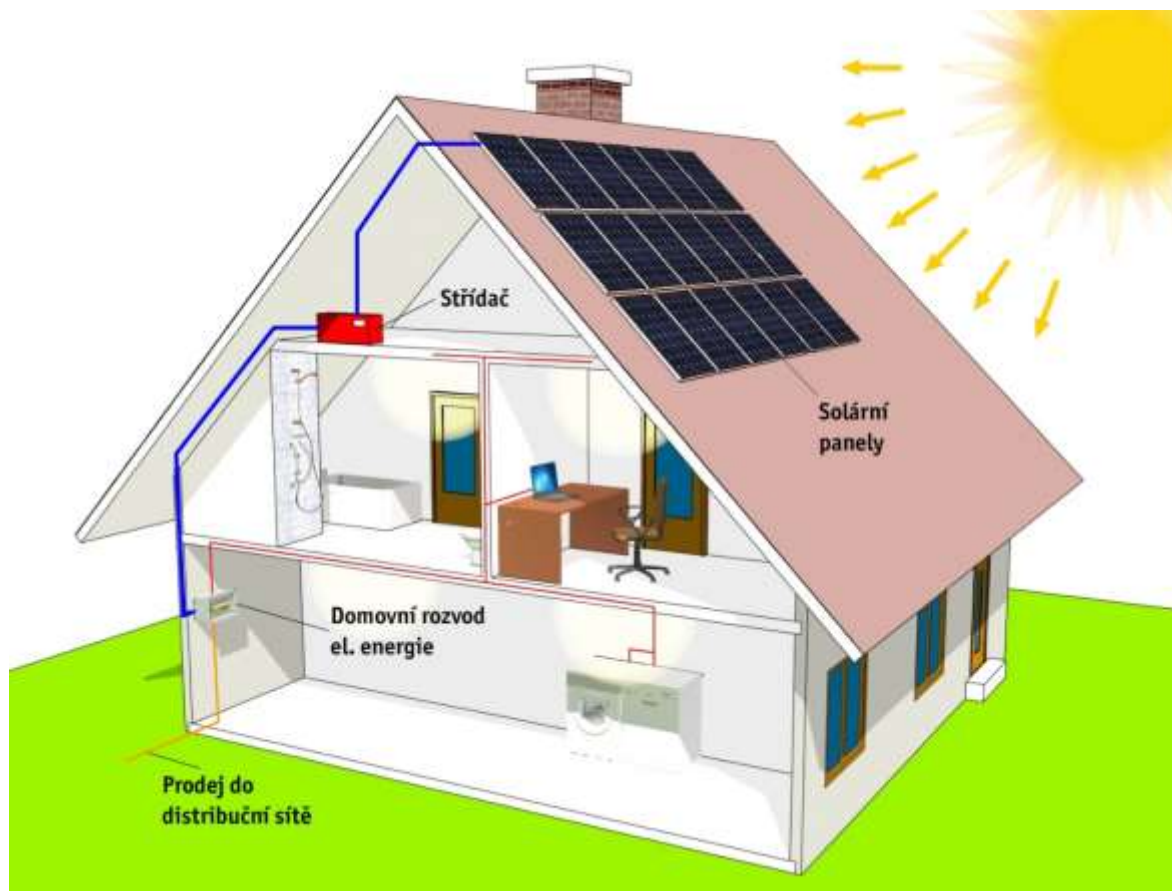
Nová scéna 2009, 25 kW_p



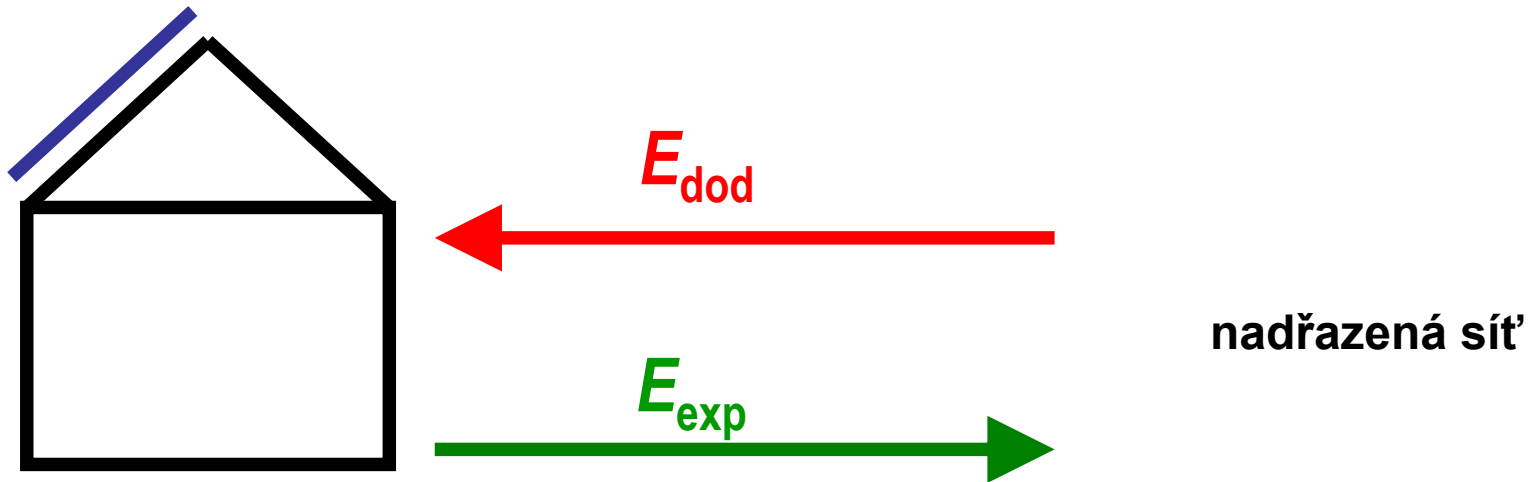
provozní budova 2008, 22 kW_p

Národní divadlo
amorfní moduly
22 kW_p / 554 m²
19 MWh/rok

Fotovoltaika jako lokální zdroj elektřiny pro budovu



(Nejen) fotovoltaika jako lokální zdroj elektřiny



$$PE = \sum_i E_{\text{dod},i} \cdot F_{\text{dod},i} - E_{\text{exp},i} \cdot F_{\text{exp},i}$$

$F_{\text{dod},i}$ se nemusí rovnat $F_{\text{exp},i}$



**3000
x 3.0**



**Bilance síťové EE
3000 kWh/rok**

**Bilance PE
9000 kWh/rok**

**uživatelská potřeba domu
EE: 3000 kWh/rok**



2000
x 3.0

1000
x 0

produkce 1000 kWh/rok

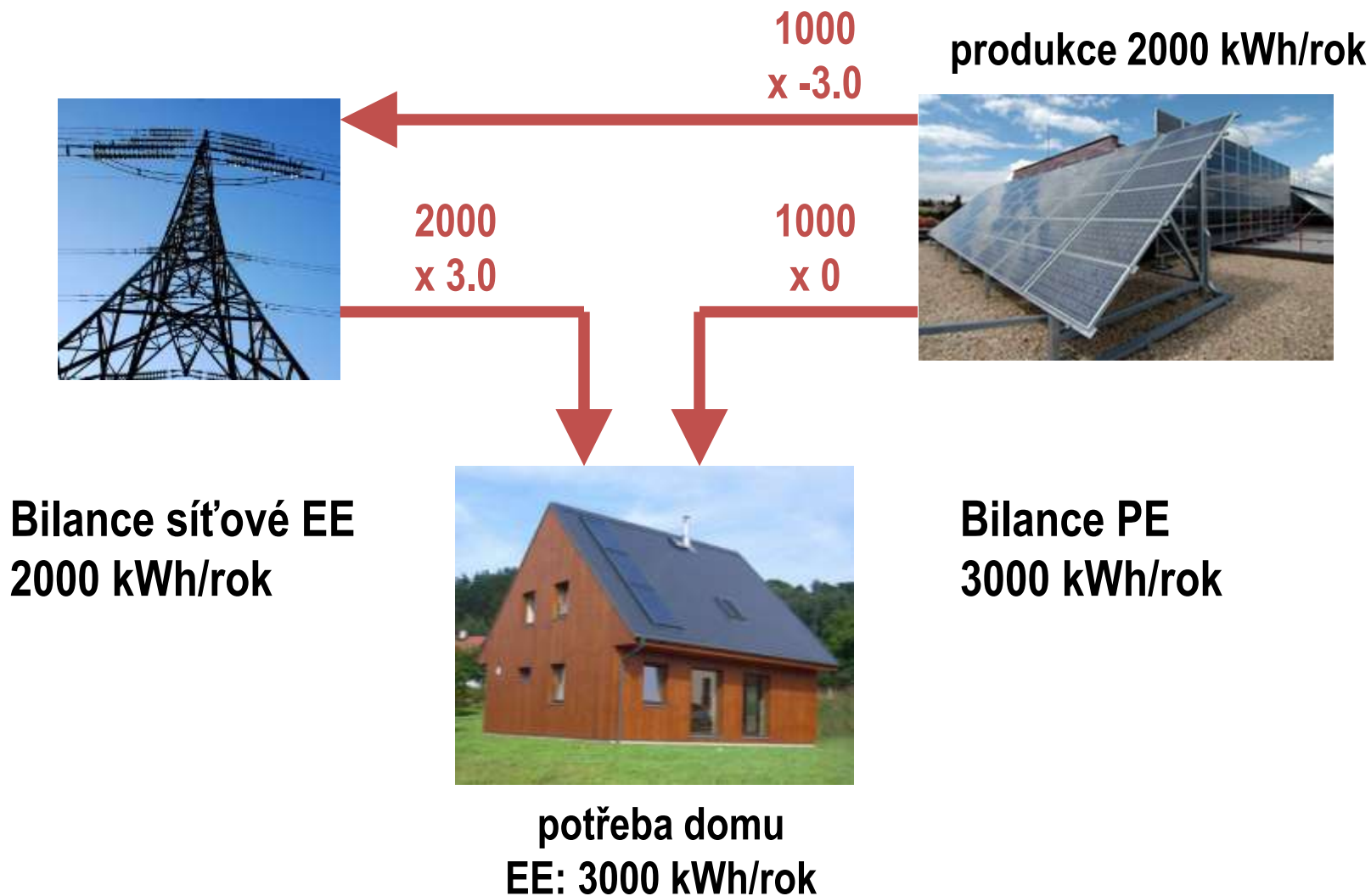


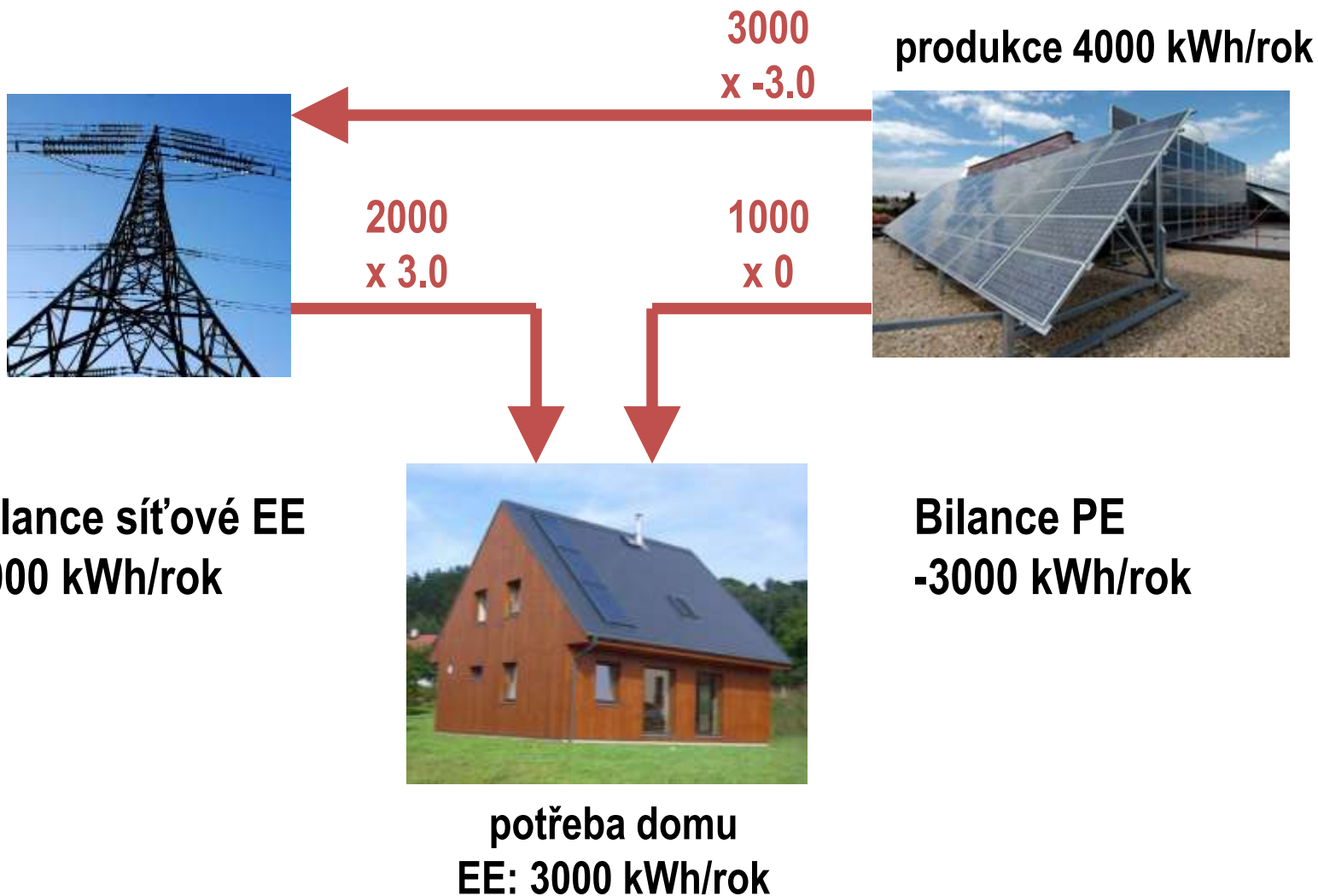
Bilance síťové EE
2000 kWh/rok

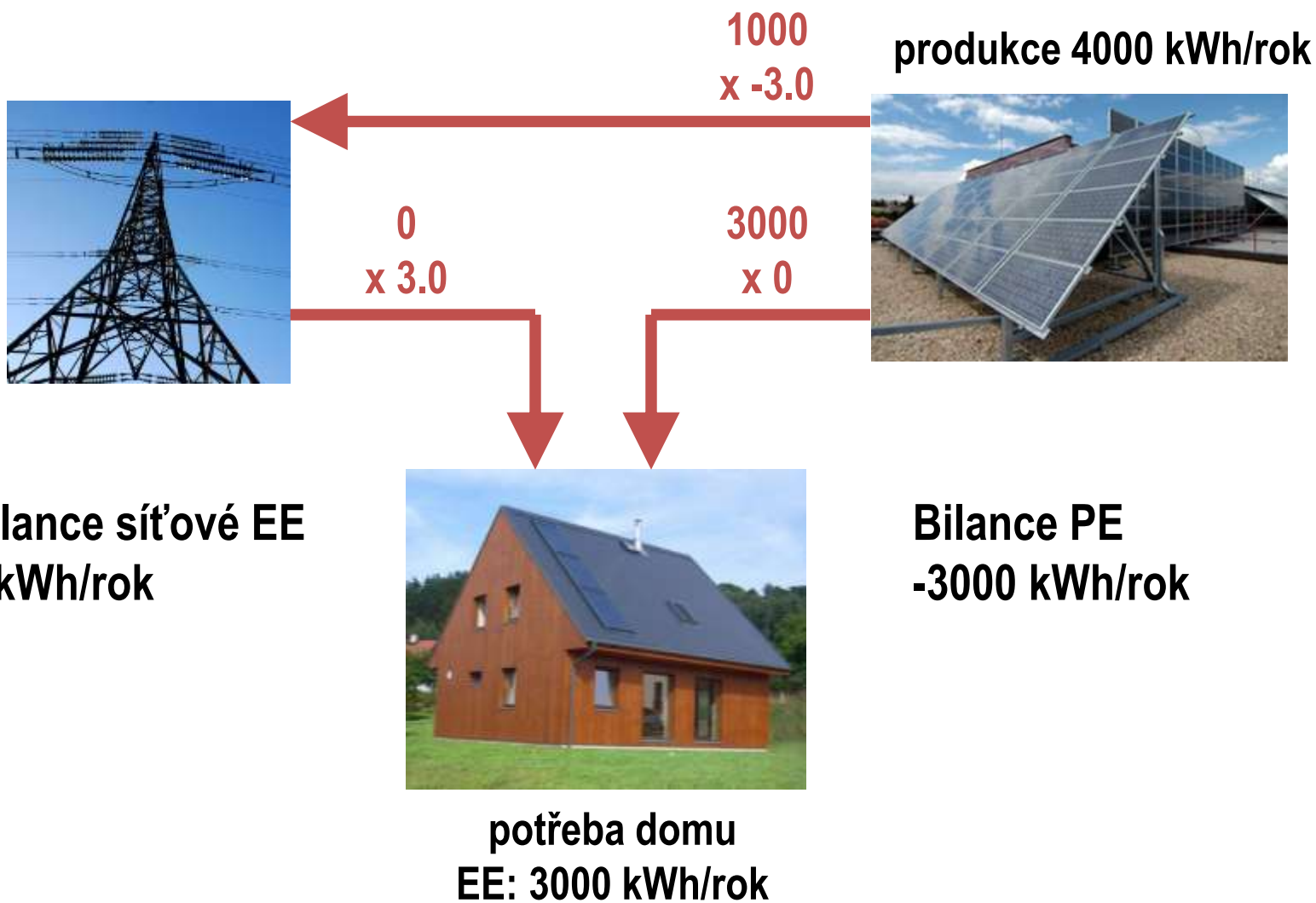


Bilance PE
6000 kWh/rok

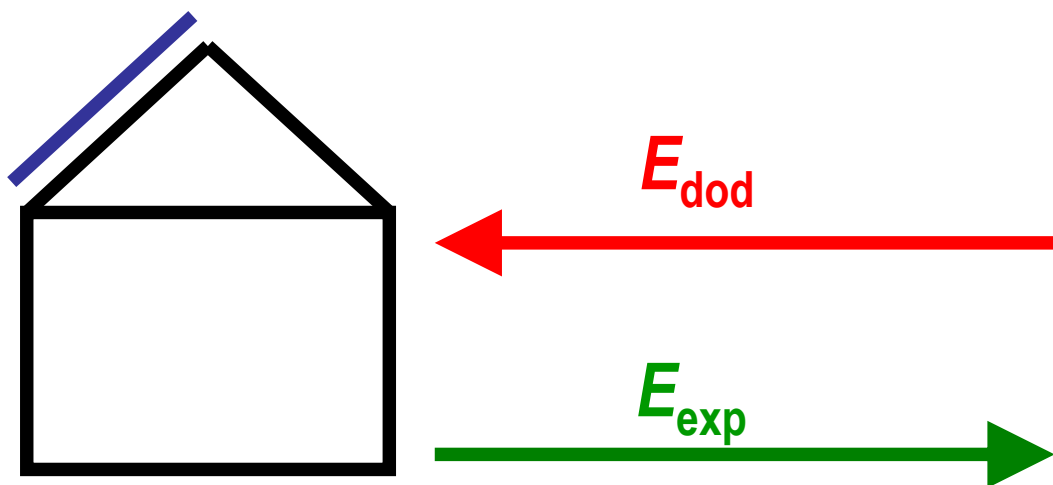
potřeba domu
EE: 3000 kWh/rok







Bez sítě to nejde ...



nadřazená síť

$$PE = (E_{\text{dod}} - E_{\text{exp}}) \cdot F_E$$

od 2014: zastavení podpory FV systémů
v budoucnosti netmetering

Ohřev vody fotovoltaiikou?

Fotovoltaické panely

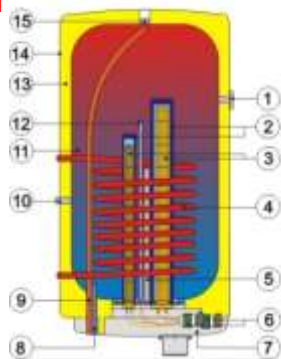
8 panelů x 1.645 m² = **13.16 m²**

solární zásobník

objem **200 l**

denní ztráta **1.4 kWh/den**

AC + DC těleso 2 kW



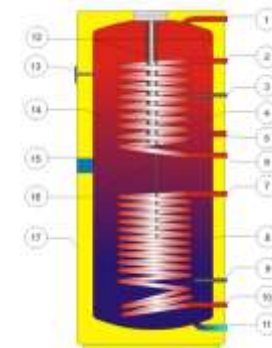
Fototermické kolektory

2 kolektory x 2.26 m² = **4.52 m²**

solární zásobník objem **200 l**

denní ztráta **1.4 kWh/den**

solární výměník 1 m² + AC těleso



Ohřev vody fotovoltaikou?

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

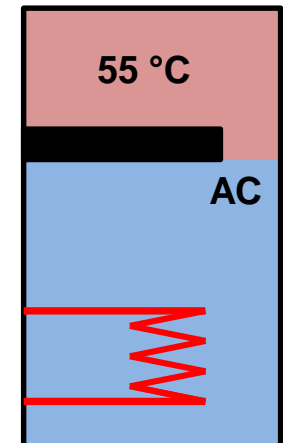
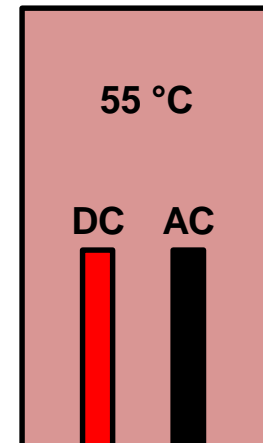
FV systém bez sledování výkonu

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**

Ohřev vody fotovoltaikou ...

- **jednouúčelové FV systémy** bez sledovače výkonového maxima jsou
 - jednoduché, levné
 - neúčinné, neekonomické
 - i přes optimalizaci (vhodně navržené topné těleso, vyšší výkon, ...)
- **FV systémy se sledovačem**
 - konkurenceschopnější
 - hlavním problémem jsou špatně řešené zásobníky
 - inspirace u solárních termických systémů



Využití fotovoltaické elektřiny

- **využití FV elektřiny pro ohřev vody má smysl**
 - u kombinovaných systémů s měničem a MPPT
 - prioritní dodávka elektřiny pro uživatelskou spotřebu (spotřebiče)
 - přebytky se využijí pro ohřev vody
 - případně v kombinaci s tepelným čerpadlem – zhodnocení elektrické energie na teplo
- **přímý fotovoltaický ohřev vody přestane být smysluplný**
 - zavedením netmeteringu
 - rozvojem elektroakumulace



predikce počasí

predikce výroby

spínání spotřebičů

radiově řízené
zásuvky

automatické řízení
spotřeby (řiditelné)

akumulace energie

řízení odběru ze sítě
mimo špičku

Větrná energie

Větrné mikroelektrárny

- výkony: stovky W až jednotky kW
- městská zástavba: proudění s vysokou turbulencí, nízké rychlosti větru
- rozbíhací rychlost větru **2 až 3 m/s** (klasické VE 4 až 5 m/s)
- nízké vibrace, nízké emise hluku
- požadavky na bezpečnost, omezení tvorby námrazy
- **vodorovná osa rotace**: tradiční, stožárové
- **svislá osa rotace**: použití v nízkých výškách nad terénem

Větrné mikroelektrárny – vodorovná osa rotace



Větrné mikroelektrárny – vodorovná osa rotace

Bahrain World Trade Centre, Manama, Bahrain

675 kW (průměr rotoru 29 m)

11 až 15 % spotřeby



Větrné mikroelektrárny – svislá osa rotace



Větrné mikroelektrárny – svislá osa rotace



Adobe Systems Inc. headquarters, San Jose, California (platinum LEED certified)
20 turbín (50 MWh/rok, 2 % spotřeby), nabíjení elektromobilů v garážích, 2009

Mikrokogenerace

Mikrokogenerace

- společná výroba elektřiny a tepla v jediném zařízení (kogenerace, KVET)
- mikrokogenerace pro budovy: **do 50 kW_e**
- eliminace přenosových ztrát
- požadavek na regulovatelné zdroje (aktivní zdroje) jako doplněk k nestabilním (pasivní zdroje)
- podmínka celkové efektivity: **využití tepla**

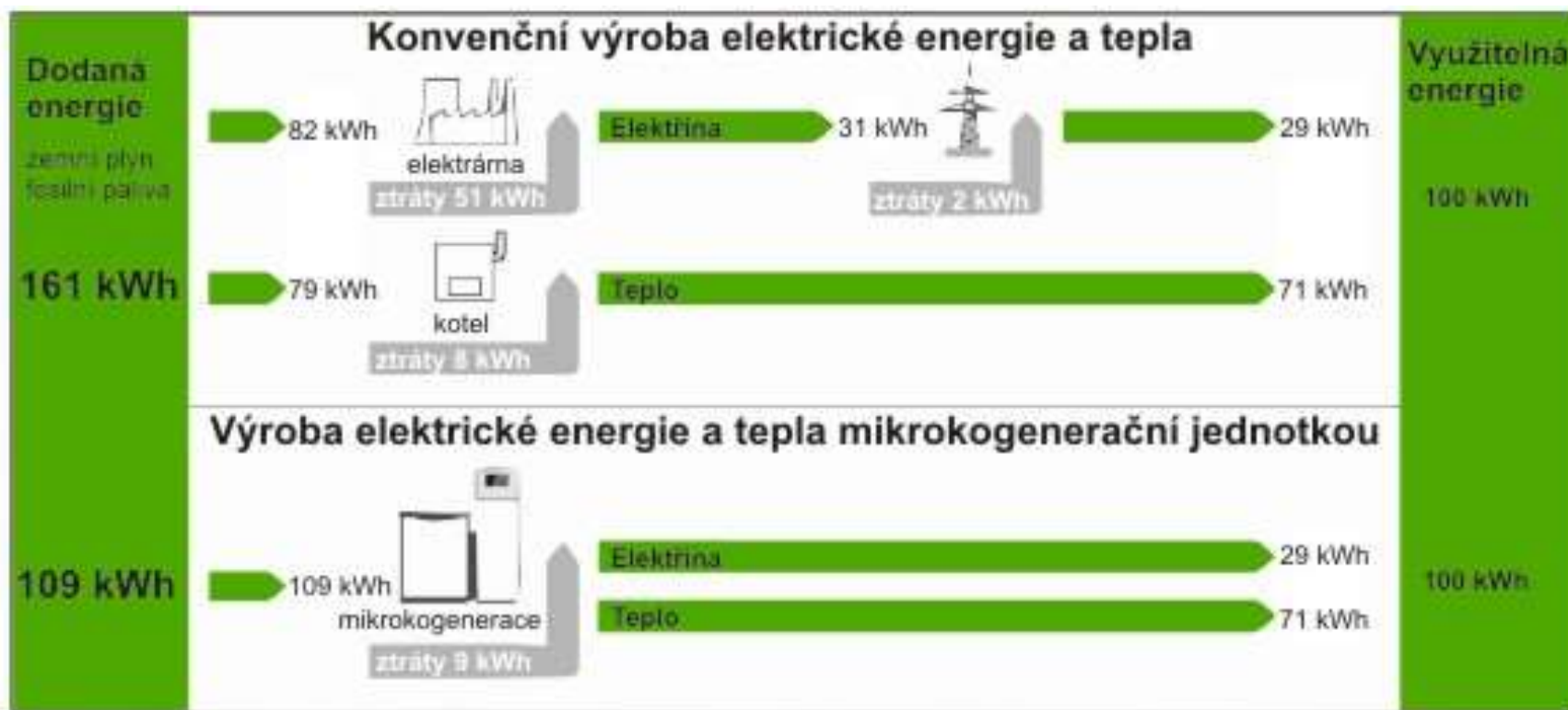
Mikrokogenerace - použití

- **budovy s nízkou potřebou na vytápění** (proměnlivá během roku) a vysokým odběrem teplé vody (stabilní během roku)
- rovnoměrný odběrový profil, vysoké využití instalovaného výkonu nad 3500 h
- výhodné pro nasazení kogenerace pro krytí základní tepelného zatížení
- **vysoké využití primárního paliva nad 90 %**

Mikrokogenerace - použití

- použití jako **záložního zdroje** – v případě výpadku elektrické sítě požadavek na rychlý start
- použití jako **špičkového zdroje** – poskytování síťových služeb, nutná kombinace s akumulací tepla

Efektivita mikrokogenerace

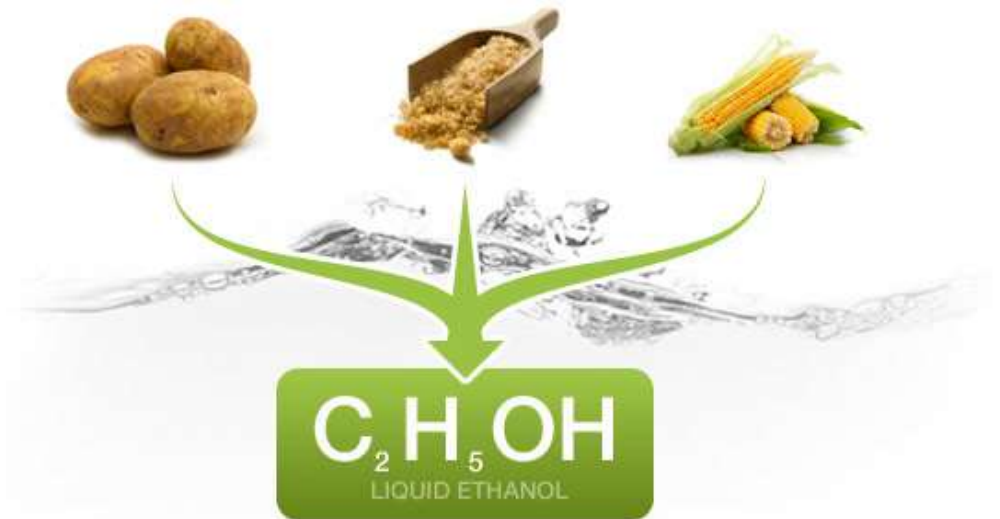


Technologie

- **spalovací motor** (kogenerační jednotky)
 - rychlý start, rozsah regulace
- **spalovací turbína**
 - nízké emise (10xnižší /SM), bezúdržbová, bez maziv
- **organický Rankinův cyklus ORC**
 - využití tepla spalin (nízkoteplotní, vysokoteplotní), 2. stupeň za KJ
- **palivový článek**
 - přímá přeměna chemické energie na elektřinu, tichý chod, bez údržby
 - vodík, uhlíkatá paliva (vnitřní reforming)

Paliva

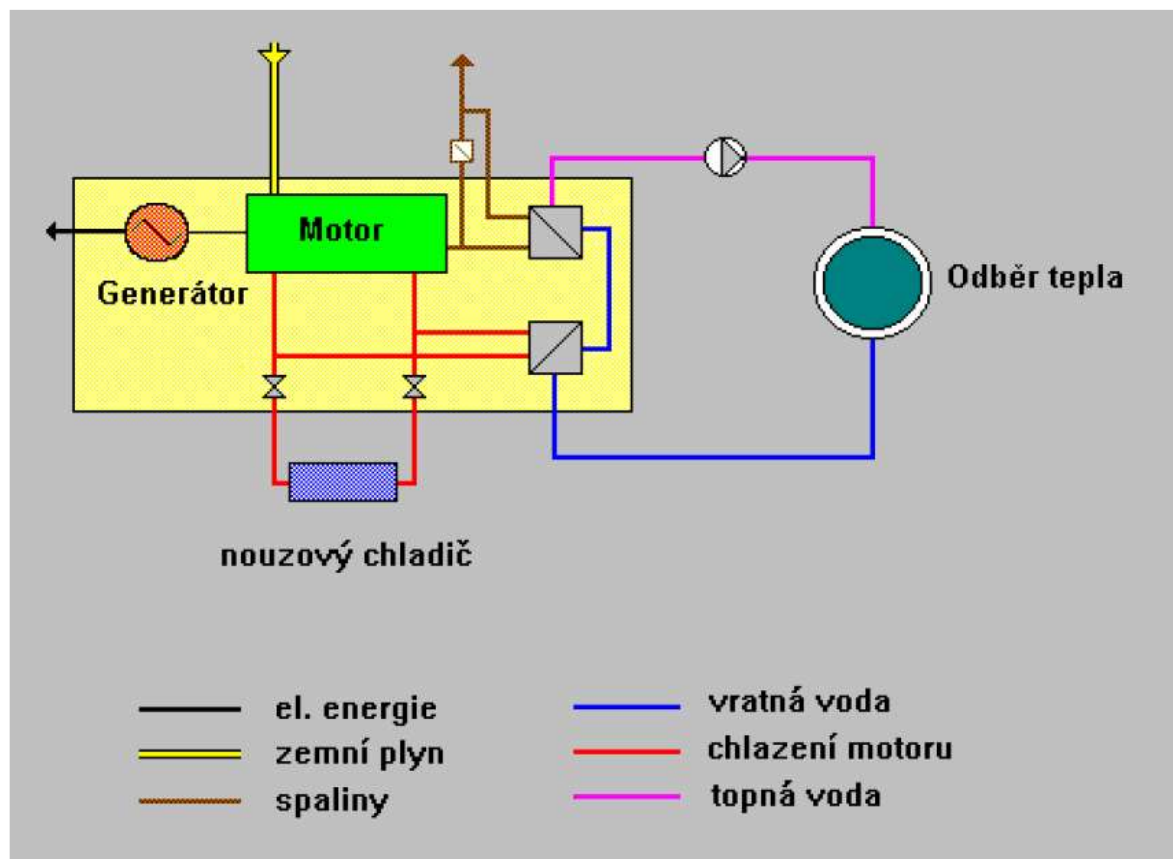
- **paliva z OZE pro mikrokogeneraci:**
 - bioolej (řepkový, palmový, ...)
 - bioetanol, biometanol
 - bioplyn
 - tuhá paliva (pelety)
 - vodík (z FV, větru)
- **fosilní paliva**
 - zemní plyn
 - nafta



Technologie - parametry

Technologie	η_{el} [%]	η_c [%]	$E:Q$ [-]	P_{min} [kW _e]
Spalovací motor	30-40	>85	1:2	1
Spalovací turbína	25-30	>75	1:2	15
Stirlingův motor	10-20	>90	1:5	1
Organický Rankinův cyklus	10	>90	1:10	1
Palivový článek (SOFC)	30-60	>85	1:1	1

Plynové spalovací motory



Elektr. výkon kW	Tepelný výkon kW
32,8	50,4
48,7	74,6
49,7	71,6
67	102
63,7	92,0
80	123
91	122
99	131
104	137
160	214
180	236
200	257
253	314
404	500

Plynové spalovací motory



Plynové spalovací motory

Honda ECOWILL MCHP1.0K2

1 kW_e, účinnost 26 % / 92 %

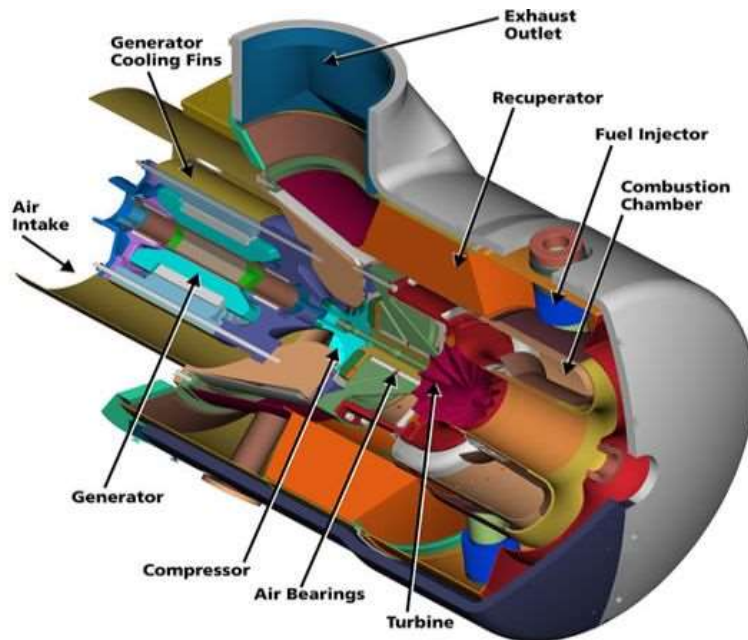


Plynový spalovací motor

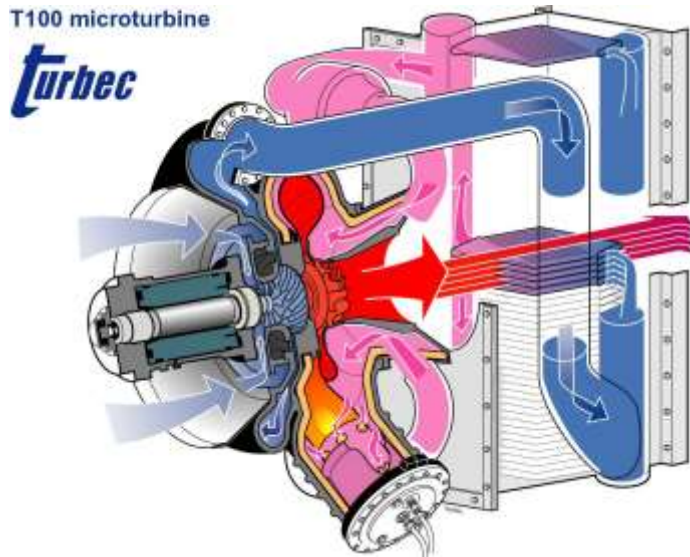
- rychlý start
- vysoká účinnost
- regulační schopnost (bez ztráty účinnosti)

- emise
- vibrace, hluk (protihluková kapotáž, tlumič na výfuku)

Plynové spalovací turbíny (mikroturbíny)

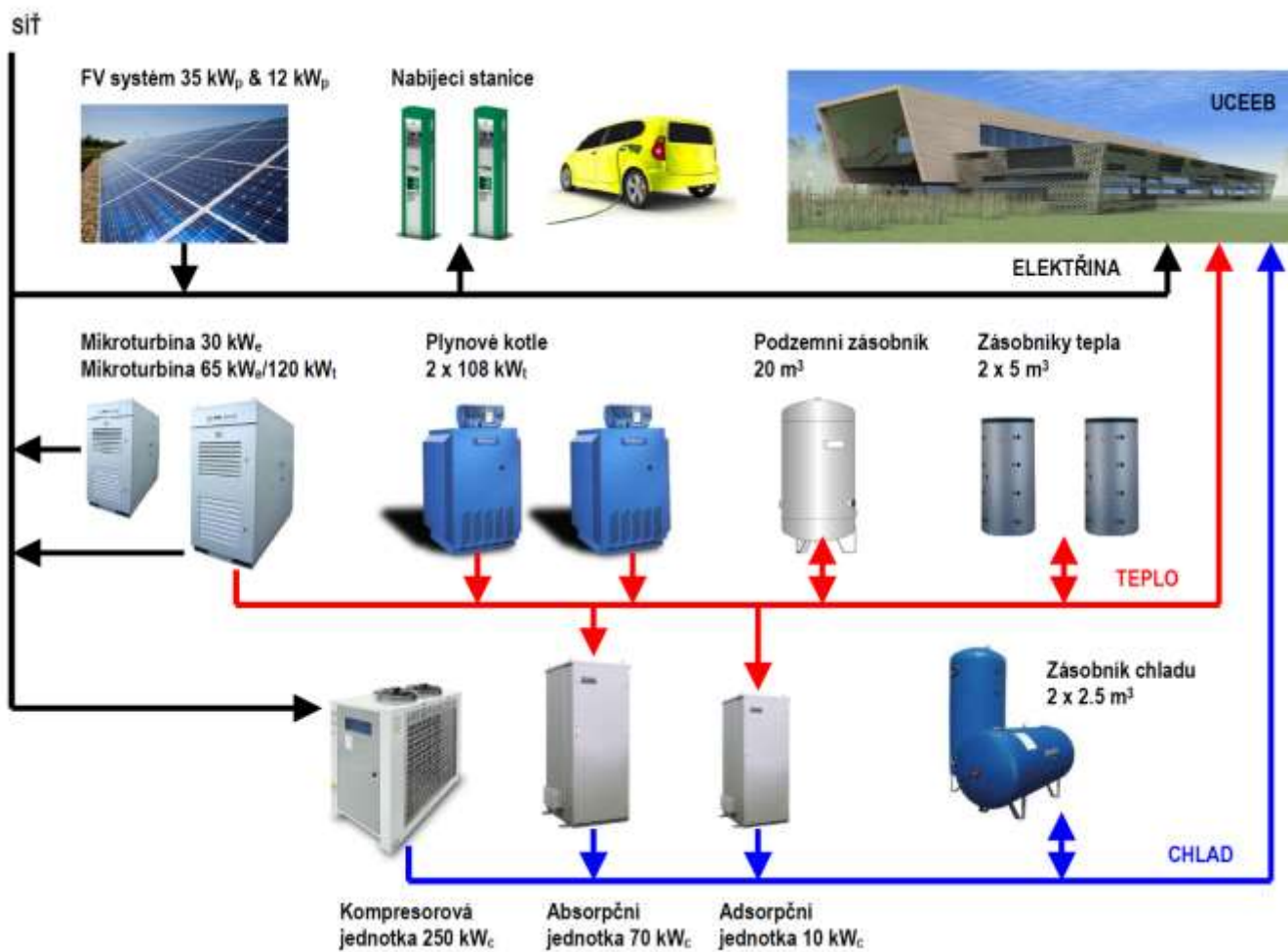


Plynové spalovací turbíny (mikroturbíny)

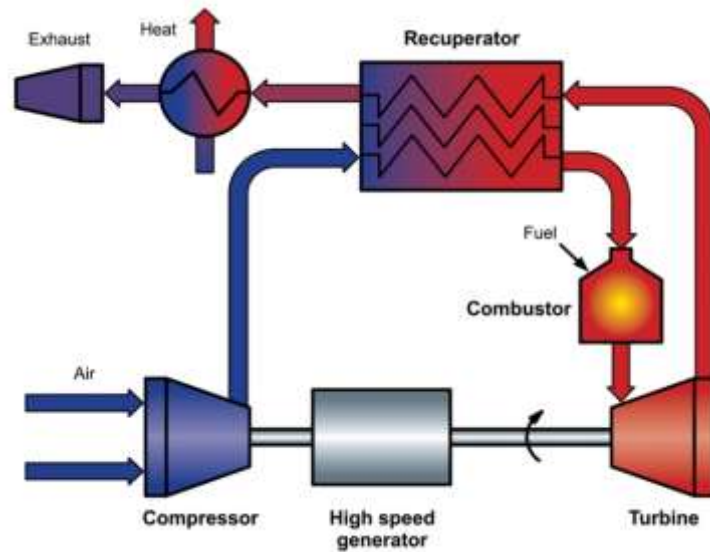


Plynové mikroturbíny

- vysokofrekvenční generátor, vysoké otáčky, není nutná převodovka
- vysoké otáčky = snadnější odhlučnění
- **nižší vibrace**
- vzduchová ložiska, **bez mazání**, bezolejové hospodářství
- minimální údržba a servis (pouze vzduchový filtr, zapalování, trysky)
- generální oprava 60 000 PH
- výrazně **nižší provozní náklady** než u spalovacích motorů



elektrický výkon	3 kWe
tepelný výkon	14 kWt
celková účinnost	87 %
elektrická účinnost	15 %



Organický Rankinův cyklus

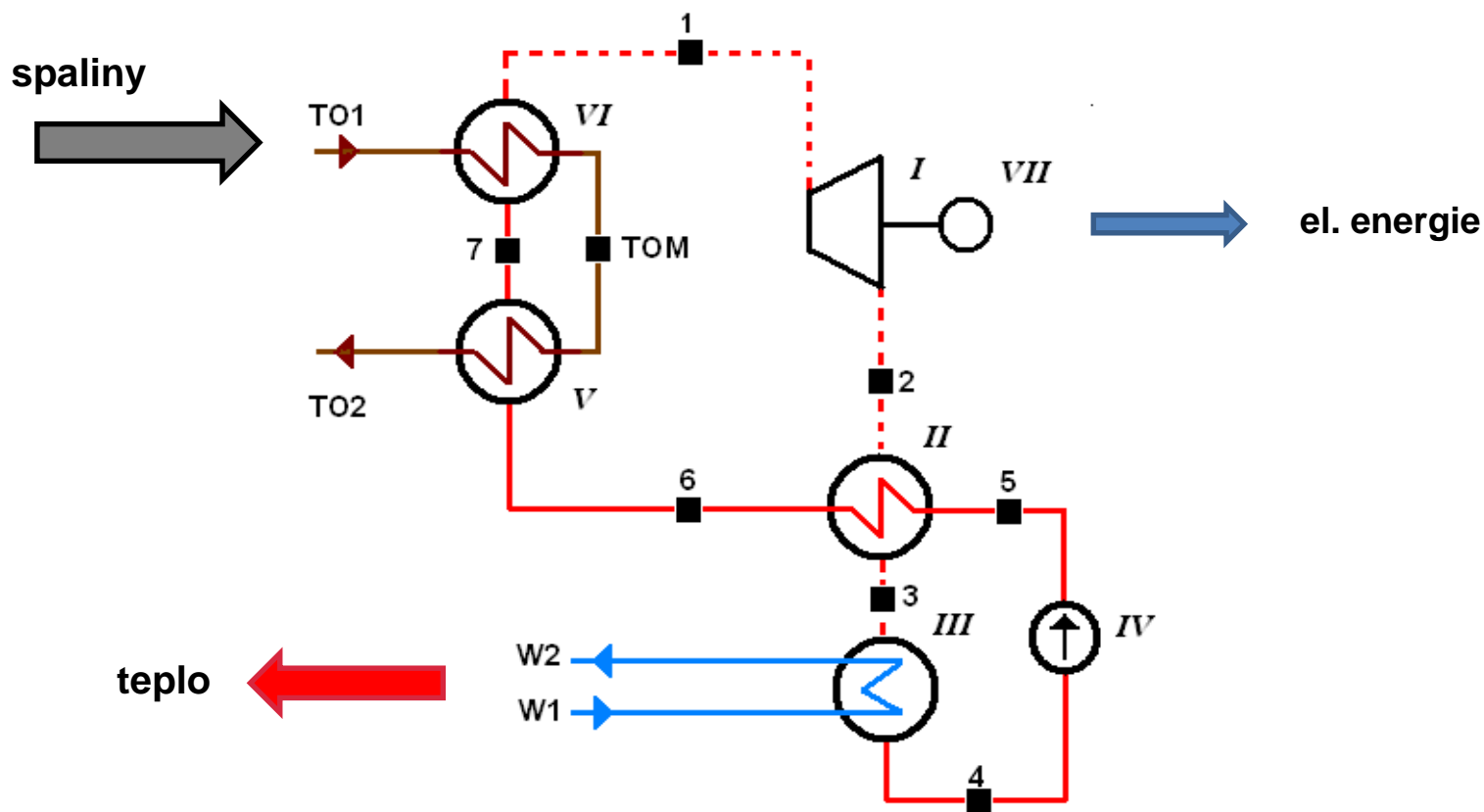
- **parní cyklus**

- modifikace Rankin-Clausiova parního oběhu
- liší se pracovní látkou pro turbínu – organické (uhlovodíkové) sloučeniny, **odpaření při nízkých teplotách / tlacích**
- poskytují vyšší účinnost cyklu pro jednoduchou jednostupňovou turbínu
- využití tepla pro vytápění, ohřev vody (nízké teploty)

- **palivo**

- tepelná energie o nízkém potenciálu = nízké teplotě
- spalování biomasy, geotermální energie, sluneční energie
- **spaliny z kotle, spaliny z mikroturbíny**

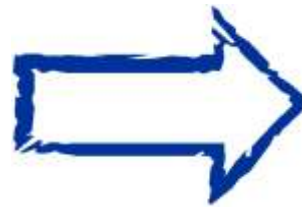
Organický Rankinův cyklus



Organický Rankinův cyklus



600 kW_e



1 kW_e

Organický Rankinův cyklus

elektrický výkon	10 kW_e
tepelný příkon	150 kW _t
teplota spalin	90 °C
teplota kondenzace	15 °C
účinnost	cca 7 %



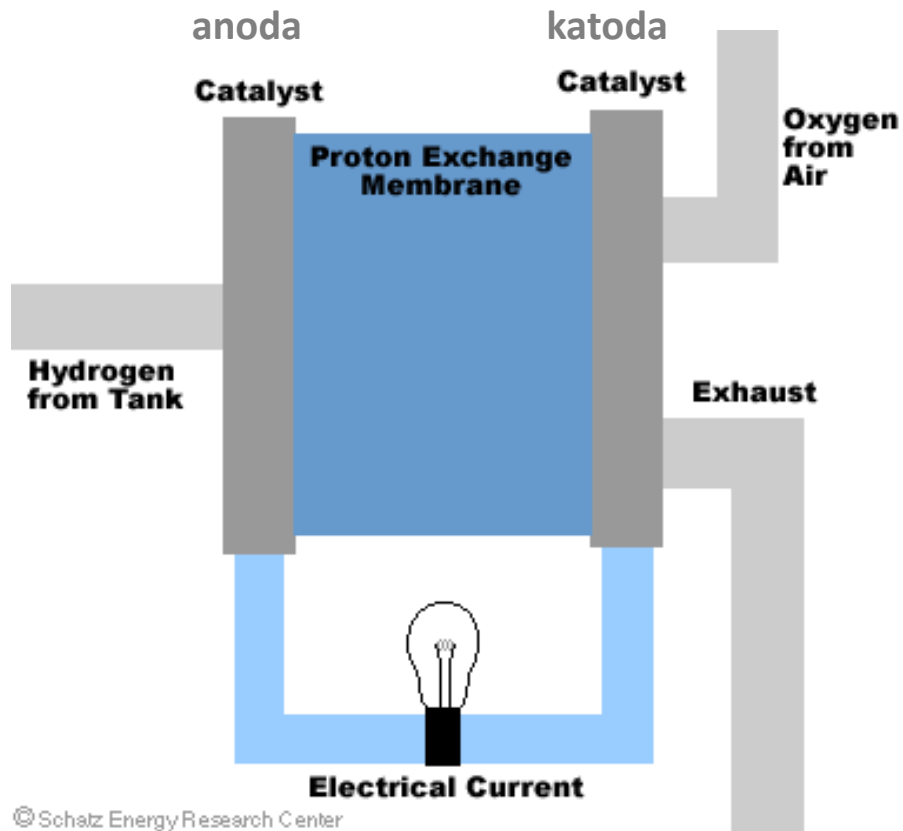
Palivový článek

- **přímá přeměna chemické energie látek na elektrickou**
 - „podobně jako baterie“ ... **ALE ...**
 - aktivní látky nejsou součástí anody/katody
průběžně přiváděné jako palivo
 - elektrody jsou pouze katalyzátorem chemických přeměn
 - **bez limitu Carnotova cyklu** pro termodynamické oběhy

Palivový článek

- **kyslíko-vodíkový článek**
 - anoda / elektrolyt / katoda (+katalyzátor)
 - přívod paliva (vodík) na anodu
 - přívod okysličovadla (kyslík) na katodu
 - elektrolyt - kyseliny, zásady, keramiky, membrány – různé typy PČ

Palivový článek



Palivový článek

- **palivo**

- vodík
- paliva bohatá na vodík: metan, **zemní plyn**, bioplyn, metanol
- úprava paliva – reforming
- nízký obsah síry

- **okysličovadlo**

- kyslík – produkce vodní páry, **CO₂** (v případě uhlíkatých paliv)
- vzduch – produkce **NO_x**

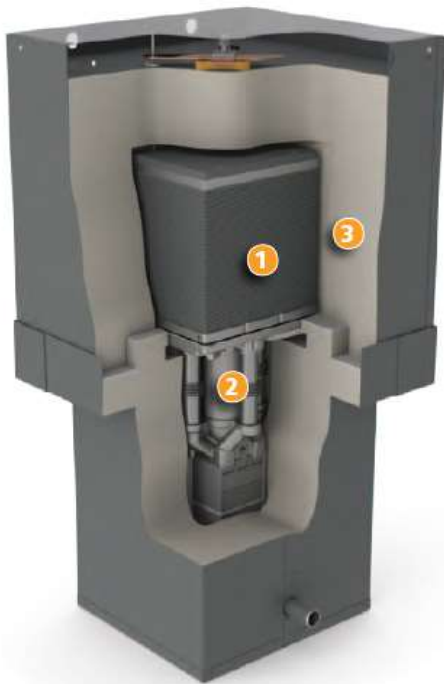
Palivový článek SOFC (s pevným elektrolytem)

- **elektrolyt** - iontově vodivá keramická membrána ZrO_2
- **vnitřní reforming přímo v článku**
 - zemní plyn, bioplyn, vodík + CO + vzduch
 - bez drahých katalyzátorů
- **parametry**
 - pracovní teploty 800 až 1000 °C
 - účinnost **40 až 65 %**
 - výkon do několika MW
 - využití kogenerační jednotky

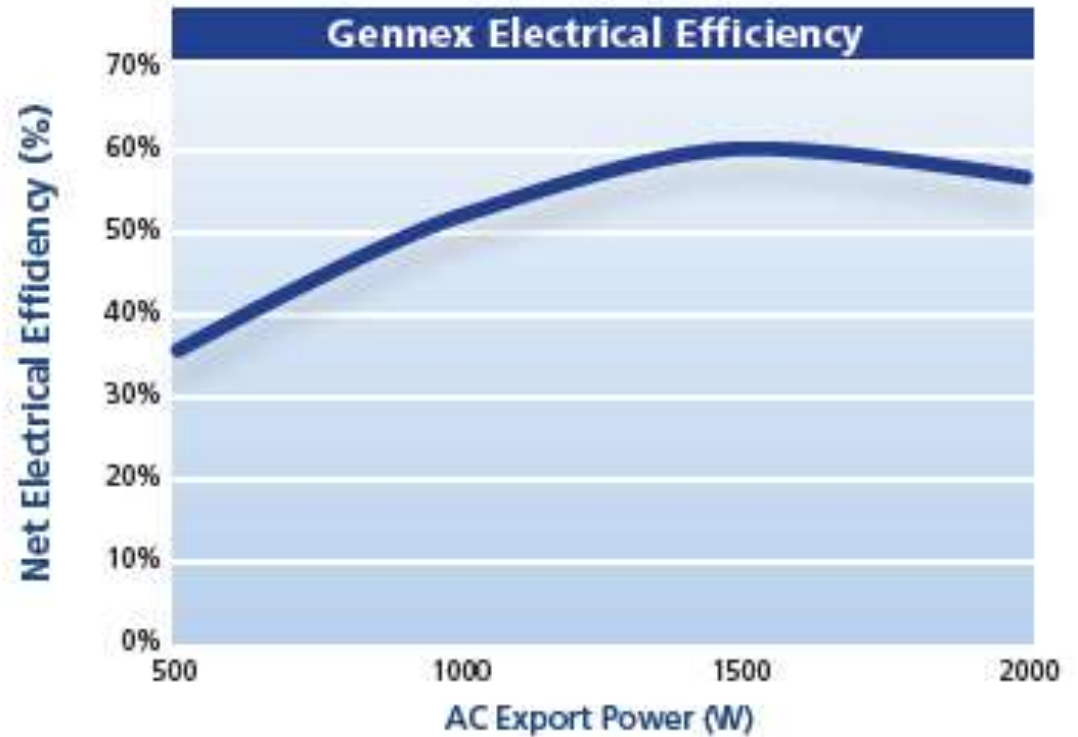
Palivové články (SOFC)



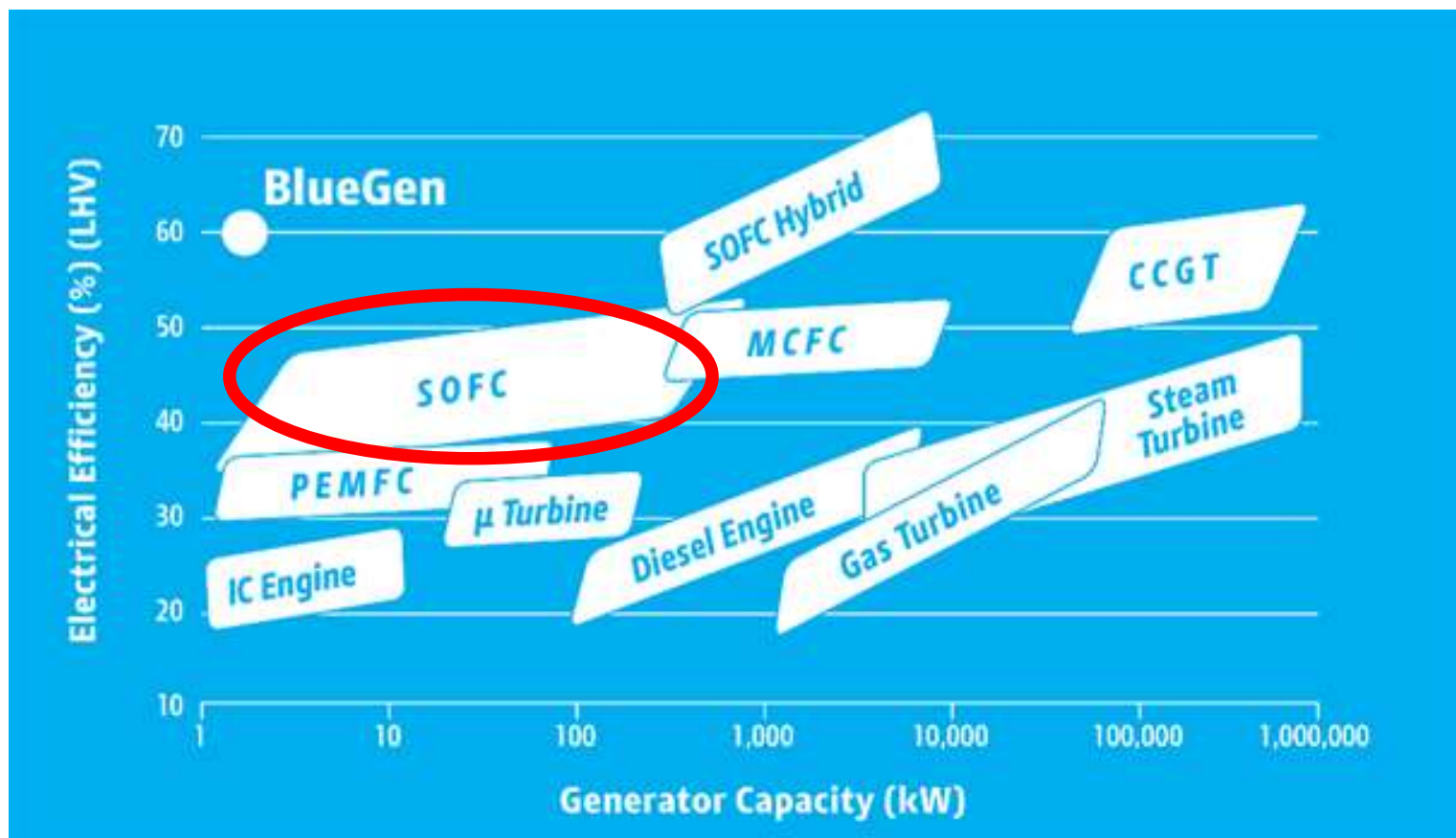
Palivové články (SOFC)



500 až 2000 W !

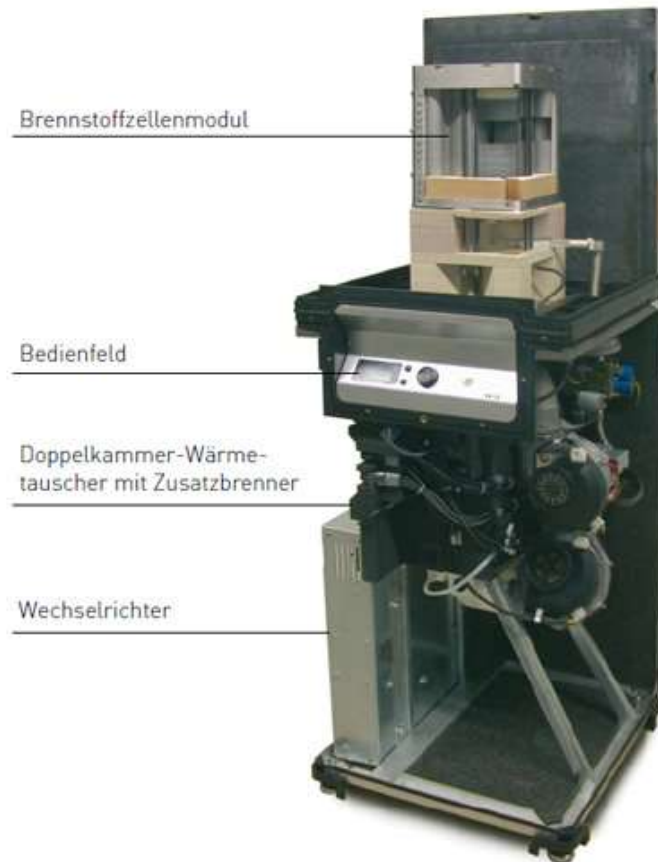


Palivové články (SOFC)



Palivové články (SOFC)

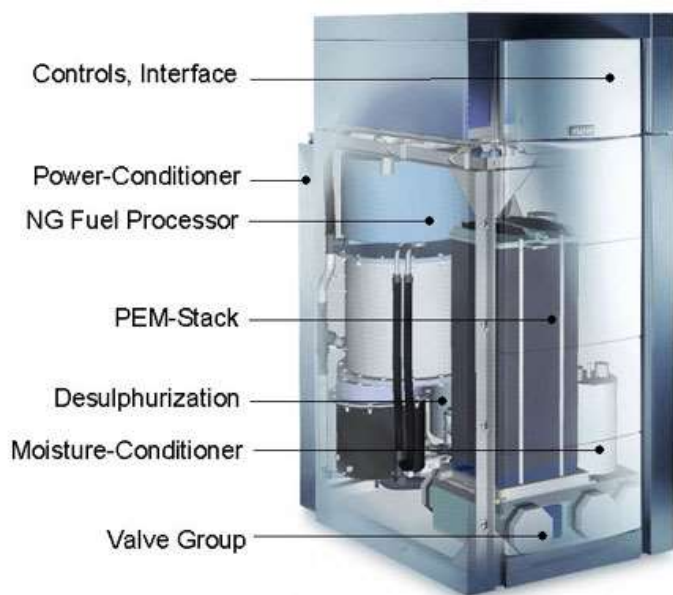
$1 \text{ kW}_e / 2 \text{ kW}_t + 20 \text{ kW}_t$ hořák



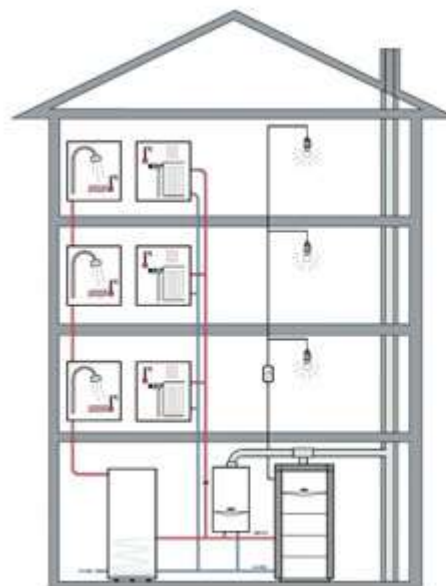
Palivový článek SOFC

- **European Virtual Fuel Cell Power Plant**

- testování v reálném provozu, el. výkon 4.1 kW, tepelný výkon 9 kW



VAILLANT 2003 7



Key Elements

- Domestic Combined Heat and Power (DCHP, Micro-Cogeneration)
- Grid connected
- Central heating and hot water production
- Intelligent hot water storage
- Condensing peak heater
- Digital communication and control
- Concentric flue gas pipe

VAILLANT 2003 6

Palivové články (SOFC)



Přestávka

Zdroje tepla



Zdroje tepla

- **spalovací zařízení na biopaliva**
 - automatické kotle
 - lokální zdroje: krbová kamna
- **tepelná čerpadla**
 - vzduch, země, voda
- **solární tepelné soustavy**
 - krátkodobá, dlouhodobá akumulace
- akumulace tepla

Kotle, kamna na biomasu

Spalovací zdroje na biopaliva – centrální zdroje

- **zplyňovací kotle s ručním přikládáním**
 - jmenovité podmínky: účinnost až 85 %
 - regulační schopnost 50 % až 100 % s výrazným poklesem účinnosti
 - nezbytná akumulace
- **automatické kotle na sypká paliva (pelety, štěpka)**
 - jmenovité podmínky: účinnost až 92 %
 - regulační schopnost 25 % až 100 % bez výrazného poklesu účinnosti
 - akumulace doporučena, snížení startovacích cyklů

Spalovací zdroje na biopaliva – centrální zdroje



Středisko ekologické výchovy Sluňákov

hlavní zdroj tepla (vytápění, teplá voda) :

kotle na pelety 2 x 49 kW

pneumatická doprava pelet ze skladu



Středisko ekologické výchovy Sluňákov

LEGENDA:

- C.1 ČERPADLO UPS 32-30; 2,2 m³/h; 5,3 m v. hl.; 250 W; 1x230 V; -SOLÁRN
- C.2 ČERPADLO UPS 32-30; 2,2 m³/h; 5,3 m v. hl.; 250 W; 1x230 V; -VODA
- C.3 ČERPADLO UPS 32-30; 2,2 m³/h; 5,3 m v. hl.; 250 W; 1x230 V; -VODA, OT.1
- C.4 ČERPADLO UPS 25-10 A; 1,1 m³/h; 2,1 m v. hl.; 90 W; 1x230 V; -VODA, OT. 2
- C.6 ČERPADLO OH 2-60; 1,1 m³/h; 50 m v. hl.; 840 W; 1x230 V; -SOLÁRN
- MT1 MĚŘÍČ TEPLA SUPERSTATIC 442; DN 25; 60-2,5 m³/h
- M 2 MĚŘÍČ TEPLA SUPERSTATIC 442; DN 32; 60-6 m³/h

SOLÁRNÍ TANK 12,7 m³

BEZE ZMĚN

IHDP OLOMOUC
INŽENÝRSKÉ SPOLUČINNOSTI
T. G. ODE, Rápošská 502
102 00 PRAHA 2, IČO: 00077, DIČ: CZ00077

ARCHITEKT
PROJEKTIL ARCHITEKTI s.r.o.
WWW.PROJEKTIL.CZ, ARCHITEKTI@PROJEKTIL.CZ
FRANTIŠKA KRÍŽKA 1, PRAHA 7, IČO: 233 325 799

PROJEKTANT ČÁSTI DOKUMENTACE
Petr Kramolík - Projekt OZE
Elaškovice 9143 tel: 55-8327121
wramol@imjbox.cz

DOKUMENTACE PRO PROVEDENÍ STAVBY

STUPEŇ: _____
INVESTOR: Statutární město OLOMOUC, Horní nám.1, Olomouc
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT: Petr Kramolík
VYPRACOVAL: Petr Kramolík

ČS. Č6 UPS 32-30; 140 W, 0,6 A, 1x230 V.
1 ČERP. SAMOSTATNĚ 4,6 m³/h, 3,2 m v. hl., OT. 1
2 ČERP. PARALELNĚ 7,3 m³/h, 3,76 m v. hl., OT. 1
TRV1, TRV2, DN 32, PN16, kv=16m³/h
A pmax=52 kPa -DODÁVKA MěR

Spalovací zdroje na biopaliva – lokální topidla

- **krbová kamna**
 - jmenovité podmínky: účinnost až 80 % (automatické na pelety)
 - využitelnost během roku (?)
 - vysoký příkon do prostoru / integrace teplovodních výměníků
 - přívod spalovacího vzduchu / nucené větrání budovy
- **spalinové výměníky**
 - využití tepla ze spalin
 - vysoké teploty spalin = neúčinná krbová kamna
 - pro účinné zdroje znamenají omezení funkce (snížení tahu komína, zhoršení kvality spalování)

Spalovací zdroje na biopaliva – lokální topidla

výrazný interiérový prvek, ... , často pouze doplněk
započitatelný do energetické bilance ?

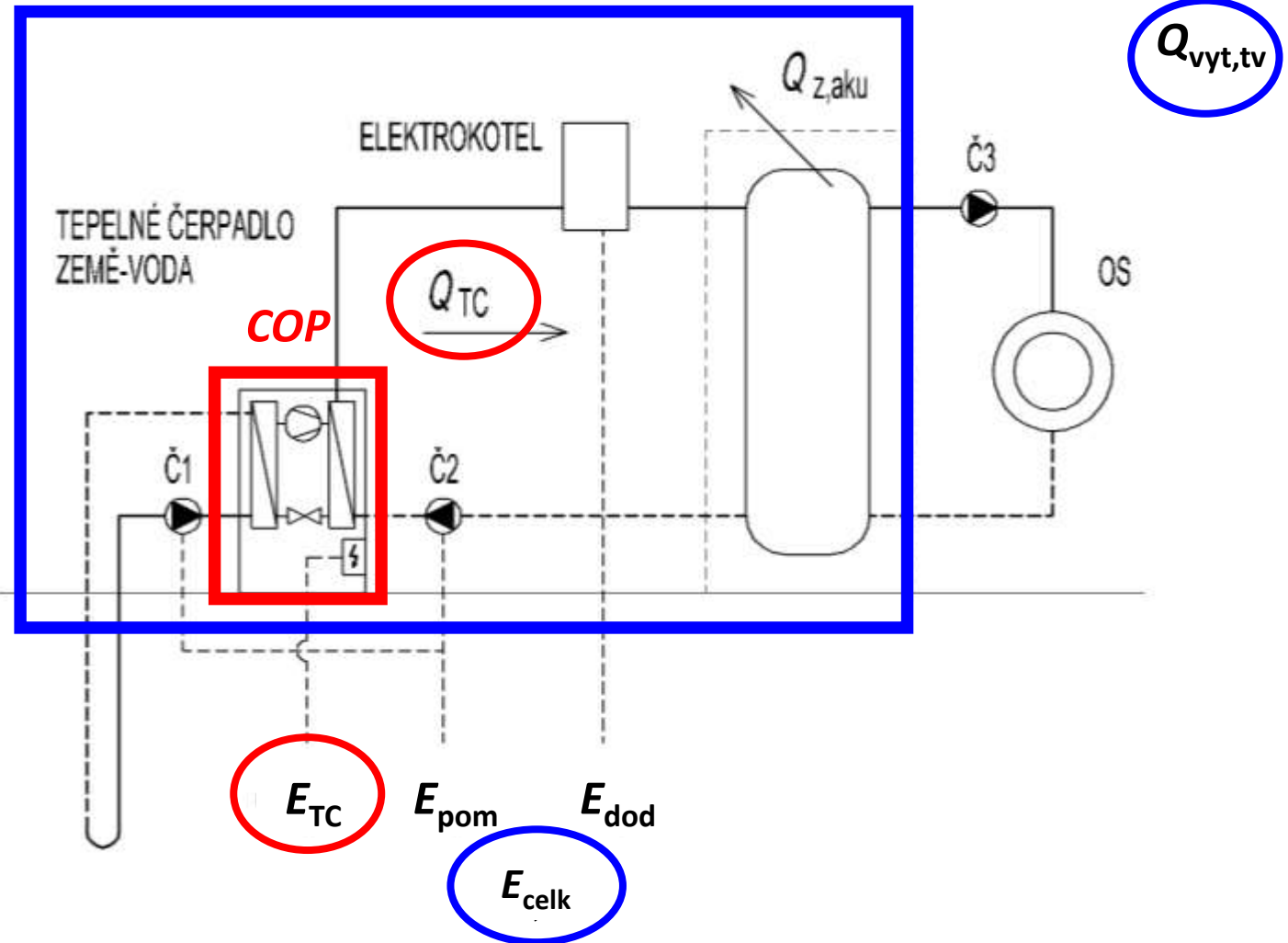


Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla

- nízké teplotní hladiny obnovitelného zdroje tepla
- přečerpání na využitelné teploty - nutný vstup „kvalitní“ energie
 - vysoké teploty (spalování) – tepelná čerpadla sorpční
 - mechanická energie – kompresorová tepelná čerpadla s plynovými motory
 - elektrická energie – elektrická kompresorová tepelná čerpadla
- účinnost vyjádřená topným faktorem
 - za jmenovitých podmínek, pouze tepelné čerpadlo: **COP**
 - za provozních podmínek, celý systém: **SPF, PER**

SPF

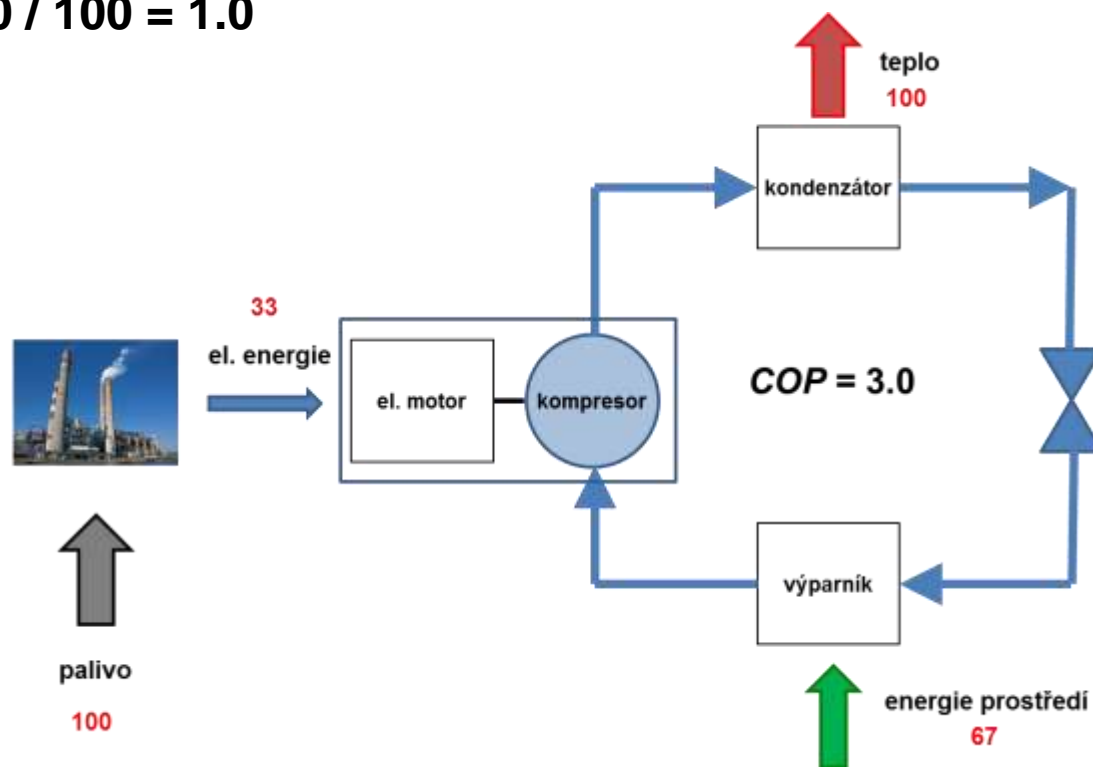


$$COP = \frac{Q_{TC}}{E_{TC}}$$

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

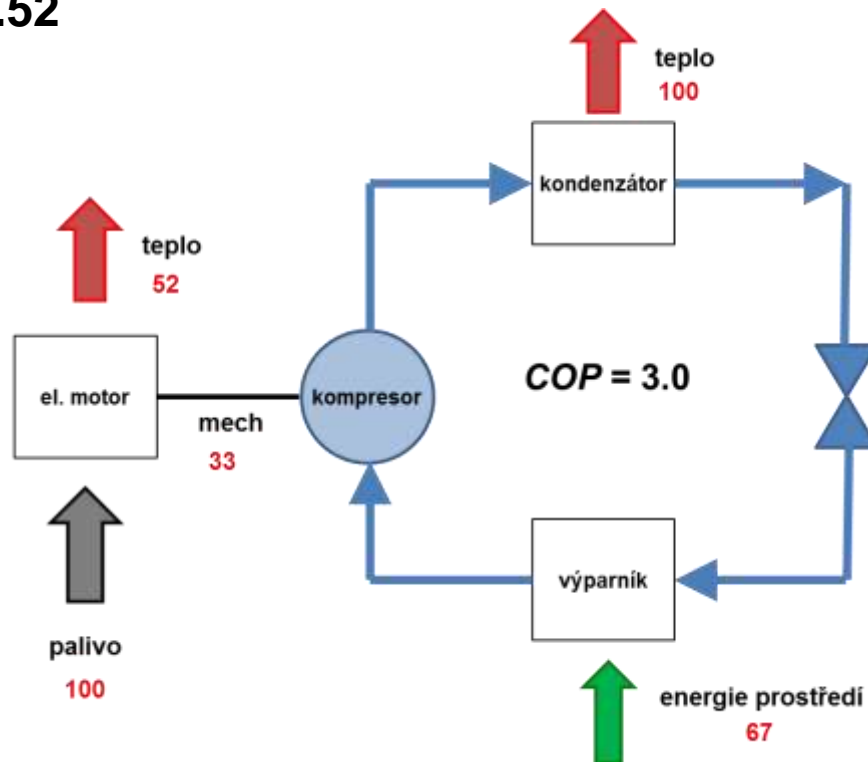
Elektricky poháněná tepelná čerpadla

$$EFF = Q / P = 100 / 100 = 1.0$$



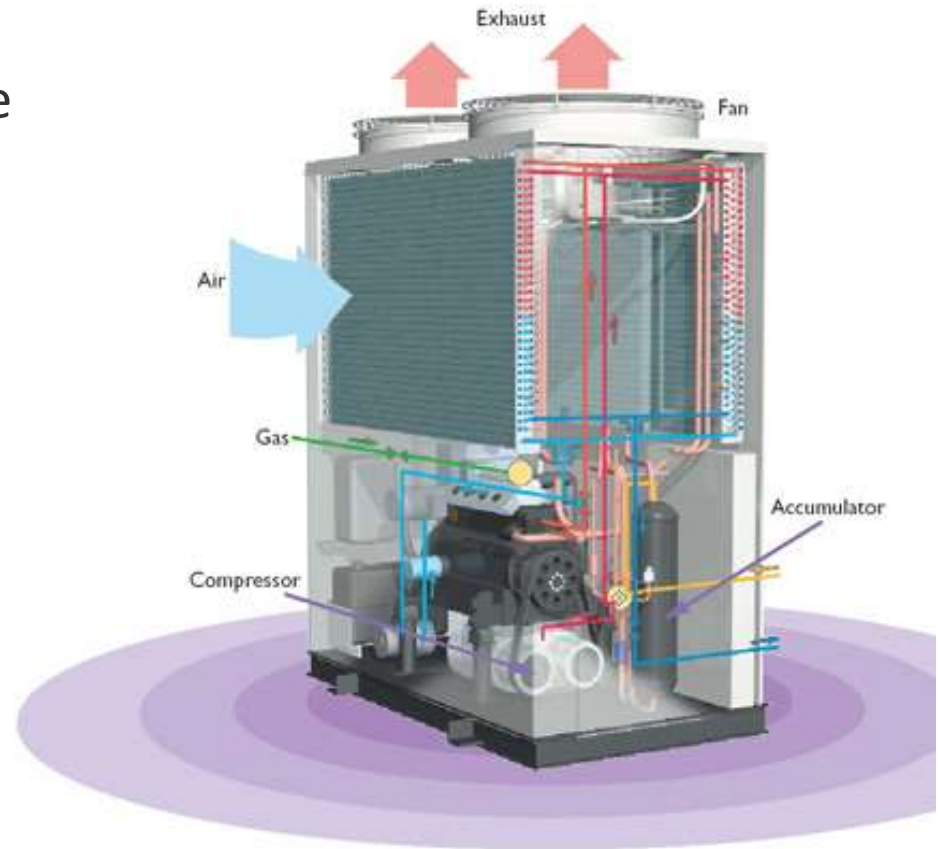
Tepelná čerpadla poháněná plynovým motorem

$$EFF = Q / P = 152 / 100 = 1.52$$



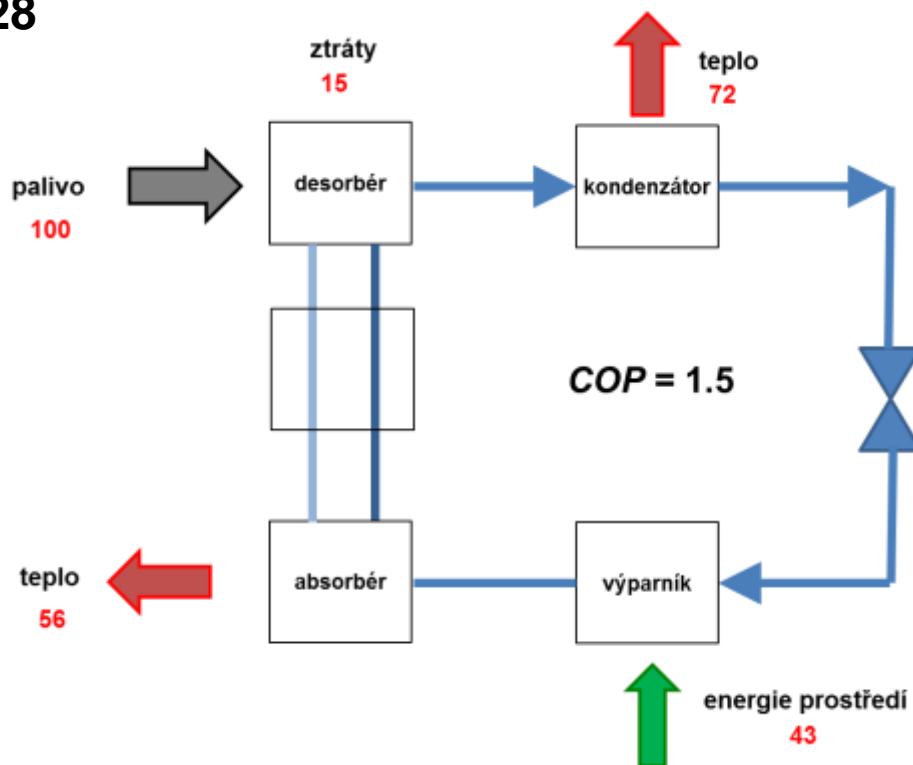
Tepelná čerpadla poháněná plynovým motorem

- plynový spalovací motor
produkce mechanické energie
- přímý mechanický pohon
kompresoru
- odpadní teplo pro ohřev

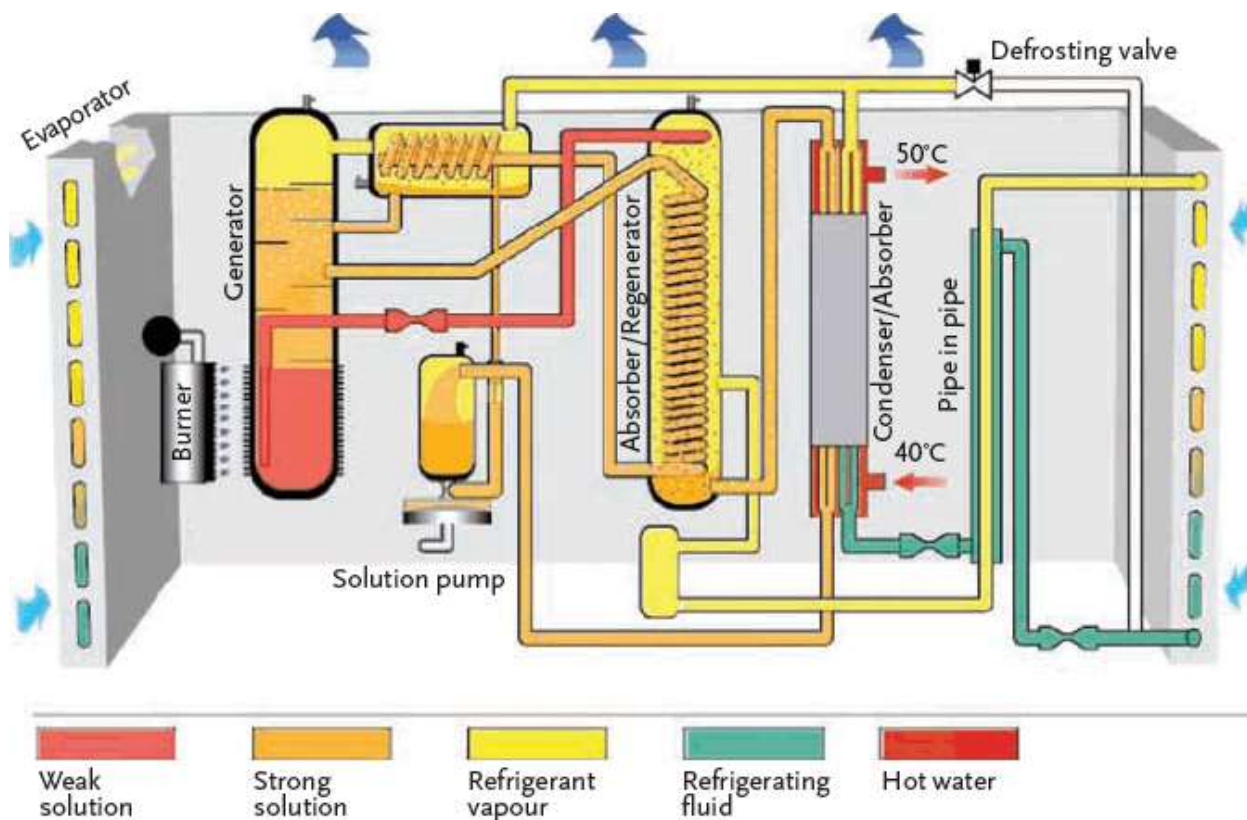


Absorpční plynová tepelná čerpadla

$$EFF = Q / P = 128 / 100 = 1.28$$



Absorpční plynová tepelná čerpadla



Absorpční plynová tepelná čerpadla

- **absorpční cyklus**
 - pracovní dvojice čpavek-voda
 - hořák zemního plynu
- **čpavek jako chladivo**
 - ODP = 0
 - GWP = 0
- **adsorpční varianty**
 - zeolit jako adsorbent



Bytový dům Jablonec nad Nisou

- **bytové domy**
 - 8 až 12 pater
 - 38 až 55 bytových jednotek
- **absorpční tepelná čerpadla**
vzduch-voda v kombinaci s
plynovými kotli pro vytápění a
příprava teplé vody
- **tepelný výkon**
 - od 160 do 215 kW



Obchodní komora Padova (Itálie)

reverzní absorpční tepelná
čerpadla

tepelný výkon 1200 kW

chladicí výkon 680 kW

příprava teplé vody



Efektivita provozu TČ v pasivním domě


- vytápěná plocha 150 m²
- potřeba tepla na vytápění 3000 kWh/rok
- potřeba tepla na přípravu TV 3000 kWh/rok
- **celková dodaná energie 6600 kWh/rok**
- nízkoteplotní otopná soustava 40/30 °C
- **příprava TV**
45 °C
55 °C

Efektivita provozu TČ v pasivním domě

- **tepelné čerpadlo vzduch-voda** 6.3 kW $COP = 3.0$ při A2/W35
- vytápění, příprava TV (55 °C) **$SPF = 2.7$**
- vytápění, příprava TV (45 °C) **$SPF = 2.9$**

- **tepelné čerpadlo země-voda** 5.8 kW $COP = 4.5$ při B0/W35
- vytápění, příprava TV (55 °C) **$SPF = 3.0$**
- vytápění, příprava TV (45 °C) **$SPF = 3.7$**

Efektivita provozu TČ v pasivním domě

- **tepelné čerpadlo vzduch-voda** 6.3 kW $COP = 3.0$ při A2/W35
 - vytápění, příprava TV (55 °C) $PE = 7200$ kWh/rok
 - vytápění, příprava TV (45 °C) $PE = 6700$ kWh/rok
- **tepelné čerpadlo země-voda** 5.8 kW $COP = 4.5$ při B0/W35
 - vytápění, příprava TV (55 °C) $PE = 6500$ kWh/rok
 - vytápění, příprava TV (45 °C) $PE = 5300$ kWh/rok 
- **plynový kondenzační kotel + solární systém** 5 m² x 350 kWh/m².rok
 - vytápění, příprava TV $PE = 5700$ kWh/rok

Vytápění a příprava TV v bytovém domě

- **varianta nezateplený**
 - tepelná ztráta 88 kW
 - otopná voda 70/50 °C
- **varianta zateplený**
 - tepelná ztráta 49 kW
 - otopná voda 50/40 °C
- **teplá voda**
 - ohřev na 55 °C
 - 80 obyvatel, 1200 m³/rok

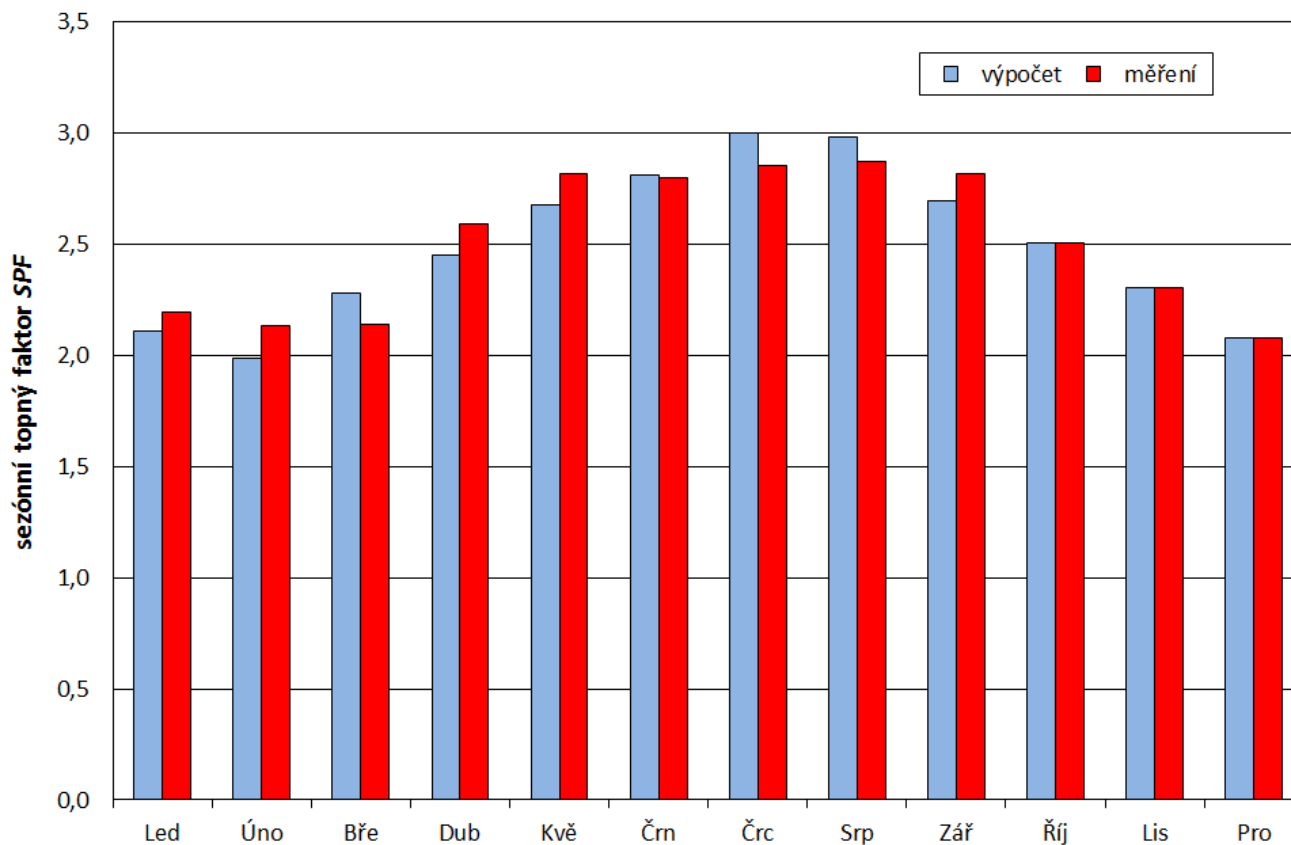


	varianta „bez zateplení“		varianta „rekonstrukce“	
	příprava TV	vytápění	příprava TV	vytápění
potřeba tepla domu [GJ]	375 (38 %)	625 (62 %)	375 (58 %)	274 (42 %)
	1000		649	
dodané teplo z TČ [GJ]	375	567	375	257
	941		632	
potřeba elektřiny TČ [MWh]	40,4	58,6	40,4	22,4
	99,0		62,8	
topný faktor TČ [-]	2,57	2,69	2,57	3,19
	2,64		2,79	
teplo ze záložního zdroje [GJ]	0	59	0	17
	59		17	
pomocné el. energie [MWh]	0,3	0,4	0,3	0,2
	0,7		0,5	
doba provozu TČ [h]	1613	2667	2150	1662
	4280		3812	

Pouze příprava TV v bytovém domě



Efektivita přípravy TV v bytovém domě



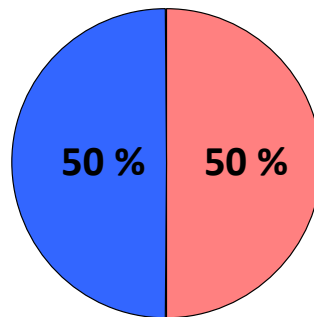
Vyhodnocení měření na 5 domech

Objekt	$Q_{TČ} + Q_{EK}$		$P_{NT} + P_{VT}$	SPF
	[GJ]	[kWh]	[kWh]	[-]
1	269,7	74924	29907	2,5
2	256,6	71288	31486	2,3
3	230,6	64046	25138	2,5
4	241,9	67186	26826	2,5
5	295,2	81988	33917	2,4
průměr	263	73002	30843	2,45

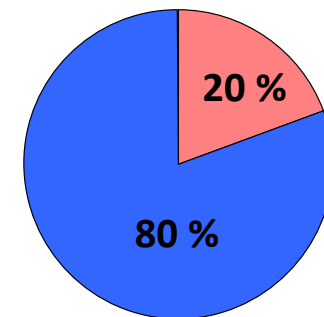
Jak dosáhnout vysokých topných faktorů?

- nízkoteplotní otopná soustava ($< 40\text{ °C}$)
- správně navržený zdroj nízkopotenciálního tepla
- problematická příprava teplé vody ! $SPF \ll 3,0$ **2.5**
problematické u domů s výrazným podílem přípravy teplé vody
- monovalentní systém – snížení potřeby el. energie pro dohřev

pasivní RD



pasivní BD



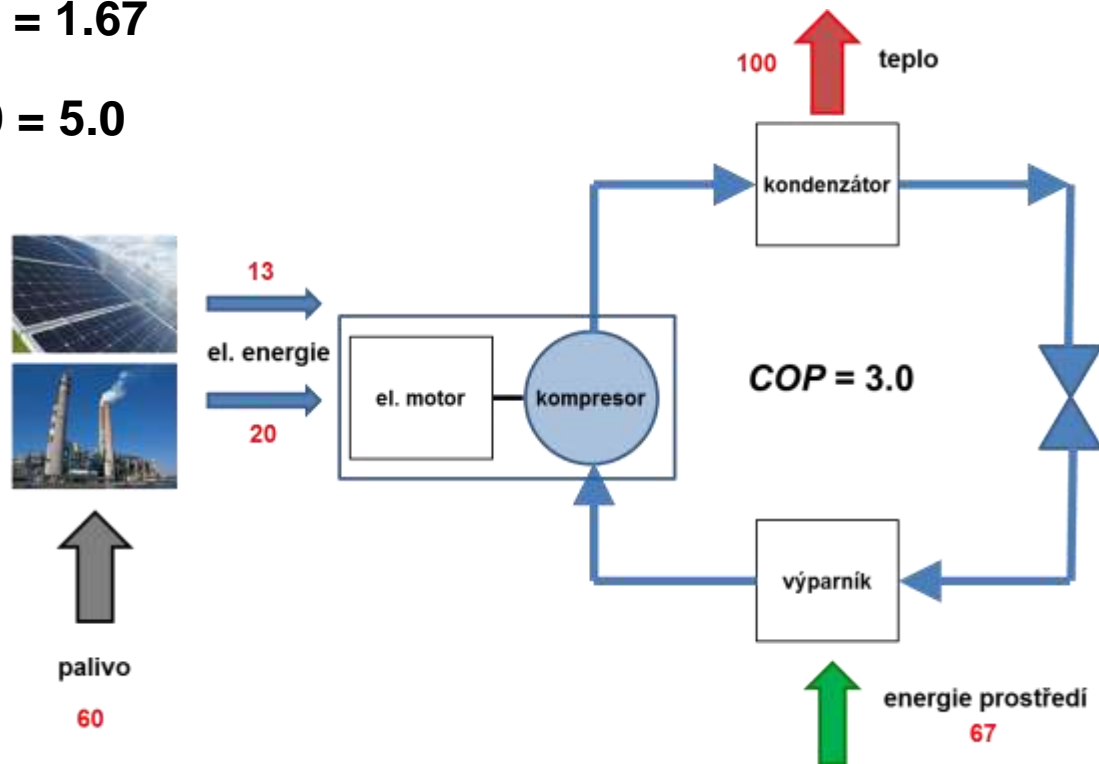
Jak zlepšit efektivitu systémů s TČ?

- **složitější systém**
 - předeřev, dohřev
- **jiná konstrukce tepelných čerpadel**
 - tepelná čerpadla s CO₂ (nadkritický cyklus)
 - tepelná čerpadla s odvodem tepla na více úrovních (chladič přehřátých par, dochlazovač)
- **kombinace s jinými zdroji**
 - kombinace se solární tepelnou soustavou (letní ohřev TV)
 - kombinace s FV systémem – přímá kompenzace příkonu TČ

Tepelná čerpadla a FV systémy

$$EFF = Q / P = 100 / 60 = 1.67$$

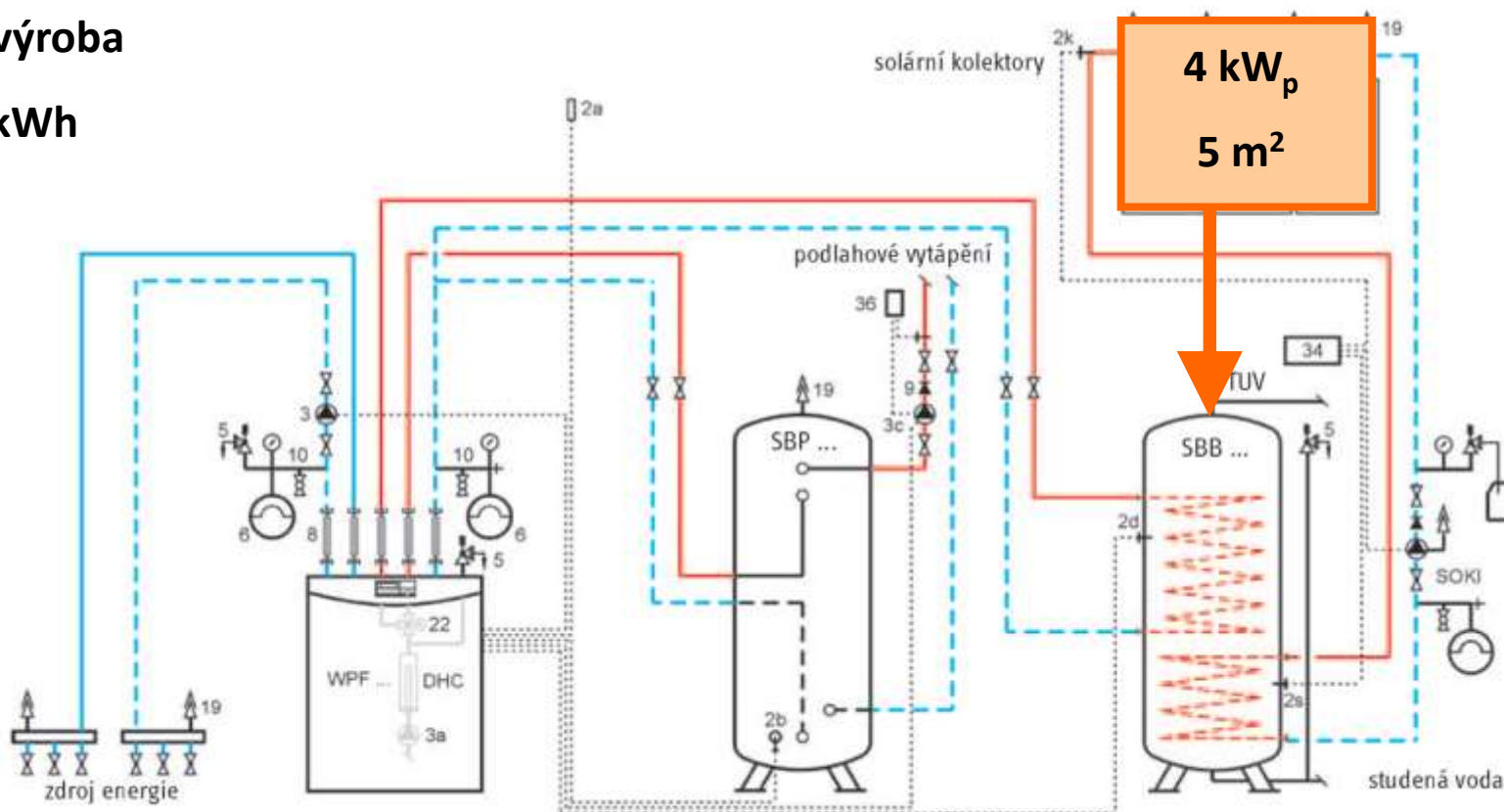
$$SPF = Q / E = 100 / 20 = 5.0$$



Kombinace tepelného čerpadla se solární soustavou

roční výroba

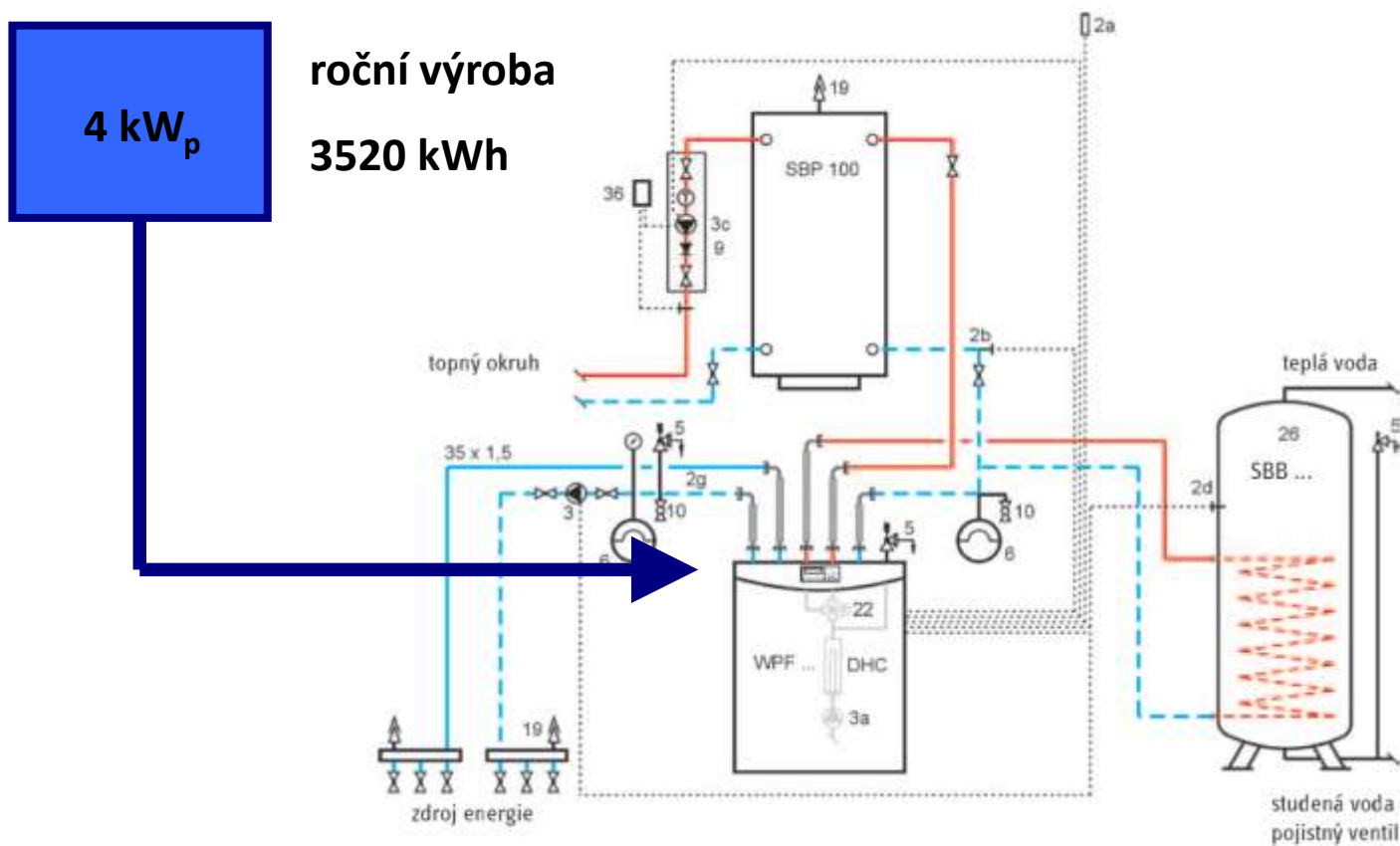
1750 kWh



Kombinace tepelného čerpadla se solární 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 tepelného čerpadla s FV systémem



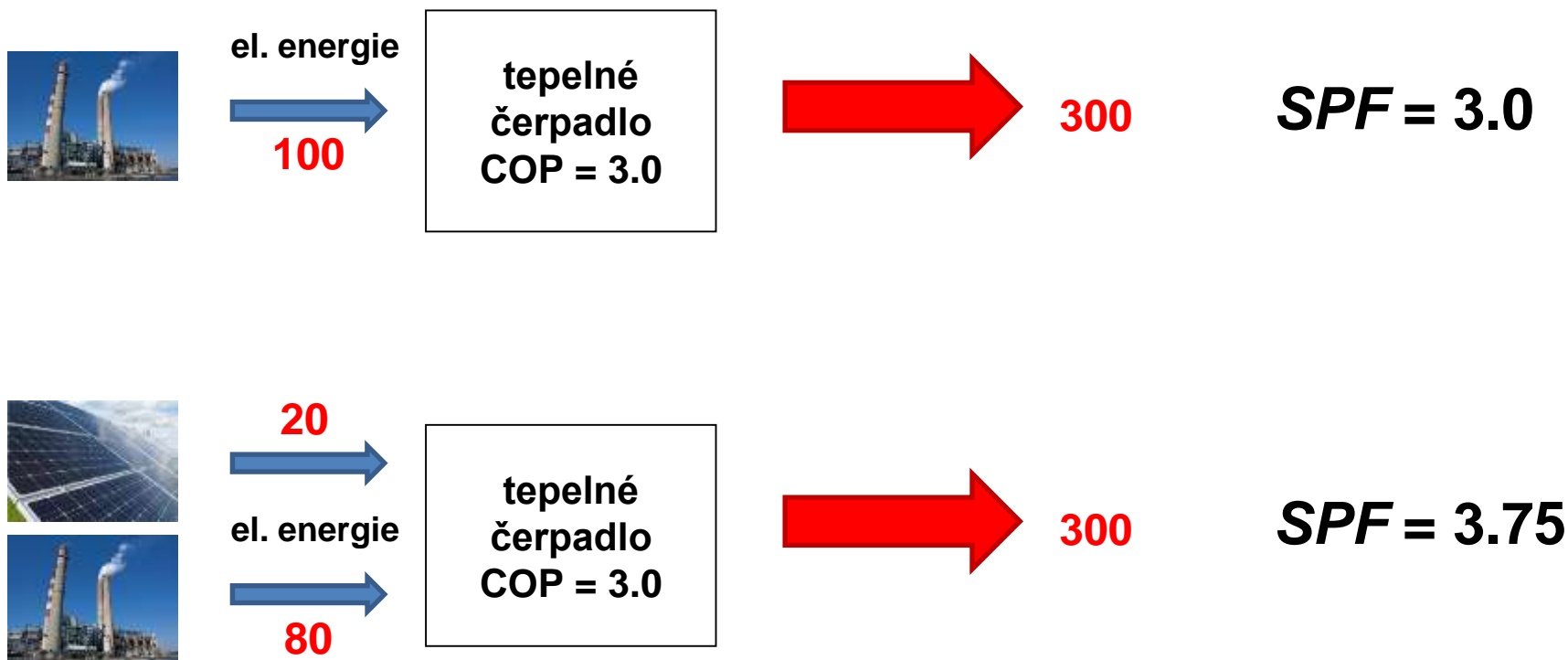
Kombinace tepelného čerpadla s FV systémem

	vzduch – voda			země - voda 18 %		
	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

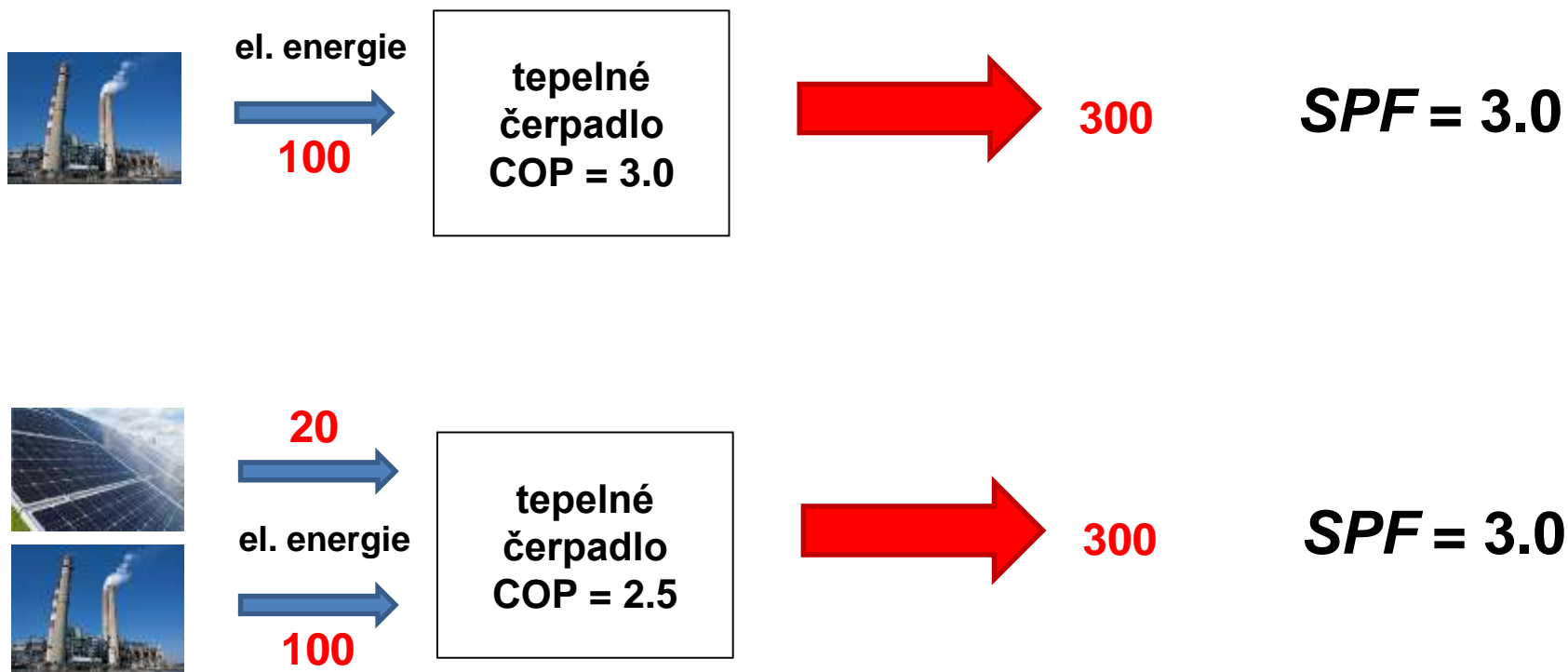
Kombinace tepelného čerpadla s FV systémem

- **pouze 10 až 20% využití FV elektřiny pro pohon čerpadla**
 - nízká úroveň současnosti provozu FV a TČ
 - tepelné čerpadlo: krytí potřeby v zimním období pro vytápění ohřev vody: ráno a večer; vytápění: noc
 - fotovoltaika: produkce elektřiny v „letním“ období produkce přes den
- **řízení příkonu kompresoru podle výroby elektrické energie**
 - až 30-40 % využití FV elektřiny při běžném objemu akumulace

Kombinace tepelného čerpadla s FV systémem



Kombinace tepelného čerpadla s FV systémem



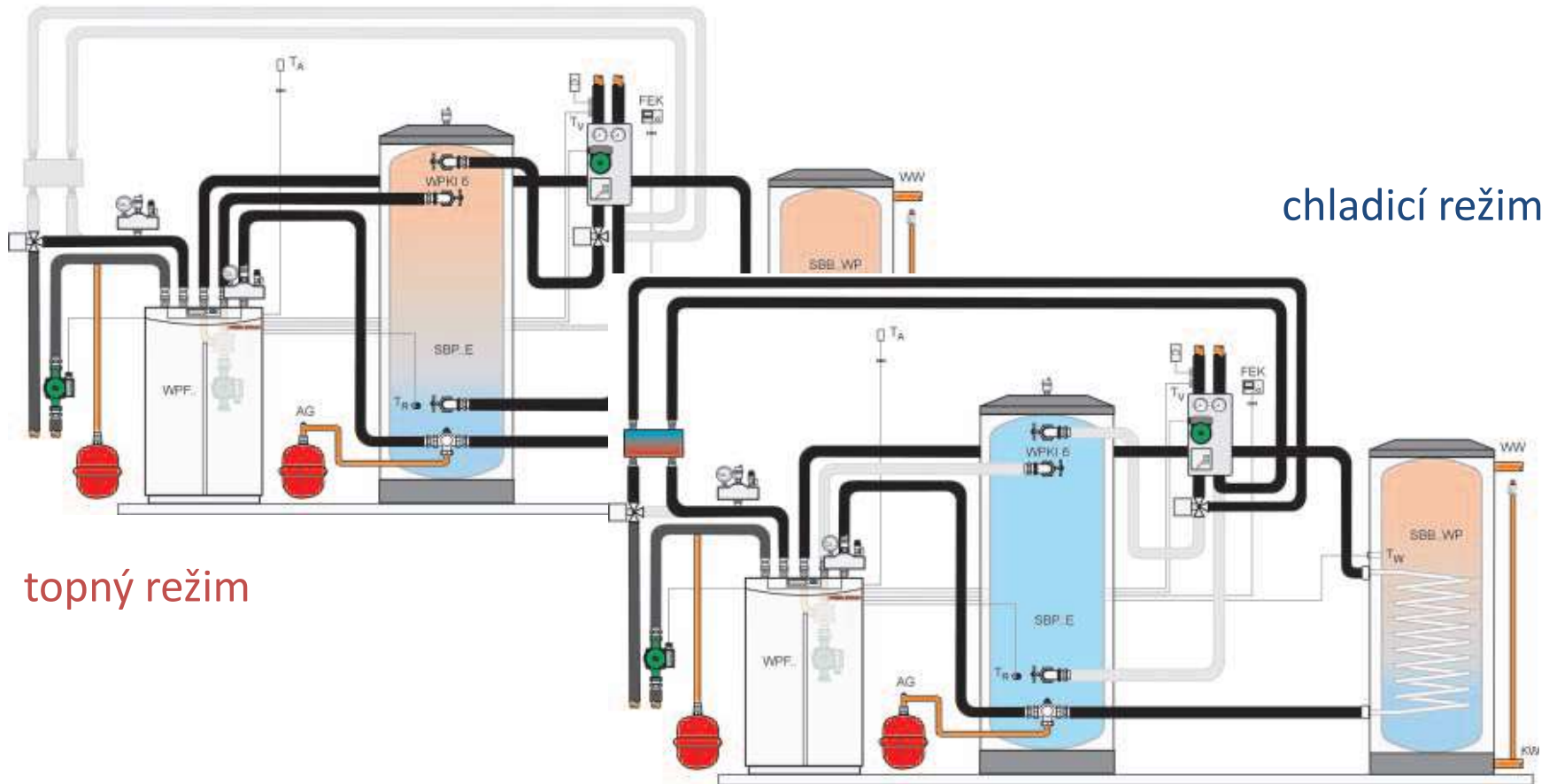
Kombinace tepelného čerpadla s FV systémem

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

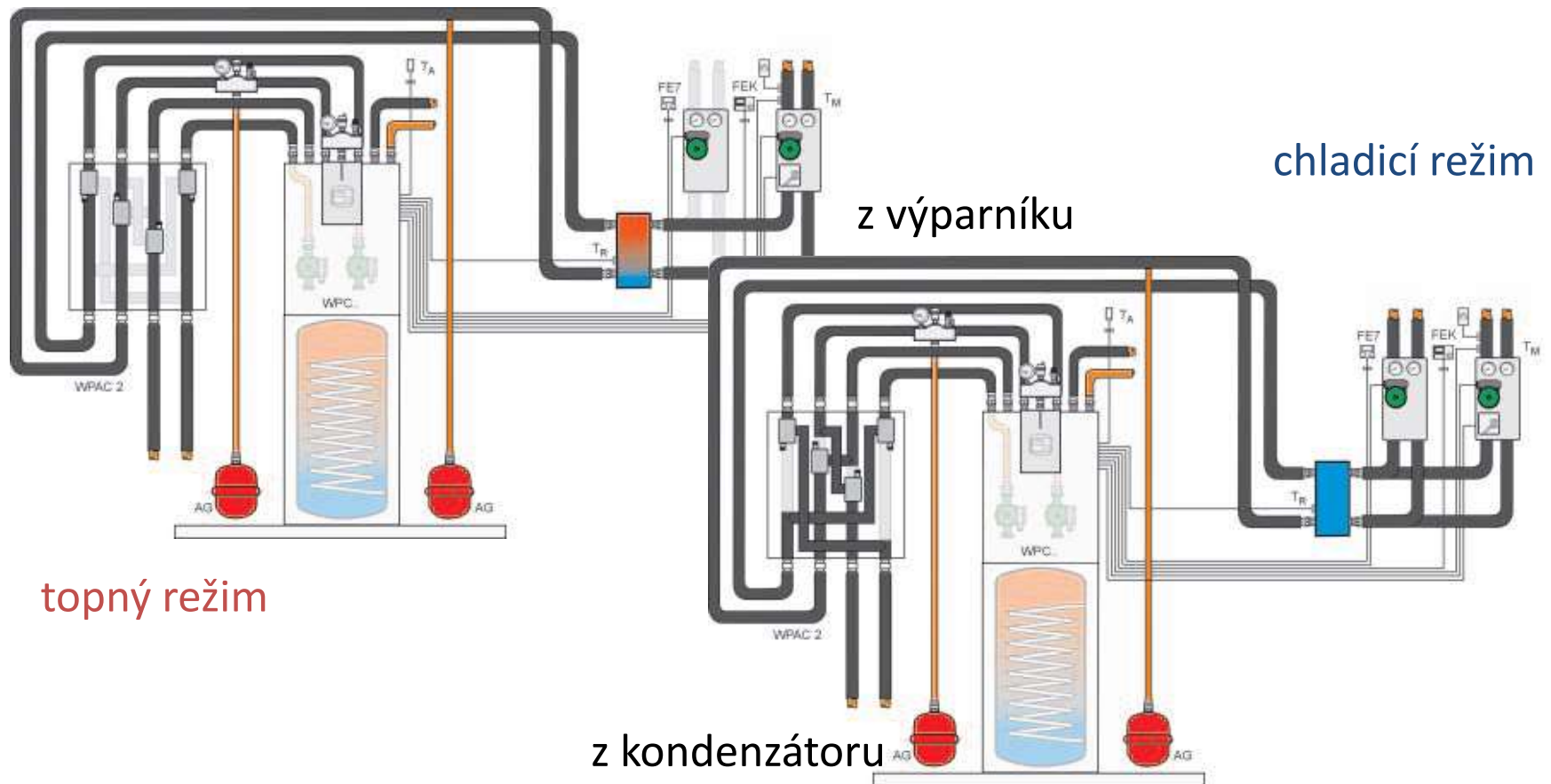
$$SPF > 1,15 \frac{1}{\eta_e}$$

- průměr EU 2009 $\eta_e = 40 \%$ ***SPF > 2,88***
- průměr EU 2013 $\eta_e = 45.5 \%$ ***SPF > 2,53***

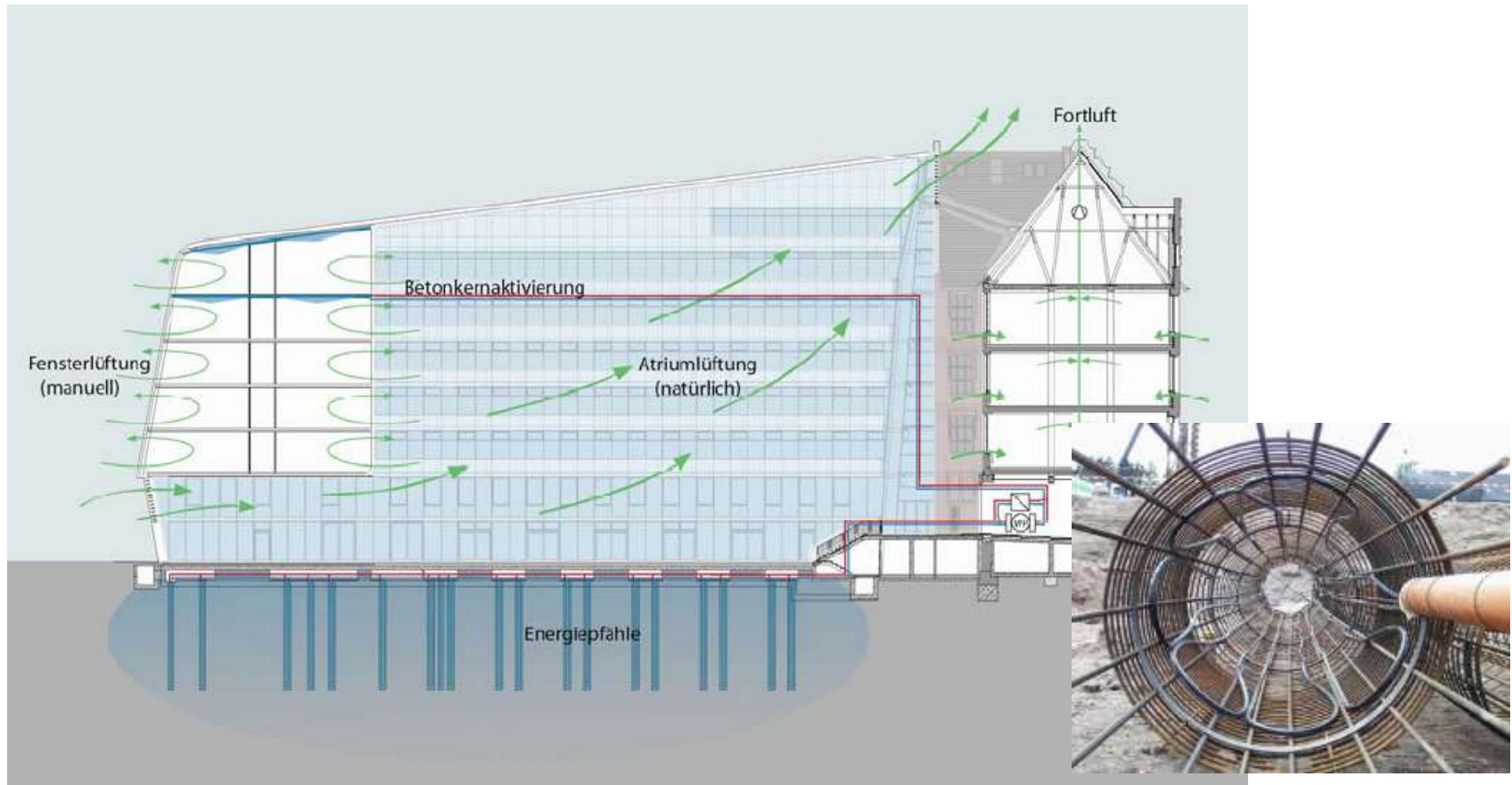
Pasivní chlazení



Aktivní chlazení



Energetické piloty



Energetické piloty

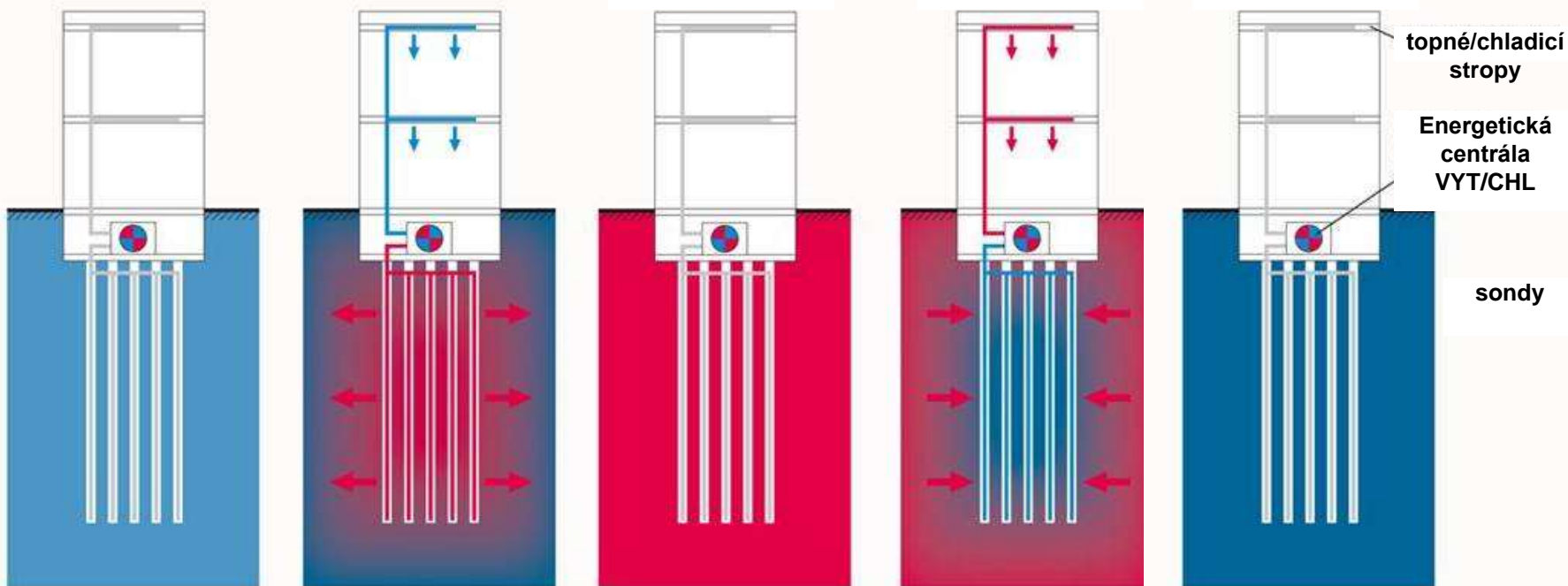
výchozí pozice
teplota podloží cca
8-12°C

léto
chlazení budovy
podloží slouží k
ukládání tepla cca
>8-12°C

podzim
vytápění/chlazení
akumulace tepla do
podloží je
dokončeno
cca 12-16°C

zima
vytápění
využití tepla z
akumulace tepla z
podloží
cca <16°C

Jaro
vytápění/chlazení
využití chladu z
akumulace chladu z
podloží
cca 4-8°C



Vysoká škola báňská – Nová aula



700 kW (10 TČ)

110 vrtů, hloubka 140 m

podlahové vytápění, VZT

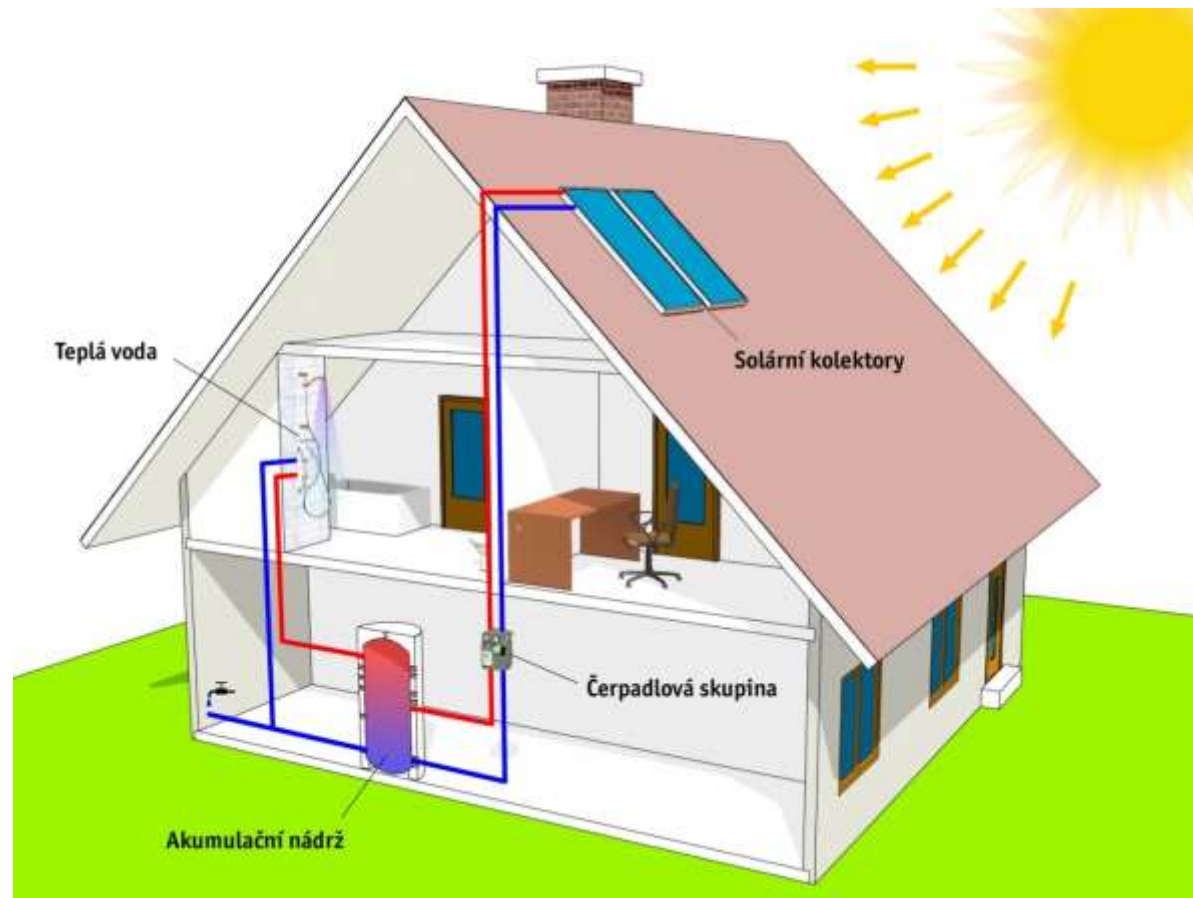
příprava TV

pasivní chlazení v létě



Solární tepelné soustavy

Solární soustavy



Solární soustavy

- solární ohřev vody / podpora vytápění
 - ploché kolektory
- solární chlazení
 - trubkové vakuové kolektory
- solární soustava jako **spořič energie**
nikoli hlavní zdroj tepla (extrémní případy)
- **bezemisní** technologie
- minimální potřeba primární energie



Kam s kolektory?

- konstrukční integrace
- architektonická integrace



Kam s kolektory?



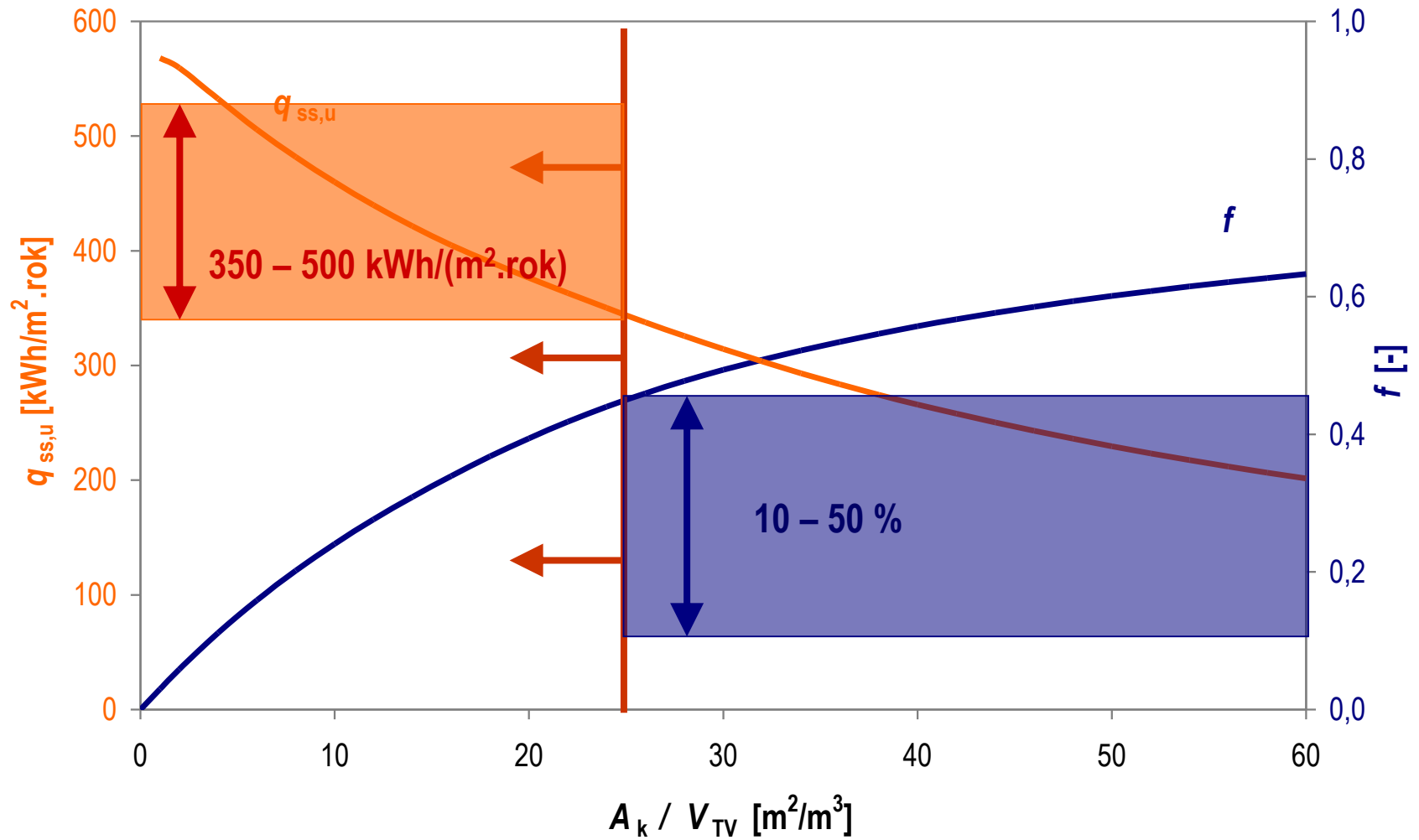
Kam s kolektory?

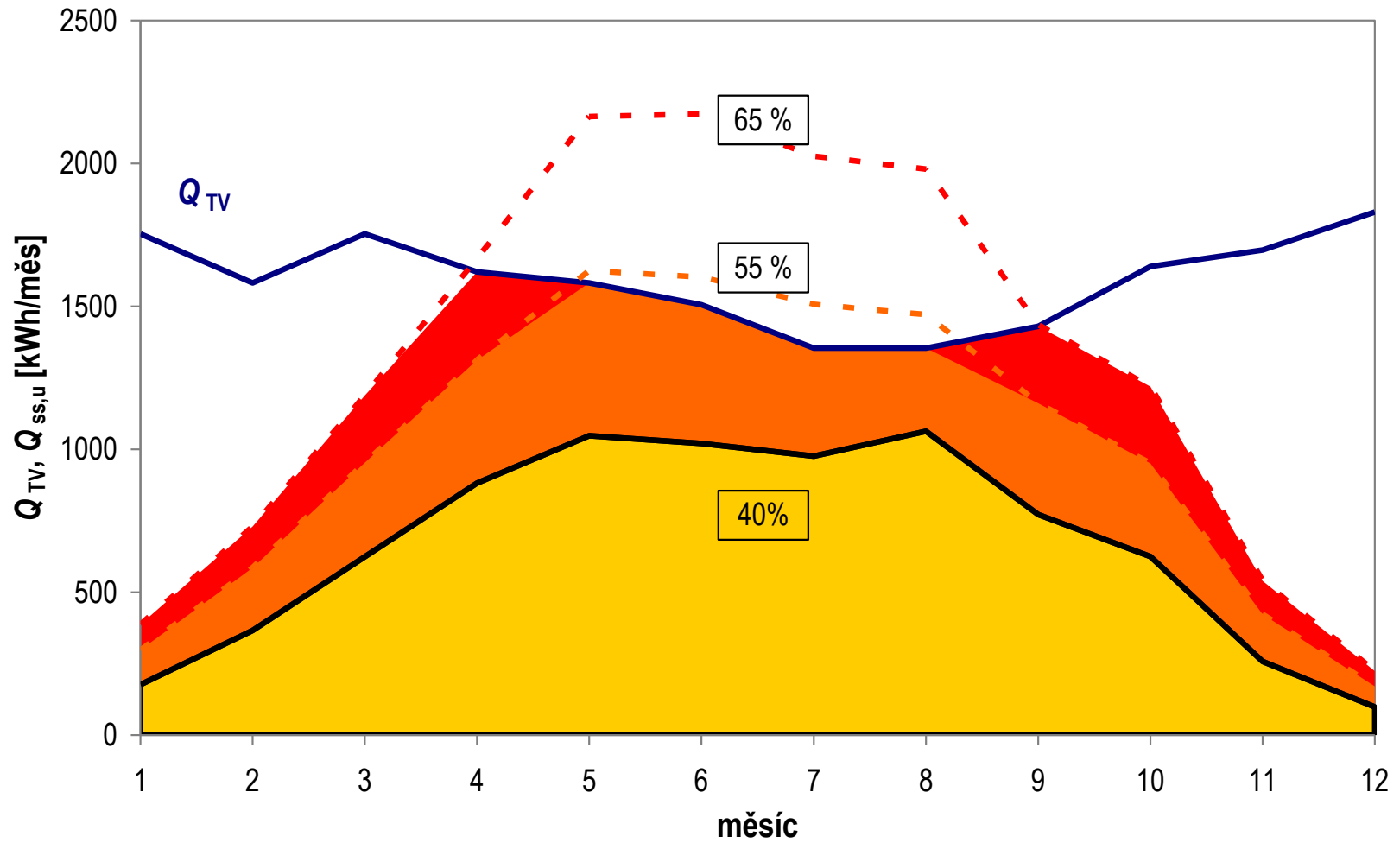


Přínosy solárních tepelných soustav

- měrné solární zisky x solární pokrytí
- čím **vyšší pokrytí** potřeby energie solární soustavou (= vyšší úspora emisí), tím **nižší měrný energetický zisk** (= horší ekonomika)
- minimální pomocná energie < 1 % ze zisků

Druh solární soustavy	pokrytí [%]	roční zisky [kWh/m ²]
Solární ohřev vody	40 až 60	350 až 500
Vytápění a ohřev vody	10 až 30	300 až 400
Solární chlazení	-	150 až 250





Bytový dům Velká skála (Praha 8)

příprava teplé vody pro 50 b.j.

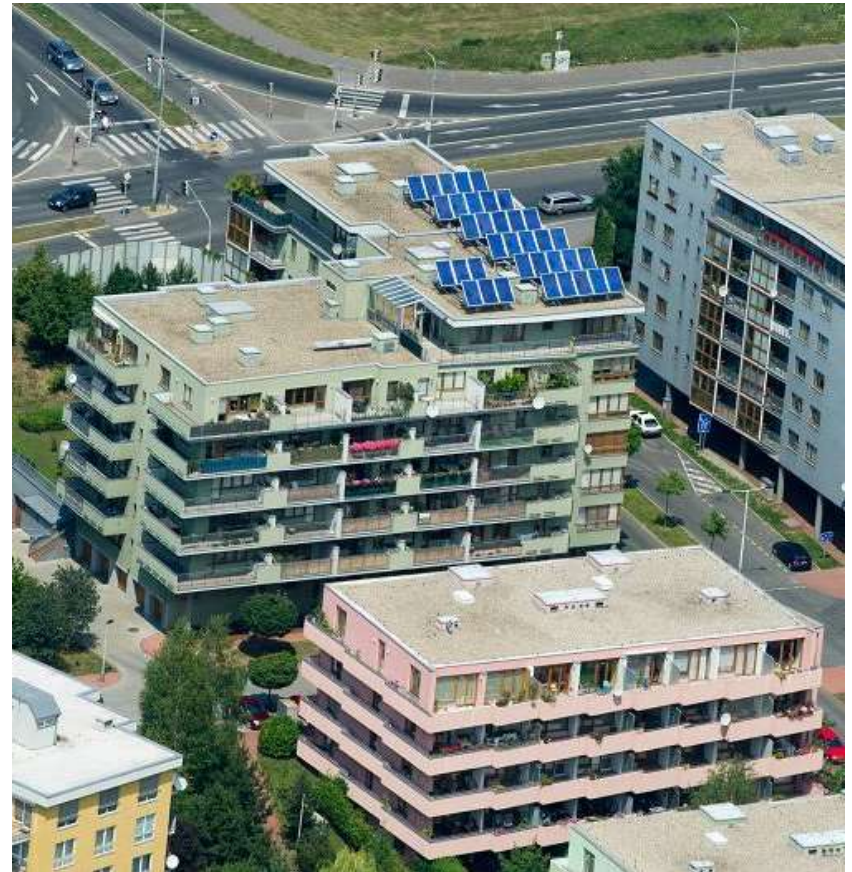
denní odběr 5 m³

ohřev cirkulace

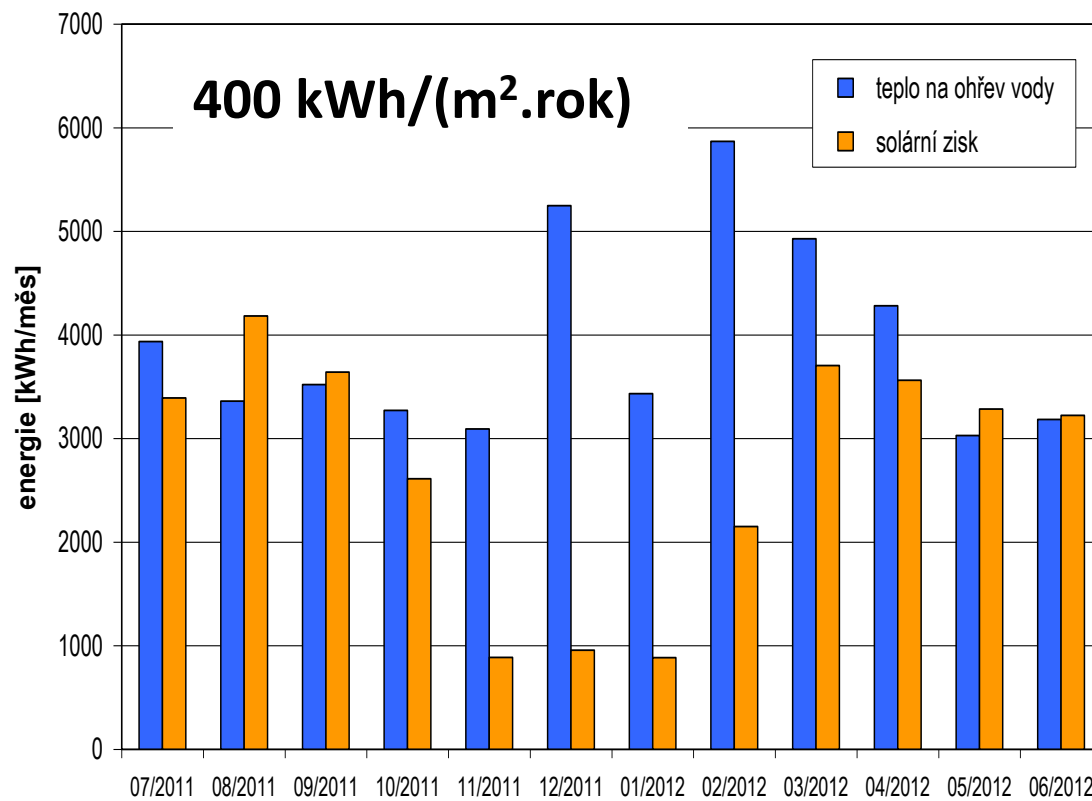
dodatkový zdroj: výměník CZT

81 m² plochých kolektorů

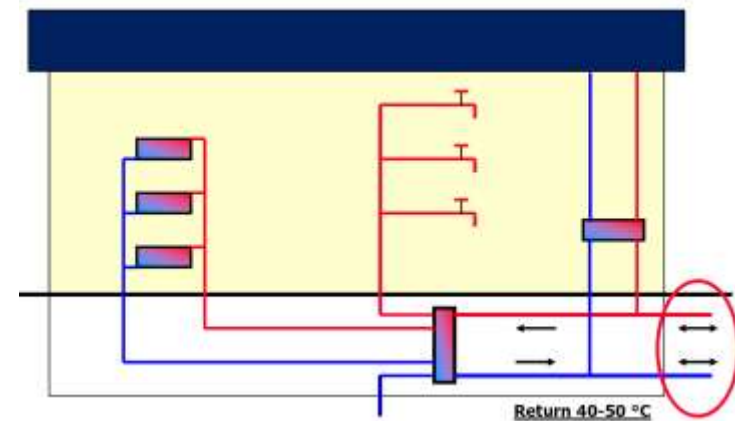
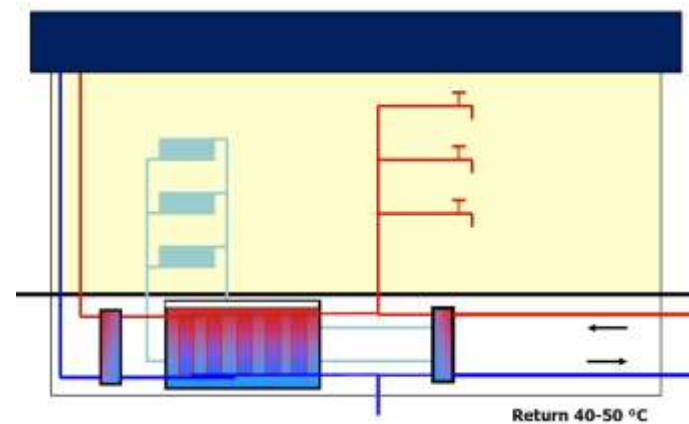
3 x zásobník 1000 l



Bytový dům Velká skála (Praha 8)



Co s přebytky v létě ... aneb dodávka do CZT

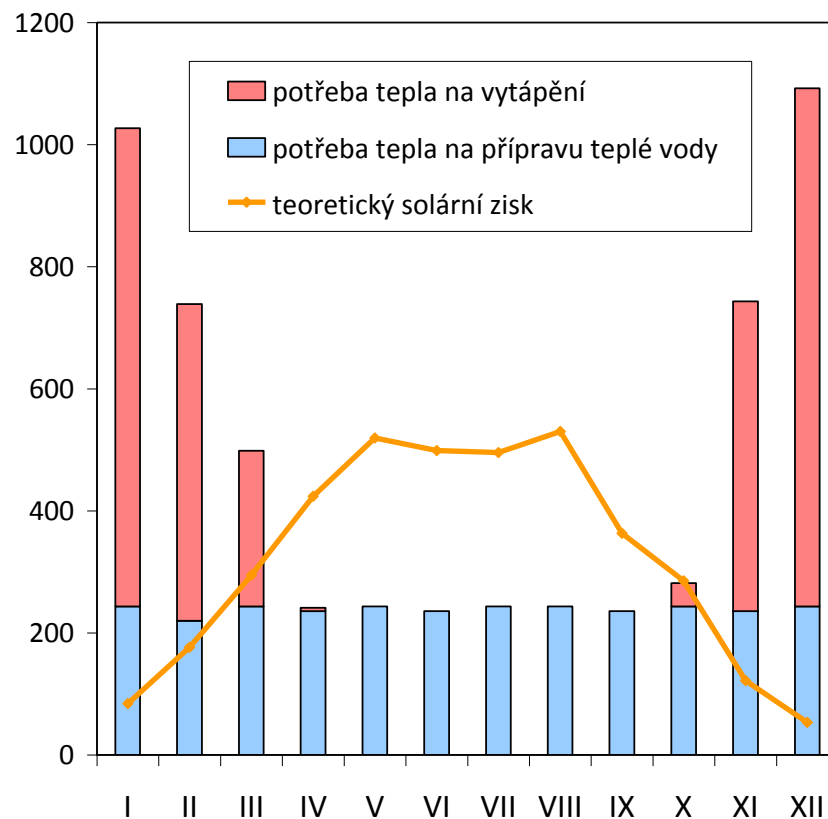


Co s přebytky v létě ... aneb dodávka do CZT

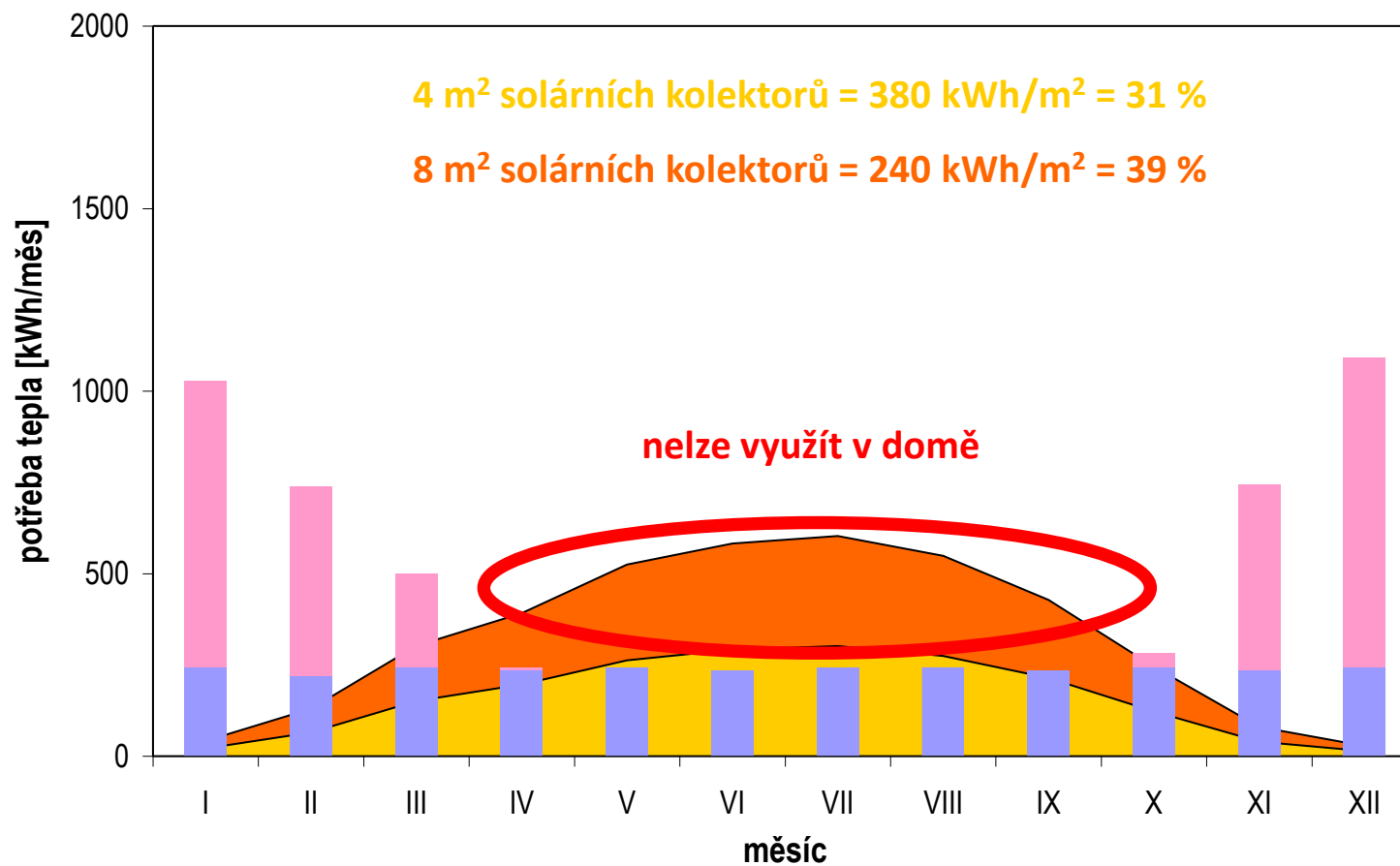


Solární vytápění

- nízkoteplotní otopné soustavy velkoplošné sálavé, apod.
- vhodné dimenzování plochy
- sklon kolektorů
- využití přebytků
- solární vytápění pro pasivní domy
 - využitelnost?
 - návrh jako na přípravu TV



Solární soustava pro vytápění ...



Bytovka Oberburg (CH) – 100% solární pokrytí



plocha kolektorů: **276 m²**

objem zásobník: **205 m³**

8 bytových jednotek

vytápěná plocha 1 282 m²

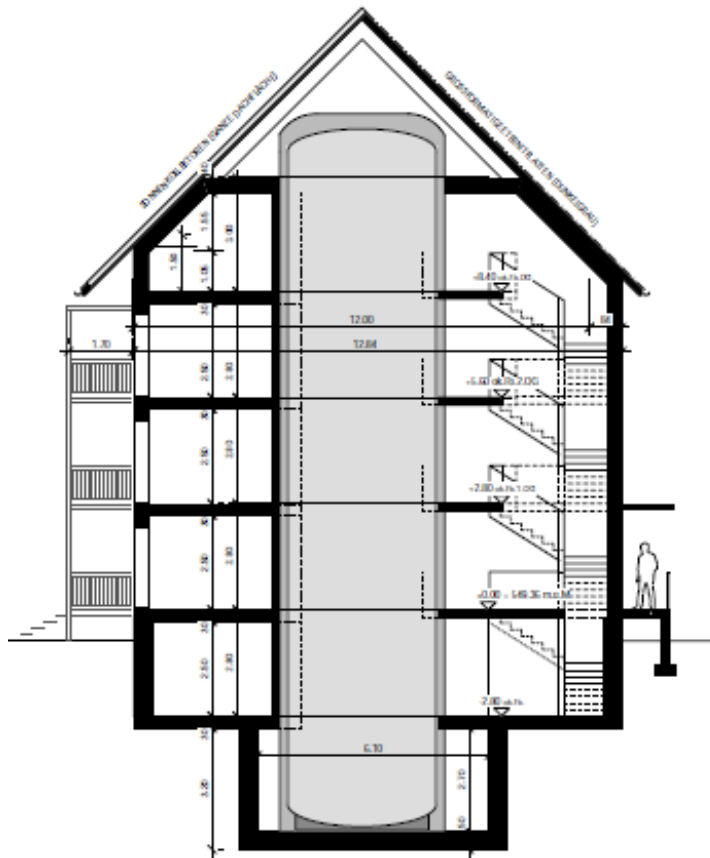
tepelná ztráta 12 kW při -8°C

výstavba 2005-2007

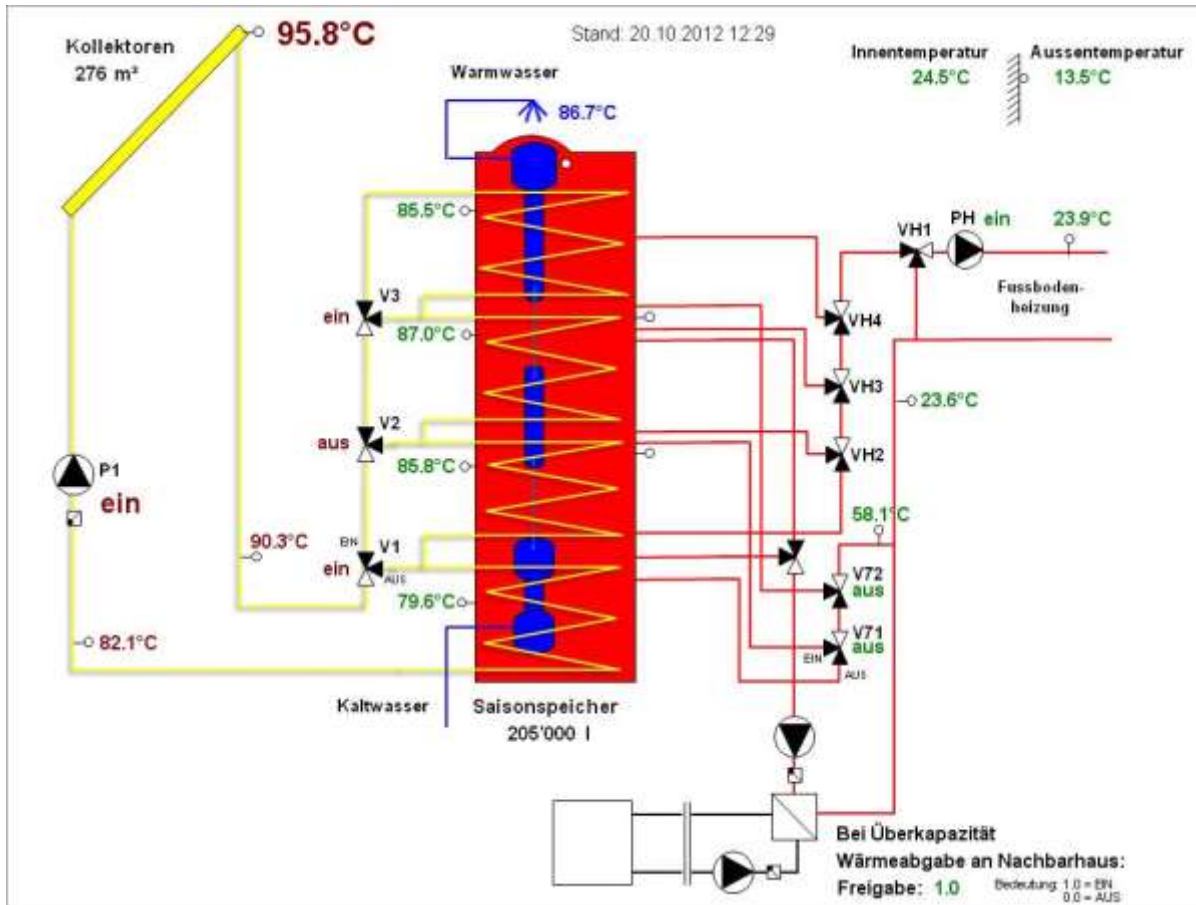
žádný jiný zdroj

přebytky do sousedního
domu

Bytovka Oberburg (CH) – 100% solární pokrytí

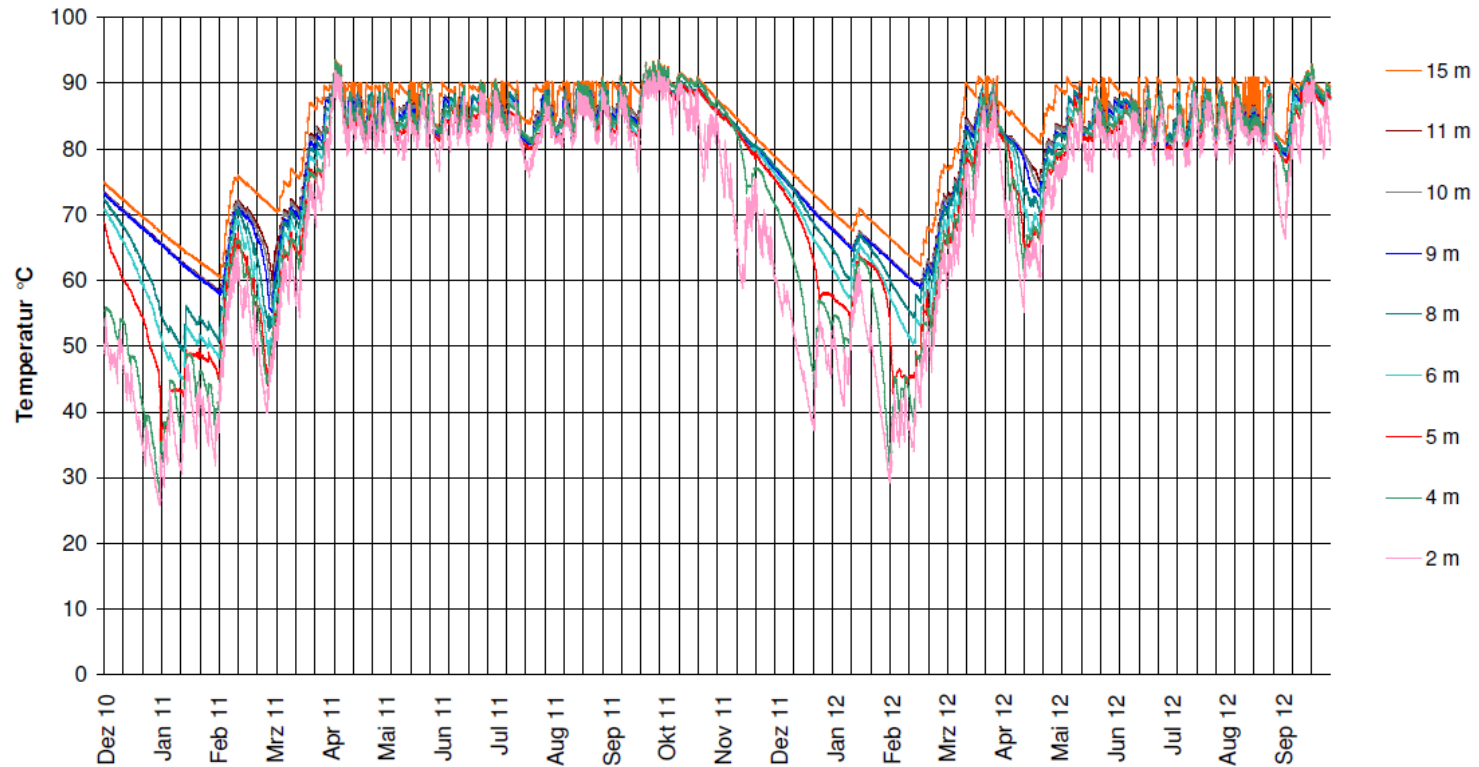


Bytovka Oberburg (CH) – 100% solární pokrytí

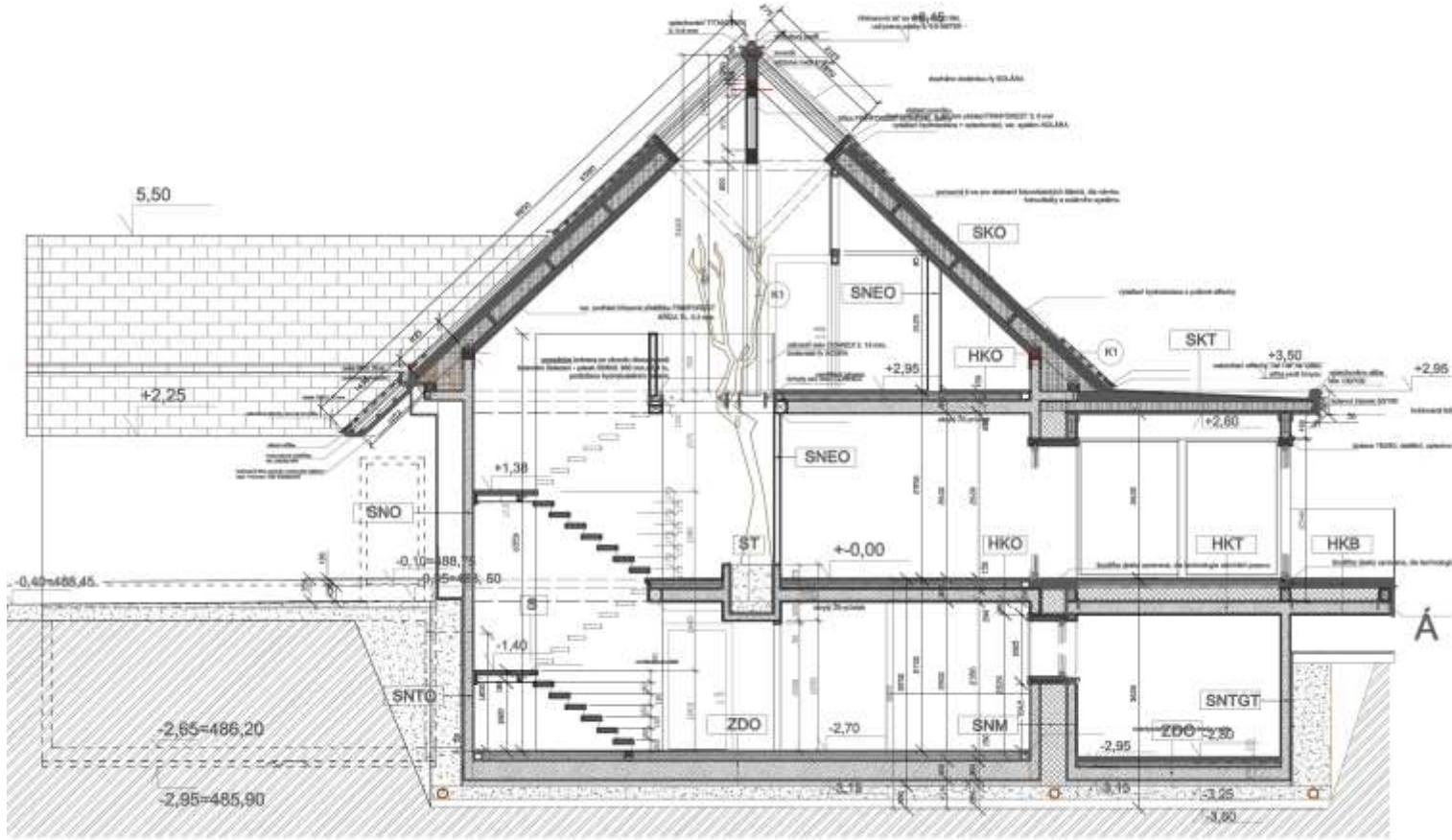


Bytovka Oberburg (CH) – 100% solární pokrytí

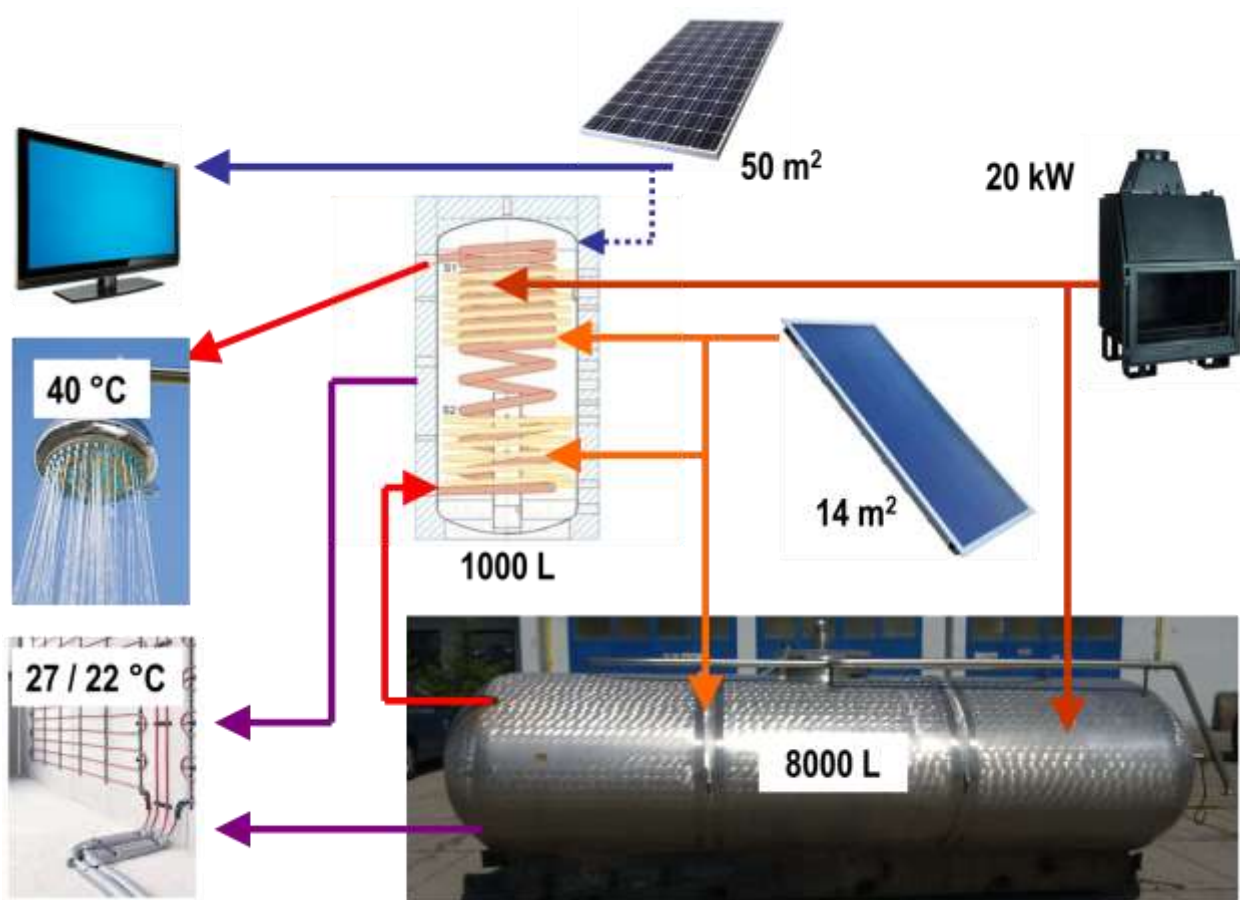
Temperaturen Speicher Solar-Mehrfamilienhaus 04.12.10 - 30.09.12



Kombinace FV a FT - RD Ondřejov



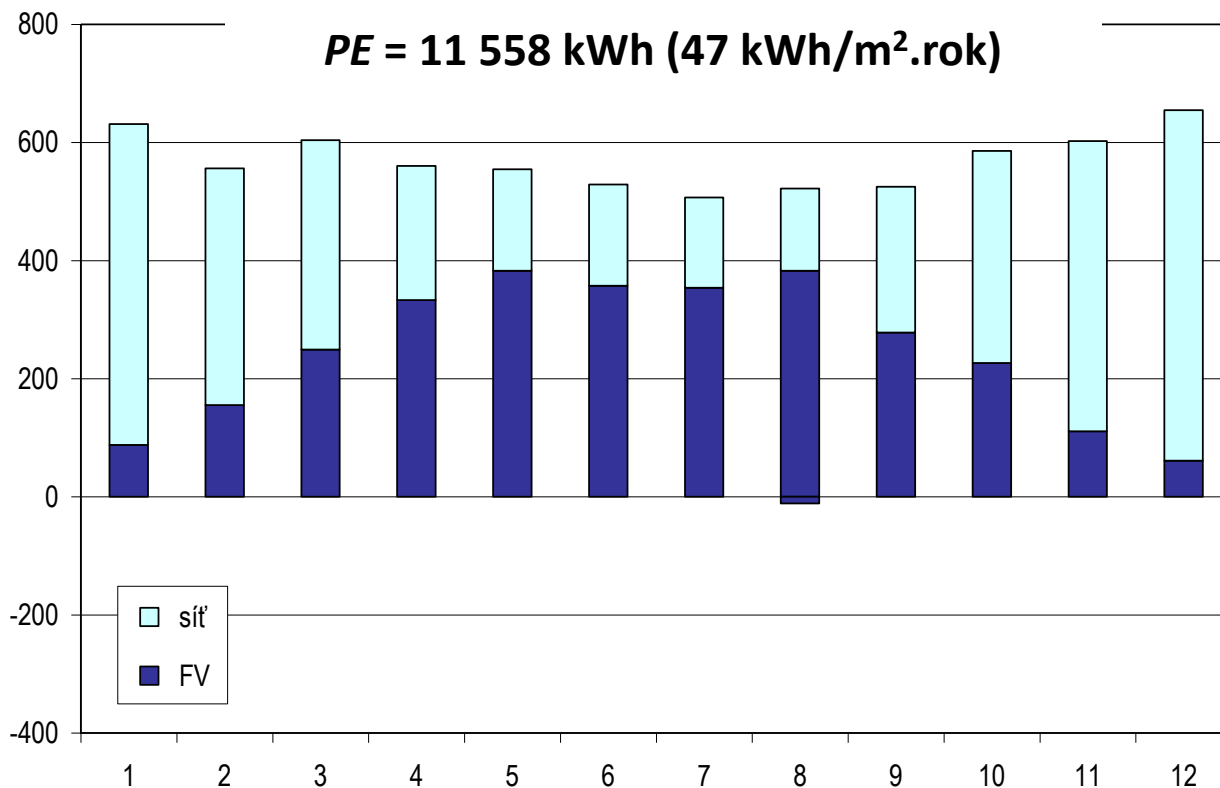
Kombinace FV a FT - RD Ondřejov



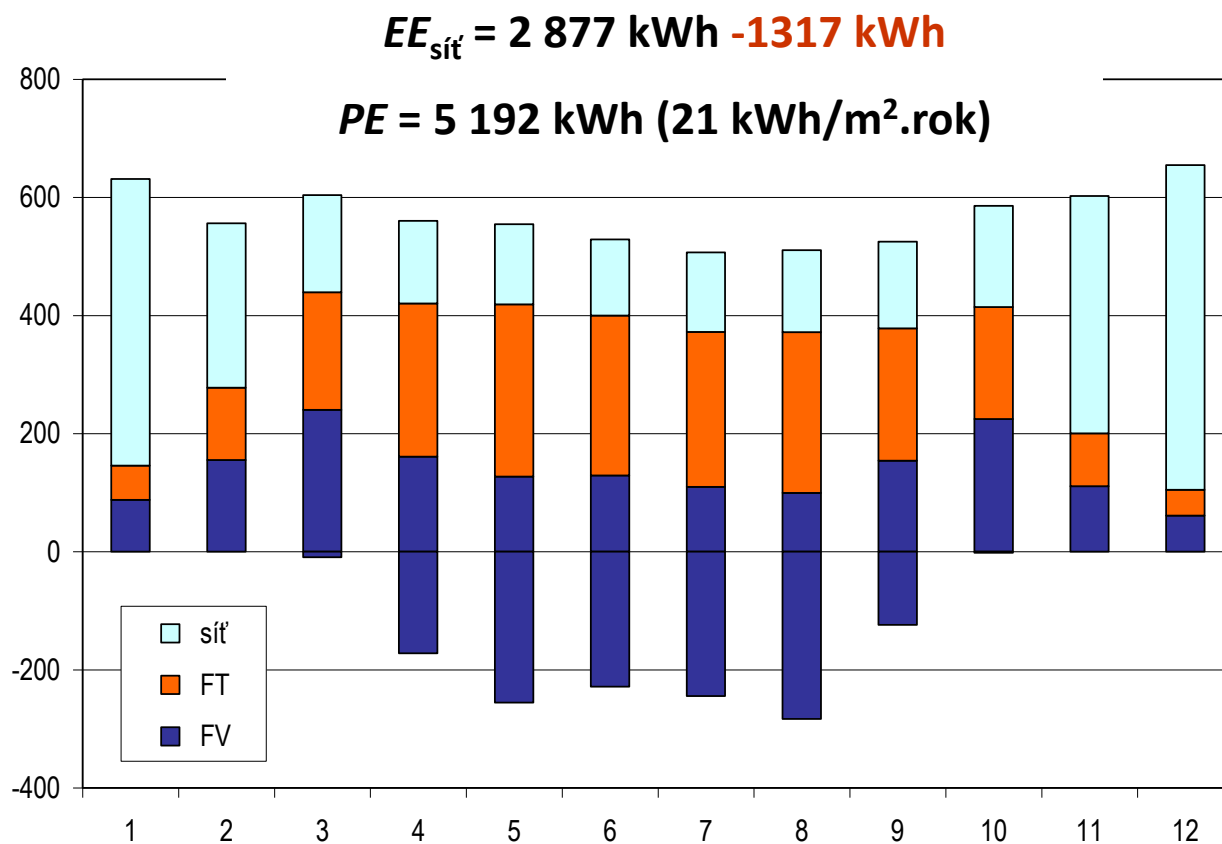
Analýza pro RD Ondřejov – pouze FV

$EE_{sít} = 3\ 853\ \text{kWh} - 11\ \text{kWh}$

$PE = 11\ 558\ \text{kWh} (47\ \text{kWh/m}^2.\text{rok})$



Analýza pro RD Ondřejov – FV + FT 6 m²



Analýza: RD Ondřejov

- použít FV střechu (50 m²) pro ohřev vody (varianta 1)
instalovat solární kolektory (6 m²) tepelnými kolektory (varianta 2)

	Varianta 1		Varianta 2	
	energonositel E nebo Q	primární energie PE	energonositel E nebo Q	primární energie PE
Odběr el. energie z nadřazené sítě	3 853	11 558	2877	8631
Export vyrobené energie do nadřazené sítě	11	-31	1317	-3689
Vytápění biomasou	5 000	250	5000	250
Celkem		11 777		5192

Zdroje chladu



Zdroje chladu

- minimalizace potřeby chladu
- architektonický návrh – orientace, prosklení, stínění
- stavební řešení – materiály, akumulace, snížení zátěže
- úpravy okolí - zeleň, vodní plochy
- návrh zdrojů chladu
 - zohlednění dynamiky budovy, nesoučasnosti zátěže
 - použití pokročilých výpočtových metod, **počítačové simulace**
 - možnosti využití **nízkoenergetického chlazení**, využití OZE
- efektivita zařízení: chladicí faktor *EER*
- náročnost na primární energii: *PER*

Zdroje chladu

- **kompresorová chladicí zařízení** – elektricky poháněná
 - *EER* od 2,5 do 5,0
- **sorpční chladicí zařízení** – poháněné teplem
 - např. z kogenerace (trigenerace)
 - ze spalování plynu (hořák)
 - *EER* od 0,6 do 0,8 (jednostupňové), 1,0 až 1,4 (dvojstupňové)

Zdroje chladu

- *EER* závislý na celkové spotřebě elektrické energie
 - pohon chladicí věže
 - pohon oběhových čerpadel
- *EER* závislý na rozdílu teplot kondenzátor-výparník
 - provoz v nočních hodinách – odvod odpadního tepla do chladného okolního vzduchu
 - využití kondezačního tepla pro předehřev vody
 - využití vysokoteplotních chladicích soustav – velkoplošné sálavé systémy

Solární chlazení

- současnost tepelné zátěže a příkonu slunečního zařízení
- **solární tepelné soustavy** v kombinaci se sorpčními chladicími zařízeními (absorpční, adsorpční, desikační)
 - solární teplo jako pohonná (tepelná) energie
- kombinace **fotovoltaických systémů** s kompresorovými chladicími zařízeními
 - solární elektřina jako pohonná energie
- **solární chladicí faktor:** poměr mezi výrobou chladu a dopadlou sluneční energií (účinnost solární soustavy, účinnost chladicího zařízení)
- $EER_{sol} < 0,30$ (oba systémy), využití odpadního tepla **30 °C**

Hotel DUO (Praha Prosek)

600 pokojů, 32 apartmánů

280 ks trubkových kolektorů
plocha **448 m²**, výkon 250 kW
teploty 90/80 °C

akumulace tepla 8 x 1.9 m³

absorpční chladicí jednotka **560 kW**

akumulace chladu 2 x 1.9 m³

chladicí soustava: fan-coily **6 / 12 °C**

záloha: plyn. kotle, horkovod



Hotel DUO (Praha Prosek)



odpadní teplo z absorpce 1,4 MW
37/27 °C pro přehřev teplé vody



Solární chlazení TESCO Jaroměř (CO₂ neutrální)

- trubkové vakuové solární kolektory 230 m² (114 kW)
- absorpční chladicí jednotka chladicí výkon 168 kW, $EER = 0,75$
- kogenerační jednotka na řepkový olej 155 kW_e / 179 kW_t



Nízkoenergetické chlazení

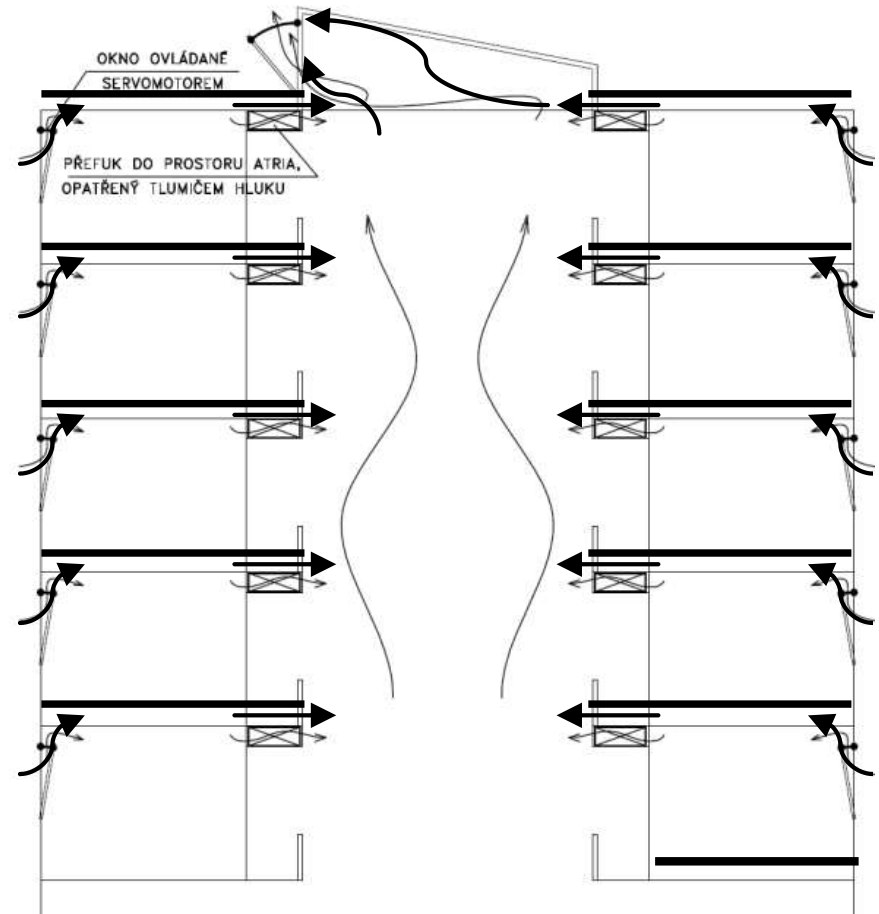
- využívání chladu okolního prostředí (OZE)
- větrání nočním chladným vzduchem + akumulace chladu do konstrukcí
- adiabatické chlazení
- využití zemních výměníků
- noční radiační chlazení
- pouze **spotřeba pomocné elektrické energie** (ventilátory, čerpadla)

Noční větrání

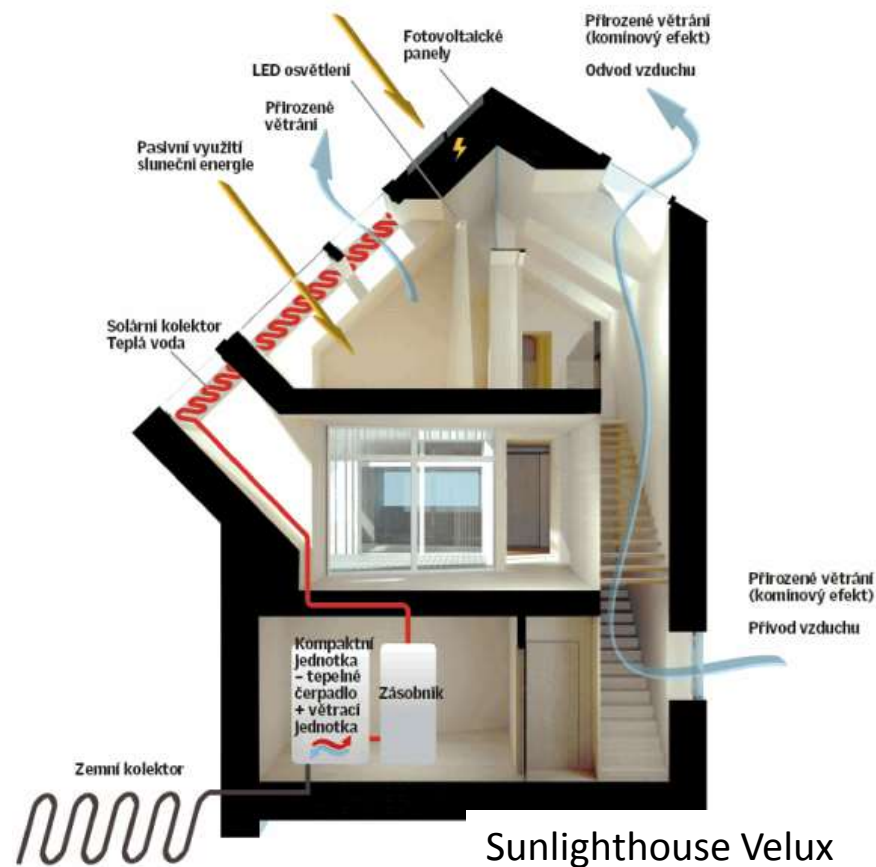
- **přírozené** – na základě vztlaku (rozdíl výšek), ... , solární komín
- **nucené** – ventilátory, nutná optimalizace spotřeba el. energie, intenzita < 8
- podmínky:
- nízká venkovní teplota
- tepelněakumulační hmota (10 cm), kombinace s PCM materiály
- příčné provětrání budovy – chladný vzduch k povrchu konstrukcí
- vychlazení objemu hmotných vnitřních konstrukcí během noci
- tepelná zátěž se akumuluje během dne
- **chladicí výkon** (trvalý, periodický), **20 až 30 W/m²**

Noční větrání (řízené přirozené) – FA ČVUT

- automatické otevírání otvorů pro větrání
- noční předchlazování hmotných betonových konstrukcí
- pozor na okolní klima (skutečné noční teploty)



Noční větrání (řízené přirozené)

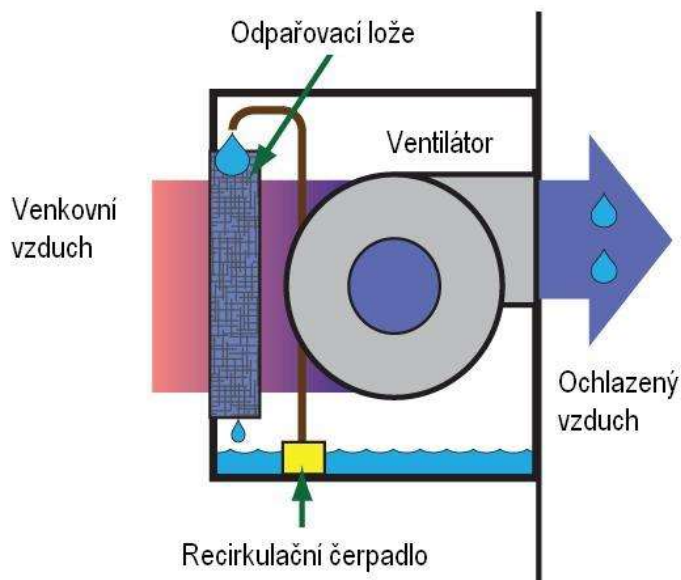


Adiabatické chlazení

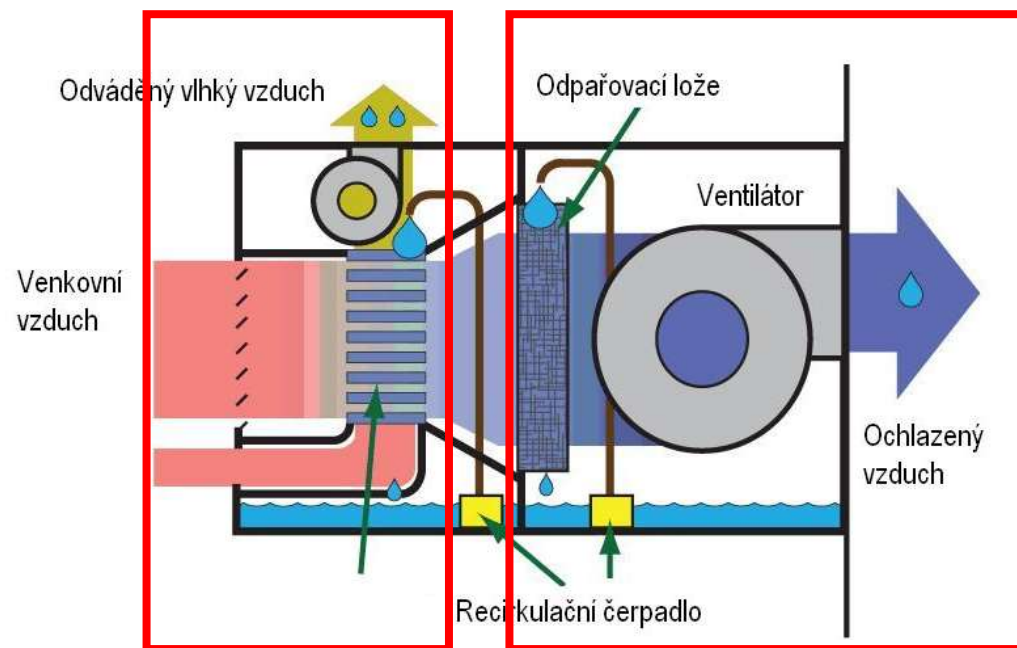
- vázání tepla chlazeného vzduchu do odpařené vody (vodní páry)
- **vliv vlhkosti** vzduchu, čím nižší, tím větší chladicí účinek
- **přímé** – adiabatické ochlazování vzduchu přiváděného do prostoru nevhodné pro oblasti s vlhkým klimatem, ČR: adiabatické chlazení nedokáže zajistit komfort, vyšší vlhkost – menší komfort
- **nepřímé** – přes teplosměnnou plochu – sprchované výměníky
 - chlazený vzduch – vlhkost přiváděného vzduchu se nezvyšuje
 - výroba chladicí vody – vysokoteplotní chladicí soustavy (sálavé)

Adiabatické chlazení

přímé



nepřímé + přímé

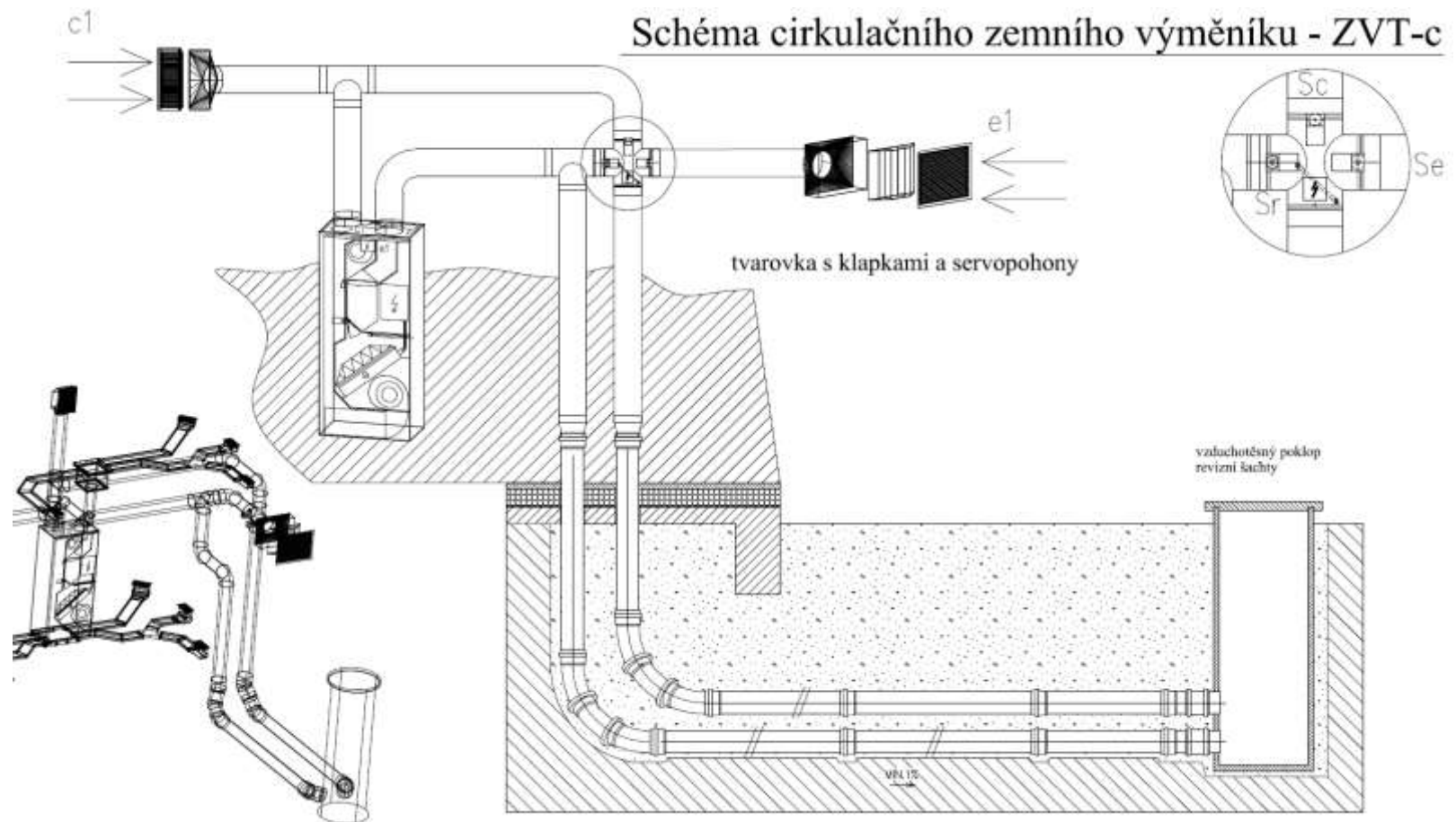


Zemský polomasiv

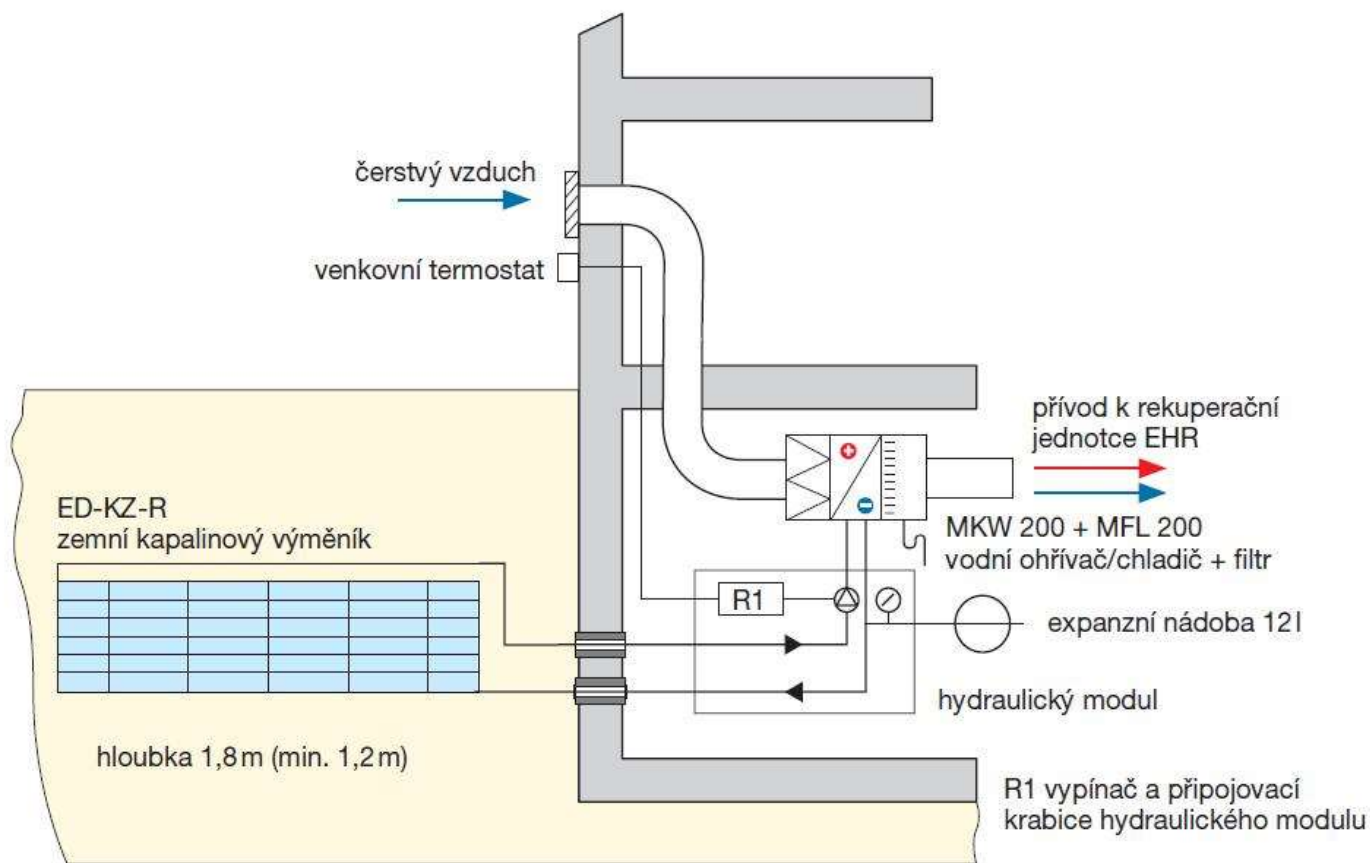
- **zemní výměníky**, spodní voda
- vzduchové – ochlazený vzduch pro větrání
- kapalinové – chlazená voda, kombinace s TČ (vychlazený výměník)
- trvalý výkon výměníků:
 - vzduch 5 až 15 W/m
 - kapalina 2 až 5 W/m
- tepelná vodivost, průměr potrubí, rozteč potrubí, délka, ...



Vzduchové výměníky



Kapalinové výměníky



Radiační chlazení

- využívání noční jasné oblohy s teplotou o > 10 K nižší než okolí
- nezasklené kolektory cíleně ztrácející teplo sáláním vůči obloze
- konvektivní zisky při vyšších nočních teplotách vzduchu
- **40 až 50 W/m²** plochy kolektoru

- nezasklené kolektory
- nezasklené hybridní FVT kolektory:
 - přes den výroba el. energie + nízkopotenciálního tepla
 - v noci produkce chladu (léto)

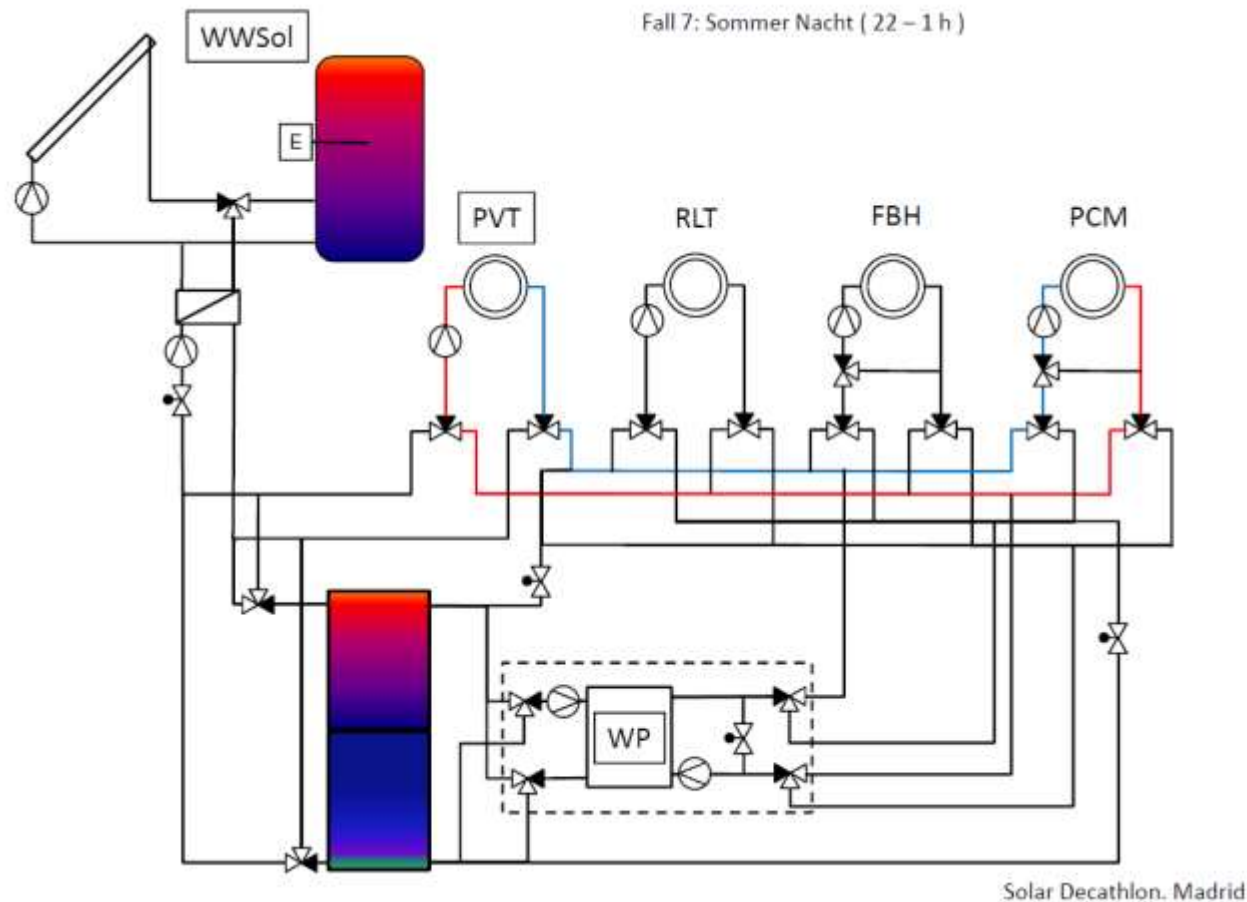
Radiační chlazení s FVT v Solar Decathlon 2010

Stuttgart University of Applied Sciences

3. místo SolarDecathlon Europe 2010



Radiační chlazení s FVT v Solar Decathlon



Děkuji za pozornost

