Sborník přednášek k 1. části kurzu

Solární tepelné soustavy

5. – 6. 11. 2009

Centrum technologických informací
a vzdělávání – CTIV
Fakulta strojní ČVUT v Praze
Technická 4
166 07 Praha 6

Publikace byla zpracována za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2009 – část A – Program EFEKT

Program 1. části kurzu - Solární tepelné soustavy

Centrum technologických informací a vzdělávání – CTIV
Fakulta strojní ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6

5.11.2009 Čtvrtek Základy, principy, sluneční energie

Čas	Přednášející	Téma	Délka
9:00-10:00	Zicha	Slunce, původ sluneční energie, šíření ve vesmíru	60 min
10:00-10:30	Šourek	Dostupnost sluneční energie na území ČR, geometrie, terminologie, zdroje klimatických dat, geometrie slunečního záření, výpočet dopadající energie, měření slunečního záření	30 min
10:30-10:45		Přestávka	15 min
10:45-12:00	Matuška	Solární kolektory, typy (kapalinové, vzduchové, koncentrační), účinnost, selektivita, zkoušení kolektorů	75 min
12:00-12:45		Oběd	45 min
12:45-13:45	Matuška	Zásobníky tepla, typy (citelné, změna skupenství), stratifikace, vliv konstrukce na ztráty, zkoušení zásobníků	60 min
13:45-14:00		Přestávka	15 min
14:00-15:00	Šourek	Solární soustavy, typy, hydraulická zapojení, obecně	60 min
15:00-16:30	Šourek, Matuška	Exkurze SOLAB - Solární laboratoř Ústavu techniky prostředí - omezený počet (střecha)	90 min

6.11.2009 Pátek Navrhování a bilancování solárních soustav

Čas	Přednášející	Téma	Délka
9:00-10:30	Matuška	Obecný postup návrhu plochy solárních kolektorů, základní parametry solární soustavy (měrné zisky, solární pokrytí) a jejich vzájemná souvislost, bilancování potřeby tepla (příprava teplé vody, vytápění, ohřev bazénové vody), návrh plochy kolektorů v jednotlivých aplikacích	90 min
10:30-10:45		Přestávka	15 min
10:45-12:00	Šourek	Použití pokročilých softwarů pro bilancování a návrh solárních soustav, ukázky (Polysun, T-SOL, TRNSYS)	75 min
12:00-12:45		Oběd	45 min
12:45-14:15	Málek, Voříšek	Ekonomika solární soustavy, výpočet ekonomických parametrů, ekonomická a ekologická úspora, příklad výpočtu ekonomických parametrů, okrajové podmínky výpočtu	90 min
14:15-14:30		Přestávka	15 min
14:30-16:00	Novák	Ceny energií, dotační a systémová podpora v ČR, Zelená úsporám	90 min
16:00-17:00	Kunc	Dotační podpora OPŽP, Státní program, údaje nezbytné pro přihlášku, požadavky, pravidla udělování	60 min

Sluneční energetika
Josef Zicha

1) Čtyři základní interakce ve Vesmíru – silná, slabá, elektromagnetická a gravitační. Porovnání jejich velikostí a význam ve vývoji Vesmíru.

2) Vazebný potenciál jader chemických prvků. Železo – definitivní popel po transmutacích prvků. Jaderná syntéza a štěpení jader možné zdroje energie.

3) „Kaňon“ vazebného potenciálu jader všech prvků. Význam podélného a příčného řezu modelu.

4) Vývoj chemického složení látky ve Vesmíru – postupné obohacování železem.

5) Vývoj chemického složení hvězdy v průběhu jejího života, různé scénáře závěrečných fází aktivity hvězdy.

6) Životní pouť našeho Slunce.

7) Slunce v současnosti.

8) HR diagram - jednoznačný úspěch astrofyzikálního a jaderného výzkumu.

9) Jak jsou hvězdy veliké ?

10) Planckův zákon – fundamentální význam pro studium fyziky hvězd.

11) Radiální rychlost, její měření a význam pro průkaz materiálové jednoty pozorovatelného Vesmíru.

VZNIK A PŮVOD SLUNEČNÍ ENERGIE

-

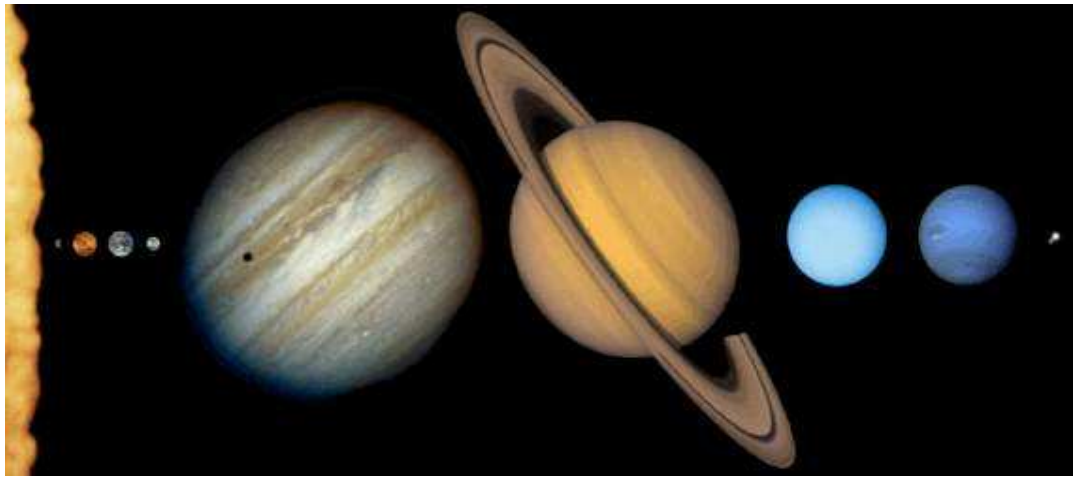
SLUNEČNÍ ENERGIE V ČR

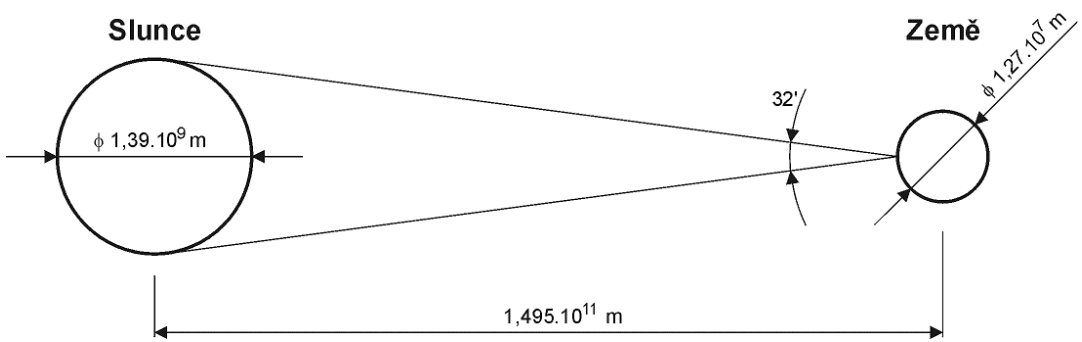
Bořivoj Šourek

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze

Původ sluneční energie, její šíření prostorem a dopad na Zemi





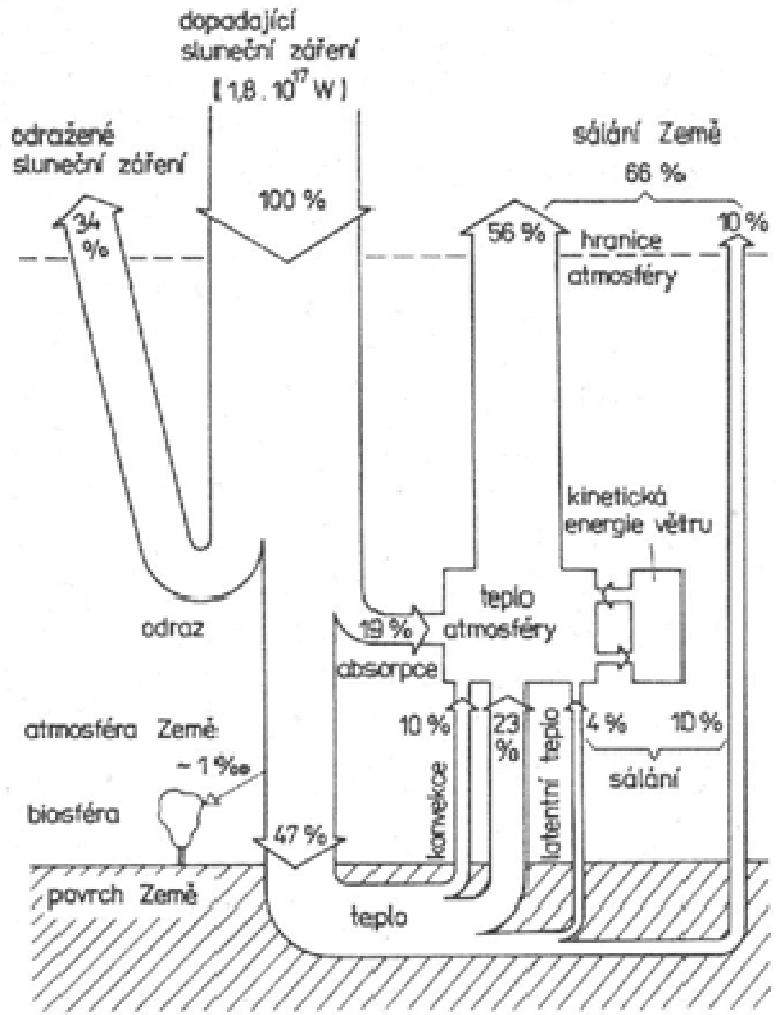
Jaderná syntéza 564.10^9 kg/s H_2 na 560.10^9 kg/s He při teplotách $8\text{-}40.10^6$ K a tlacích 2.10^{10} MPa

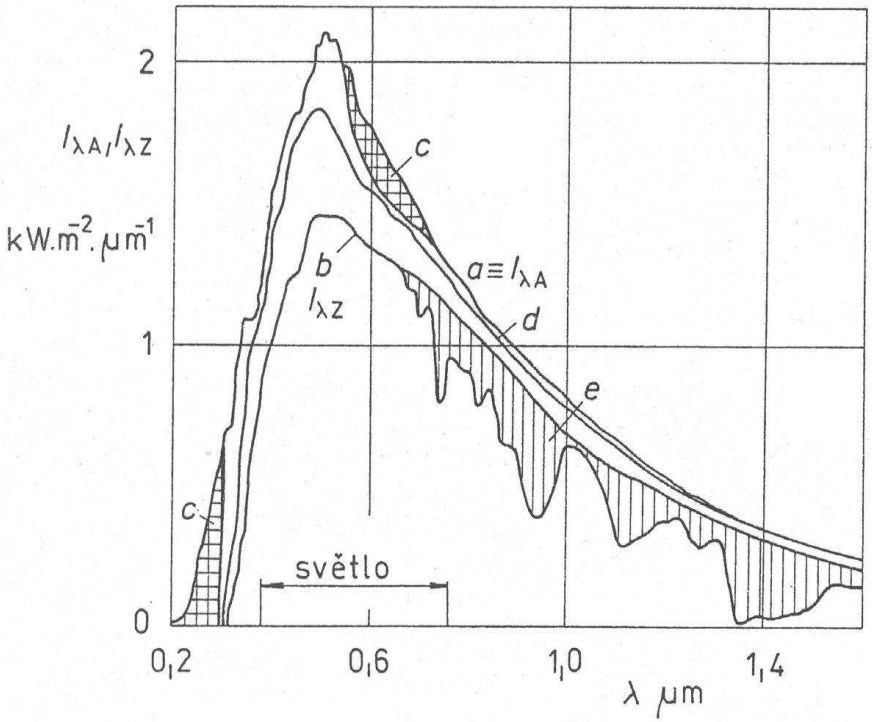
$$E = m.c^2$$

Celkový tok vyzařované energie je $3{,}85 \times 10^{26}$ W

Na Zemi dopadne asi $1{,}74 \times 10^{17}$ kW - dvě miliardtiny

Energetická bilance dopadlé energie



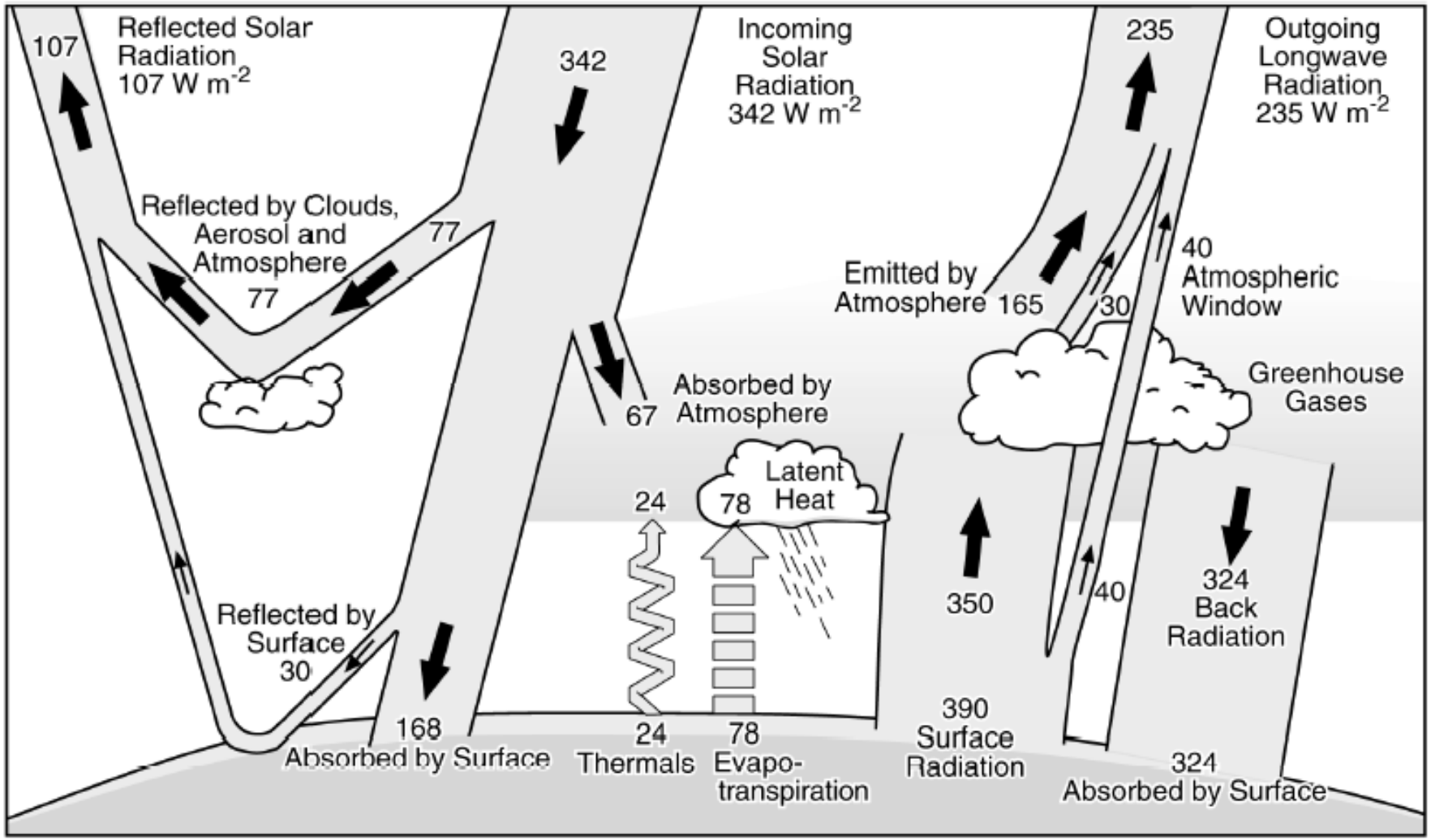


Standardní spektrální křivka vyzařování při střední vzdálenosti Slunce - Země (podle WRC)

a) spektrum na vstupu do atmosféry
b) spektrum na povrchu Země
c) absorpce v ozonu
d) vliv rozptylu na molekulách vzduchu
e) absorpce par vody

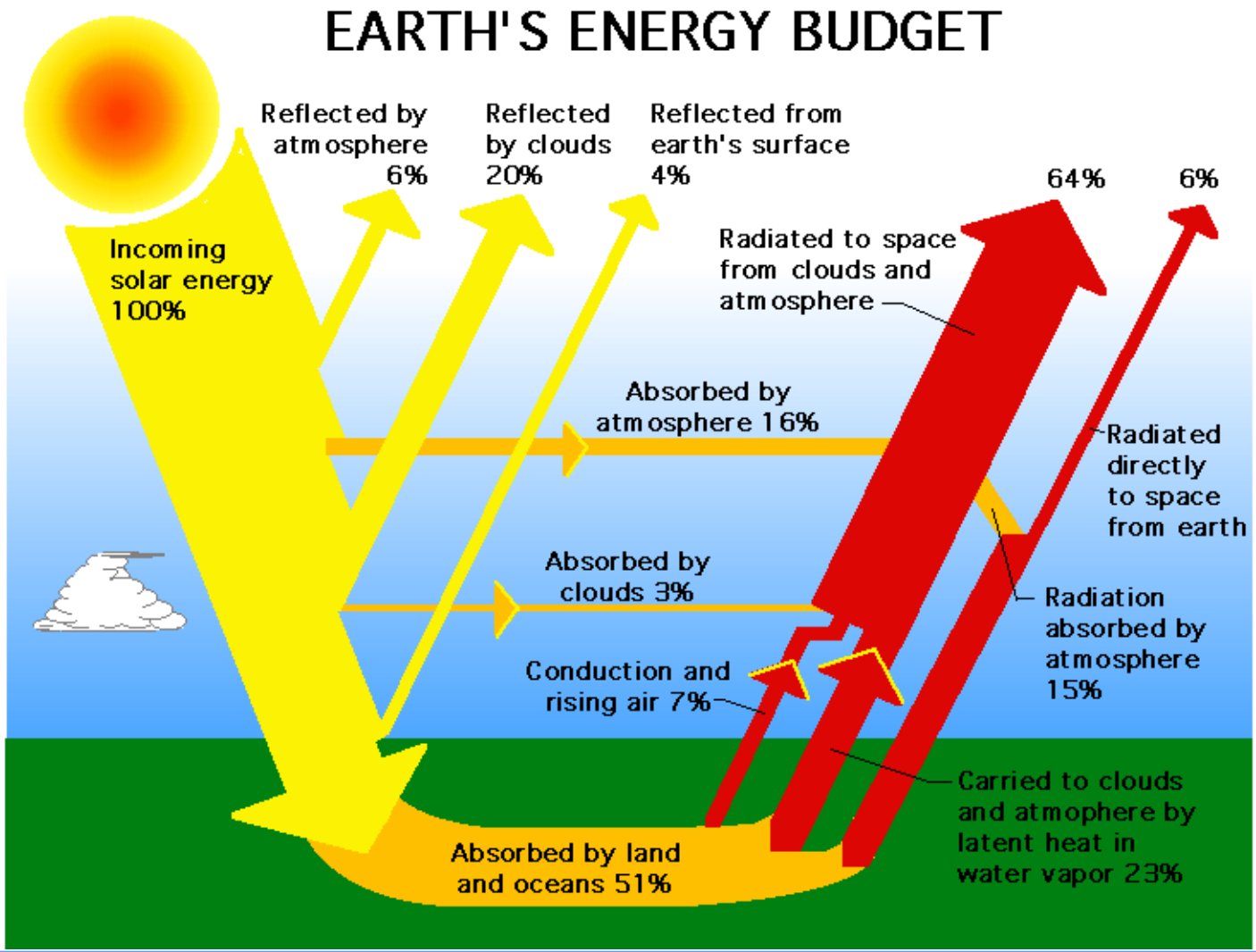
99% v rozsahu 0,3 μm až 3 μm

Energetická bilance dopadlé energie



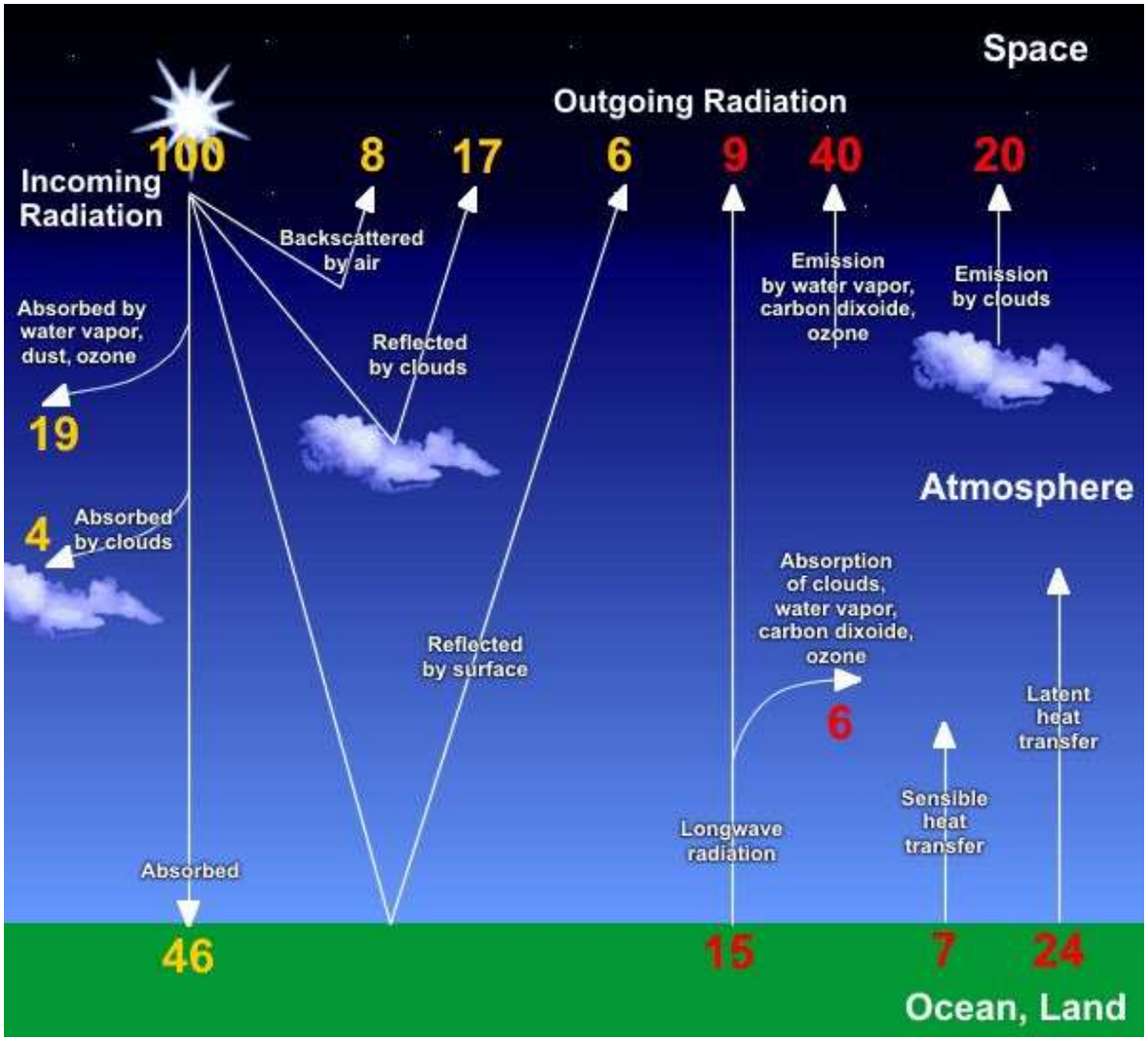
Kiehl and Trenberth, 1997

Energetická bilance dopadlé energie



solcomhouse

Energetická bilance dopadlé energie



NOAA, National Weather Service

Základní pojmy
ČSN EN ISO 9488

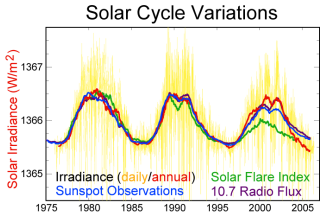
hemisférické sluneční záření: sluneční záření na rovinný povrch, přijímané v prostorovém úhlu 2π sr ze shora přilehlého poloprostoru

globální sluneční záření: hemisférické sluneční záření přijímané vodorovnou plochou

ozáření G: hustota zářivé energie dopadající na povrch, t.j. podíl zářivého toku dopadajícího na určitý povrch a velikosti tohoto povrchu ($W.m^{-2}$)

dávka ozáření H: zářivá energie dopadající na jednotku plochy za určitou dobu, která se zjistí integrací ozáření v určitém časovém intervalu, často za hodinu nebo den ($MJ.m^{-2}$)

Základní pojmy ČSN EN ISO 9488



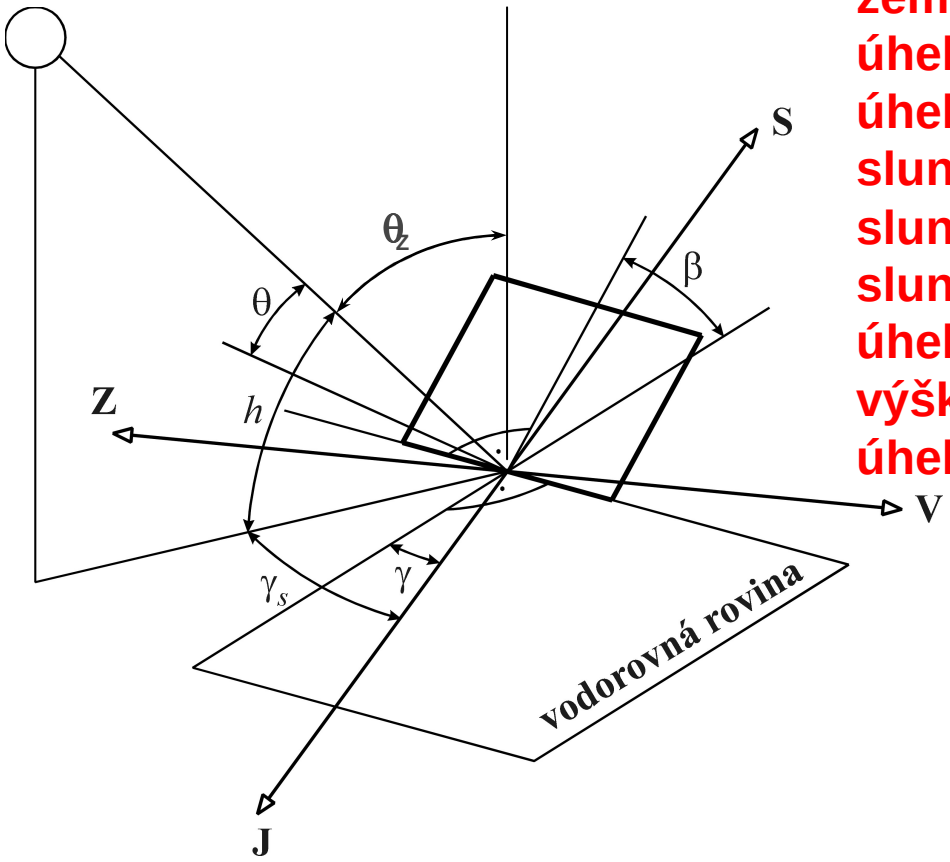
solární konstanta I_0 je energie od Slunce, za jednotku času, dopadající na jednotku plochy kolmou ke směru šíření záření, při průměrné vzdálenosti Slunce od Země, mimo zemskou atmosféru - I_0 = 1367 W/m^{2*}

přímé sluneční ozáření G_b – tok slunečního záření dopadající na plochu bez jakéhokoliv rozptylu v atmosféře

difúzní sluneční ozáření G_d – tok slunečního záření dopadající na plochu po změně směru záření vlivem rozptylu v atmosféře

* WMO, Commission for Instruments and Methods of Observation, 8th session, Mexico City, 1981

Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet



zeměpisná šířka ϕ
úhel sklonu β
úhel orientace plochy γ (azimut plochy)
sluneční časový úhel ω
sluneční deklinace δ
sluneční azimut γ_s
úhel slunečního zenitu θ_Z
výška slunce nad obzorem h
úhel dopadu θ

$$\sin h = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega$$

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta}{\cos h}\sin\omega$$

$$\cos\theta = \sin h \cos\beta + \cos h \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma) = \cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma)$$

Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet

Veličiny definující rovinu

zeměpisná šířka ϕ - úhlové umístění severně (+) nebo jižně (-) od rovníku; $-90° \leq \phi \leq 90°$,

úhel sklonu β - úhel mezi vodorovnou rovinou a rovinou sledovaného povrchu; $-180° \leq \beta \leq 90°$, ($\beta > 90°$ znamená že sledovaný povrch směřuje dolů;

úhel orientace plochy γ(azimut plochy) - úhlová odchylka průmětu normály plochy do horizontální roviny od lokálního poledníku, přičemž 0° odpovídá orientaci na jih, (-) východ, (+) západ; $-180° \leq \gamma \leq 180°$.

Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet

sluneční deklinace δ: úhel, který svírá spojnice středů Země a Slunce s rovinou zemského rovníku (odchylka od rovníku na sever se značí znaménkem +)

$$\delta = 23{,}45° \sin(0{,}98° D + 29{,}7° M - 109°)$$

kde *D* je pořadí dne v měsíci,

M pořadí měsíce v roce

$$\delta = 23{,}45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right)$$

kde *n* je pořadí dne v roce

Měsíc	*n* pro *i*-tý den v roce	pro průměrný den		
		den v měsíci	deklinace podle 1)	deklinace podle 2)
leden	*i*	17	-20.8	-20.9
únor	31+ *i*	16	-13.1	-12.9
březen	59 + *i*	16	-1.7	-2.4
duben	90 + *i*	15	9.7	9.4
květen	120 + *i*	15	19.0	18.8
červen	151 + *i*	11	23.1	23.0
červenec	181 + *i*	17	21.2	21.1
srpen	212 + *i*	16	13.7	13.4
září	243 + *i*	15	2.9	2.2
říjen	273 + *i*	15	-9.0	-9.6
listopad	304 + *i*	14	-18.3	-18.9
prosinec	334 + *i*	10	-22.9	-23.0

Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet

sluneční časový úhel ω (azimut Slunce) - úhel mezi průmětem spojnice pozorovatele a Slunce v určitém čase na rovinu proloženou zemským rovníkem a mezi průmětem této spojnice při slunečním poledni. Sluneční časový úhel se mění přibližně o 360° za 24 hodin (přibližně 15° za hodinu). Tento úhel je záporný dopoledne a kladný odpoledne, t.j. (ve stupních) $\omega \approx 15\,(Hr - 12)$, kde Hr je sluneční čas v hodinách;

úhel slunečního zenitu θ_Z - úhel sevřený spojnicí pozorovatele a Slunce a svislicí nad pozorovatelem (také úhel dopadu přímého slunečního záření na vodorovnou plochu);

výška slunce nad obzorem h - doplňkový úhel slunečního zenitu $h = 90° - \theta_Z$

$$\sin h = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega$$

Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet

sluneční azimut γ_s - úhel, který svírá svislý průmět spojnice místa pozorovatele a momentální polohy Slunce do vodorovné roviny v místě pozorovatele s přímkou směřující od místa pozorovatele k jihu (na severní polokouli) nebo k severu (na jižní polokouli).

- Úhel se měří ve smyslu chodu hodinových ručiček na severní polokouli a proti smyslu na jižní polokouli.

- Sluneční azimut je negativní dopoledne (Slunce je na východ od jihu), 0° nebo 180° v poledne (záleží na poměrné hodnotě sluneční deklinace a na místní zeměpisné šířce) a kladný je odpoledne (západní polohy Slunce) na celé zeměkouli.

- Odlišuje se od zeměpisného azimutu, který se měří od severu ve směru hodinových ručiček na celé zeměkouli.

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta}{\cos h}\sin\omega$$

Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet

úhel dopadu θ: (jen pro přímé sluneční záření) úhel mezi spojnicí středu Slunce a ozářené plochy a vnější kolmicí vztyčenou nad ozářenou plochou

$$\cos\theta = \sin h \cdot \cos\beta + \cos h \cdot \sin\beta \cos\left(\gamma_s - \gamma\right)$$

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta \cos\left(\gamma_s - \gamma\right)$$

Výpočet dopadajícího záření

Na rovinu kolmou ke směru záření

$$G_{bn} = I_0 \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right)$$

kde I_0 je sluneční konstanta
Z součinitel znečištění atmosféry
ε součinitel závislý na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa (Cihelka 1994)

Měsíc	Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší			
	horské oblasti	venkov	města	průmyslové oblasti
I.	1,5	2,1	3,1	4,1
II.	1,6	2,2	3,2	4,3
III.	1,8	2,5	3,5	4,7
IV.	1,9	2,9	4,0	5,3
V.	2,0	3,2	4,2	5,5
VI.	2,3	3,4	4,3	5,7
VII.	2,3	3,5	4,4	5,8
VIII.	2,3	3,3	4,3	5,7
IX.	2,1	2,9	4,0	5,3
X.	1,8	2,6	3,6	4,9
XI.	1,6	2,3	3,3	4,5
XII.	1,5	2,2	3,1	4,2
roční průměr	1,9	2,8	3,8	5,0

Na obecně danou rovinu - přímá

$$G_{bT} = G_{bn} \cos\theta$$

Na obecně danou rovinu difúzní

$$G_{dT} = 0,5(1+\cos\beta)G_d + 0,5r(1-\cos\beta)(G_b + G_d)$$

Tabelární výsledky výpočtů

Tab. 2.3. Výška slunce nad obzorem h (v obloukových stupních) pro místa na 50° severní šířky

Měsíc	Výška slunce nad obzorem h v denní době (hodině) τ							
	12	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
XII.	16,55	15,35	11,88	6,43				
XI. a I.	20,00	18,75	15,20	9,50				
X. a II.	28,50	27,12	23,13	17,02	9,33			
IX. a III.	40,00	38,33	33,86	27,03	18,75	9,58		
VIII. a IV.	51,50	49,57	44,27	36,73	27,88	18,40	8,78	
VII. a V.	60,00	57,72	51,72	43,57	34,62	24,73	15,18	6,07
VI.	63,55	60,97	54,52	46,20	36,85	27,23	17,75	8,75

Tab. 2.4. Azimut slunce a (v obloukových stupních), měřený od směru jih (J) ve smyslu otáčení hodinových ručiček jako kladná hodnota (+) a ve smyslu proti otáčení hodinových ručiček jako záporná hodnota (−)

Měsíc	Azimut slunce a v denní době (hodině) τ						
	5	6	7	8	9	10	11
XII.					−40,77	−27,95	−14,25
XI. a I.					−42,35	−29,13	−14,88
X. a II.				−59,32	−46,43	−32,20	−16,55
IX. a III.			−78,40	−66,17	−52,55	−37,00	−19,28
VIII. a IV.		−97,43	−86,00	−73,77	−59,83	−43,17	−23,02
VII. a V.	−114,10	−103,17	−92,67	−81,43	−66,50	−49,10	−27,08
VI.	−116,28	−105,57	−94,70	−83,17	−69,60	−52,20	−29,30

Měsíc	Azimut slunce a v denní době (hodině) τ							
	12	13	14	15	16	17	18	19
XII.	0,00	14,25	27,95	40,77				
XI. a I.	0,00	14,88	29,13	42,35				
X. a II.	0,00	16,55	32,20	46,43	59,32			
IX. a III.	0,00	19,28	37,00	52,55	66,17	78,40		
VIII. a IV.	0,00	23,02	43,17	59,83	73,77	86,00	97,43	
VII. a V.	0,00	27,08	49,10	66,50	81,43	92,67	103,17	114,10
VI.	0,00	29,30	52,20	69,60	83,17	94,70	105,57	116,28

26

Tab. 2.9. Teoreticky možná energie dopadající za den $Q_{S\,den\,teor}$ (kW.h.m^{-2}) na různě skloněné plochy; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$

Úhel sklonu osluněné plochy α	Teoreticky možná energie dopadající za den na plochu v jednotlivých měsících $Q_{S\,den\,teor}$ (kW.h.m^{-2})						
	XII.	I. XI.	II. X.	III. IX.	IV. VIII.	V. VII.	VI.
Azimutový úhel osluněné plochy $a_s = \pm 0°$ (orientace na jih)							
0°	1,09	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16
15°	1,78	2,30	3,75	5,82	7,50	9,12	9,76
30°	2,35	2,96	4,48	6,44	7,98	9,56	9,98
45°	2,70	3,40	4,96	6,70	8,06	9,42	9,64
60°	3,00	3,71	5,26	6,54	7,41	8,09	8,48
75°	3,08	3,90	5,32	6,24	6,44	6,44	6,44
90°	3,11	3,96	5,00	5,56	5,19	4,49	4,31
Azimutový úhel osluněné plochy $a_s = \pm 15°$							
15°	1,51	1,99	3,41	5,42	7,35	8,75	9,42
30°	2,08	2,70	4,23	6,12	7,61	8,72	9,29
45°	2,70	3,16	4,79	6,42	7,42	8,22	8,55
60°	3,10	3,49	5,06	6,28	6,98	7,16	7,13
75°	3,15	3,68	4,87	5,96	6,23	5,85	5,61
90°	3,01	3,45	4,45	5,34	4,89	4,32	4,09
Azimutový úhel osluněné plochy $a_s = \pm 30°$							
15°	1,41	2,02	3,39	5,32	7,12	8,76	9,42
30°	1,94	2,58	4,08	5,90	7,55	8,65	9,28
45°	2,44	2,90	4,51	6,20	7,33	8,08	8,55
60°	2,63	3,04	4,70	6,10	6,99	7,38	7,52
75°	2,72	3,07	4,53	5,53	6,17	6,15	6,04
90°	2,61	2,98	4,45	4,79	4,90	4,55	4,42
Azimutový úhel osluněné plochy $a_s = \pm 45°$							
15°	1,36	1,69	3,30	5,38	7,26	8,86	9,43
30°	1,85	2,30	3,82	5,67	7,32	8,50	8,93
45°	2,08	2,52	4,15	5,69	7,10	8,08	8,20
60°	2,29	2,59	4,14	5,52	6,58	7,35	7,21
75°	2,35	2,64	3,98	5,22	6,03	6,34	6,15
90°	2,19	2,54	3,57	4,80	4,97	4,95	4,90

34

Tab. 2.10. Energie difúzního záření dopadající za den $Q_{D\,den}$ (kW.h.m^{-2}) na různě skloněné plochy v jednotlivých měsících; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$

Úhel sklonu osluněné plochy α	Energie difúzního záření $Q_{D\,den}$ (kW.h.m^{-2}) v jednotlivých měsících						
	XII.	I. XI.	II. X.	III. IX.	IV. VIII.	V. VII.	VI.
0°	0,42	0,51	0,72	0,98	1,19	1,35	1,39
15°	0,42	0,51	0,72	0,98	1,19	1,36	1,40
30°	0,41	0,50	0,71	0,98	1,20	1,37	1,41
45°	0,40	0,48	0,69	0,97	1,22	1,40	1,45
60°	0,38	0,46	0,68	0,97	1,24	1,43	1,51
75°	0,35	0,43	0,66	0,97	1,26	1,47	1,56
90°	0,33	0,41	0,64	0,96	1,29	1,52	1,62

Tab. 2.12. Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau} = \tau_{skut}/\tau_{teor}$ pro některá místa v ČR a SR

Měsíc	Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau} = \tau_{skut}/\tau_{teor}$ [1])							
	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno	Bratislava	Košice	Sněžka (1 602 m)	Lomnický štít (2 632 m)
I.	0,21	0,18	0,18	0,18	0,25	0,26	0,33	0,48
II.	0,32	0,29	0,27	0,31	0,35	0,31	0,33	0,47
III.	0,42	0,37	0,40	0,38	0,46	0,42	0,37	0,50
IV.	0,45	0,39	0,44	0,39	0,50	0,46	0,33	0,42
V.	0,51	0,43	0,50	0,48	0,56	0,53	0,40	0,36
VI.	0,54	0,46	0,51	0,53	0,59	0,54	0,38	0,33
VII.	0,55	0,49	0,52	0,56	0,66	0,58	0,39	0,37
VIII.	0,55	0,51	0,54	0,53	0,66	0,59	0,40	0,43
IX.	0,53	0,48	0,52	0,50	0,63	0,57	0,40	0,52
X.	0,37	0,34	0,37	0,37	0,47	0,47	0,30	0,60
XI.	0,21	0,22	0,19	0,23	0,25	0,27	0,31	0,46
XII.	0,14	0,15	0,17	0,12	0,20	0,23	0,28	0,48

[1]) Vztaženo k teoretické době τ_{teor} platné pro 50° severní šířky (viz tab. 2.8).

Tabelární výsledky výpočtů

Příloha 2 - Teoreticky možná dávka ozáření $H_{T,den,teor}$ (kWh.m^{-2}) dopadající za den na jednotku plochy v jednotlivých měsících – pro horské oblasti s měsíčními součiniteli znečištění podle tabulky 2

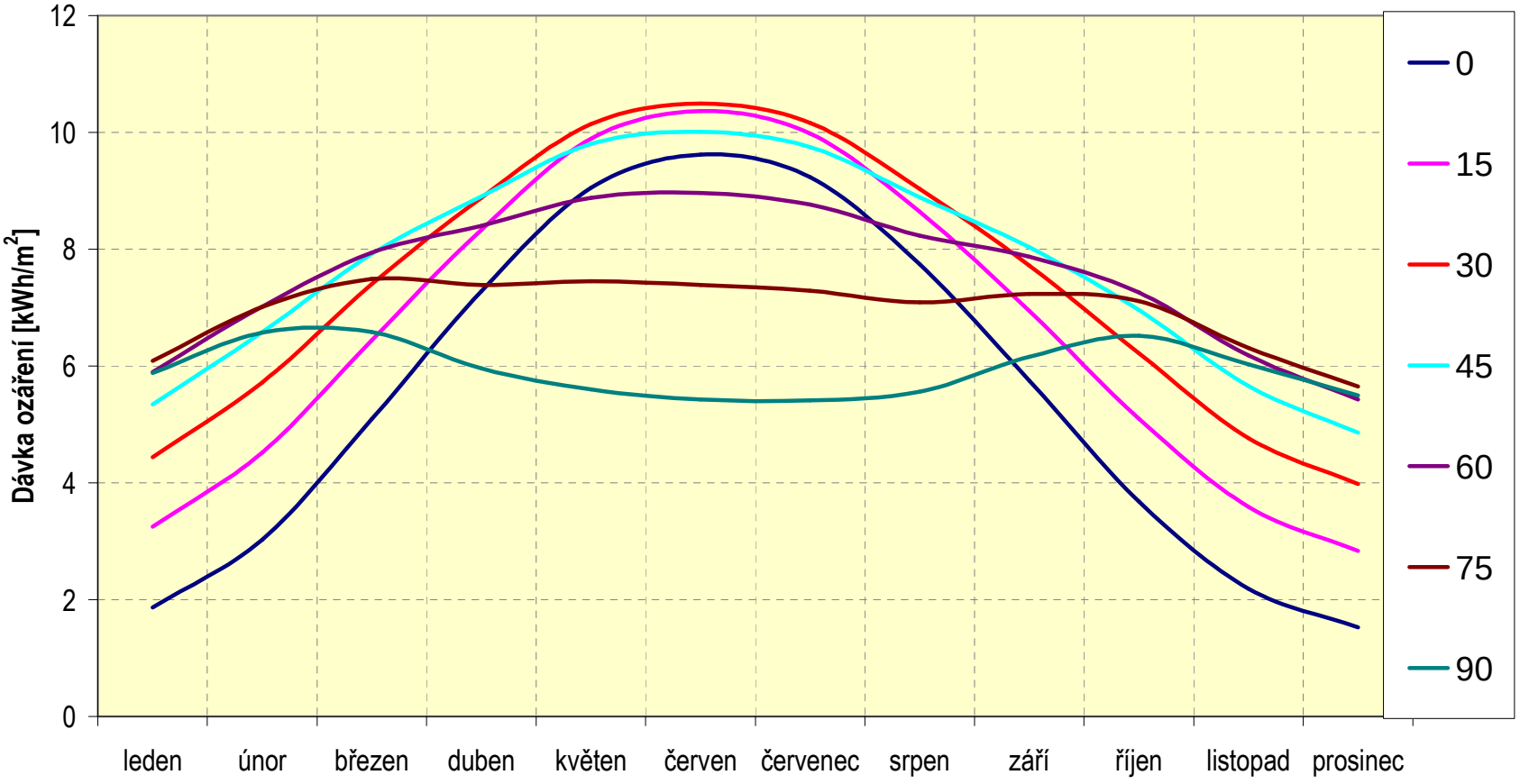
Úhel sklonu osluněné plochy β	Teoreticky možná energie $H_{T,den,teor}$ (kWh.m^{-2}) dopadající za den na jednotku plochy v jednotlivých měsících – pro horské oblasti s měsíčními součiniteli znečištění podle tabulky 2											
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 0°$ (orientace na jih)												
0	1,87	3,03	5,09	7,28	9,05	9,62	9,23	7,74	5,75	3,68	2,19	1,53
15	3,25	4,52	6,44	8,33	9,89	10,36	9,98	8,64	6,94	5,10	3,59	2,84
30	4,44	5,72	7,40	8,88	10,14	10,49	10,16	9,03	7,72	6,22	4,77	3,98
45	5,34	6,58	7,92	8,90	9,80	10,01	9,75	8,89	8,03	6,96	5,66	4,86
60	5,90	7,02	7,94	8,40	8,88	8,96	8,76	8,23	7,87	7,26	6,18	5,43
75	6,09	7,01	7,49	7,39	7,45	7,39	7,29	7,09	7,23	7,11	6,31	5,65
90	5,88	6,57	6,58	5,96	5,60	5,43	5,41	5,56	6,16	6,52	6,03	5,50
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 15°$												
15	1,87	3,03	5,09	7,28	9,05	9,62	9,23	7,74	5,75	3,68	2,19	1,53
30	3,20	4,46	6,39	8,28	9,85	10,32	9,95	8,60	6,89	5,05	3,54	2,80
45	4,34	5,62	7,30	8,80	10,07	10,42	10,09	8,95	7,63	6,12	4,68	3,89
60	5,21	6,43	7,78	8,79	9,69	9,92	9,65	8,78	7,91	6,82	5,52	4,73
75	5,74	6,84	7,77	8,25	8,75	8,84	8,65	8,10	7,71	7,09	6,01	5,27
90	5,90	6,82	7,30	7,24	7,31	7,26	7,16	6,95	7,06	6,92	6,12	5,48
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30°$												
15	1,87	3,03	5,09	7,28	9,05	9,62	9,23	7,74	5,75	3,68	2,19	1,53
30	3,06	4,30	6,24	8,16	9,74	10,22	9,85	8,49	6,76	4,90	3,40	2,66
45	4,06	5,32	7,02	8,56	9,86	10,23	9,90	8,74	7,37	5,83	4,39	3,63
60	4,82	6,00	7,37	8,45	9,39	9,64	9,37	8,48	7,54	6,40	5,12	4,36
75	5,26	6,32	7,28	7,84	8,39	8,50	8,31	7,73	7,26	6,58	5,52	4,82
90	5,37	6,23	6,74	6,77	6,90	6,88	6,77	6,53	6,55	6,35	5,58	4,97
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 45°$												
15	1,87	3,03	5,09	7,28	9,05	9,62	9,23	7,74	5,75	3,68	2,19	1,53
30	2,83	4,06	6,00	7,96	9,57	10,06	9,68	8,31	6,55	4,66	3,16	2,45
45	3,62	4,84	6,56	8,17	9,52	9,92	9,58	8,40	6,95	5,36	3,95	3,21
60	4,19	5,32	6,72	7,90	8,92	9,20	8,93	8,00	6,95	5,74	4,49	3,78
75	4,50	5,48	6,48	7,17	7,80	7,96	7,76	7,13	6,54	5,77	4,75	4,10
90	4,52	5,30	5,86	6,02	6,25	6,28	6,17	5,87	5,75	5,44	4,71	4,17

Příloha 7 - Střední intenzita slunečního záření $G_{T,stř}$ (W.m^{-2}) na různě orientovanou a skloněnou plochu – pro horské oblasti s měsíčními součiniteli znečištění podle tabulky 2

Úhel klonu luněné lochy β	Střední intenzita slunečního záření $G_{T,stř}$ (W.m^{-2}) na různě orientovanou a skloněnou plochu – pro horské oblasti s měsíčními součiniteli znečištění podle tabulky 2											
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 0°$ (orientace na jih)												
0	221	308	433	535	593	599	589	543	462	349	246	193
15	386	460	548	612	648	644	638	606	558	485	404	358
30	527	584	631	653	665	653	649	634	621	592	538	500
45	634	672	675	655	643	623	623	624	647	663	638	611
60	701	717	678	618	582	557	560	578	634	692	697	683
75	723	717	640	545	489	460	466	499	583	679	712	711
90	699	672	562	440	368	338	346	391	498	623	681	693
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 15°$												
15	380	455	544	609	646	642	636	604	554	480	399	352
30	515	574	622	647	660	649	645	629	614	582	527	489
45	618	657	663	647	636	617	617	617	637	649	622	595
60	682	699	664	608	574	550	553	569	622	676	678	664
75	702	697	623	533	480	452	457	489	569	660	691	689
90	676	651	546	428	358	329	337	381	483	604	659	670
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30°$												
15	363	439	531	600	639	636	629	596	543	465	382	335
30	482	543	598	629	646	636	632	614	593	554	495	456
45	572	613	628	621	616	600	599	596	607	609	577	549
60	625	645	621	577	550	529	531	543	585	627	623	607
75	638	637	576	499	453	428	433	459	529	606	629	626
90	610	589	496	392	331	305	312	351	441	547	596	605
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 45°$												
15	336	413	510	585	627	626	619	583	526	442	356	308
30	430	493	558	601	624	617	612	590	559	509	444	404
45	498	543	573	581	585	573	570	562	560	546	506	475
60	534	560	553	528	512	495	496	501	527	549	535	517
75	537	542	500	444	410	391	394	413	464	519	532	525
90	506	490	418	335	286	266	272	302	374	458	495	500

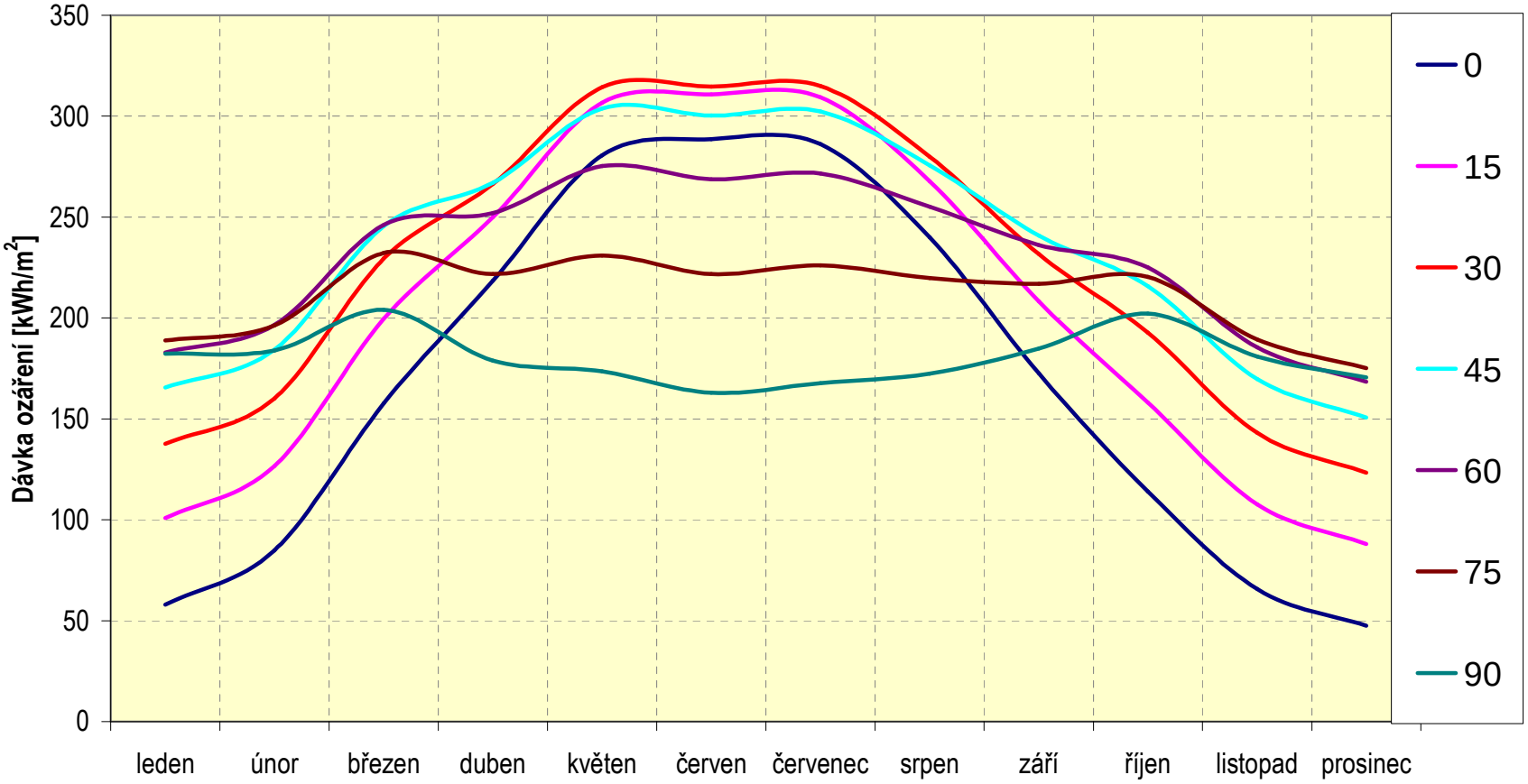
Grafické výsledky výpočtů

Teoreticky možná energie $H_{T,den,teor}$ (kWh.m^{-2}) dopadající za den na jednotku plochy v jednotlivých měsících – pro horské oblasti s měsíčními součiniteli znečištění

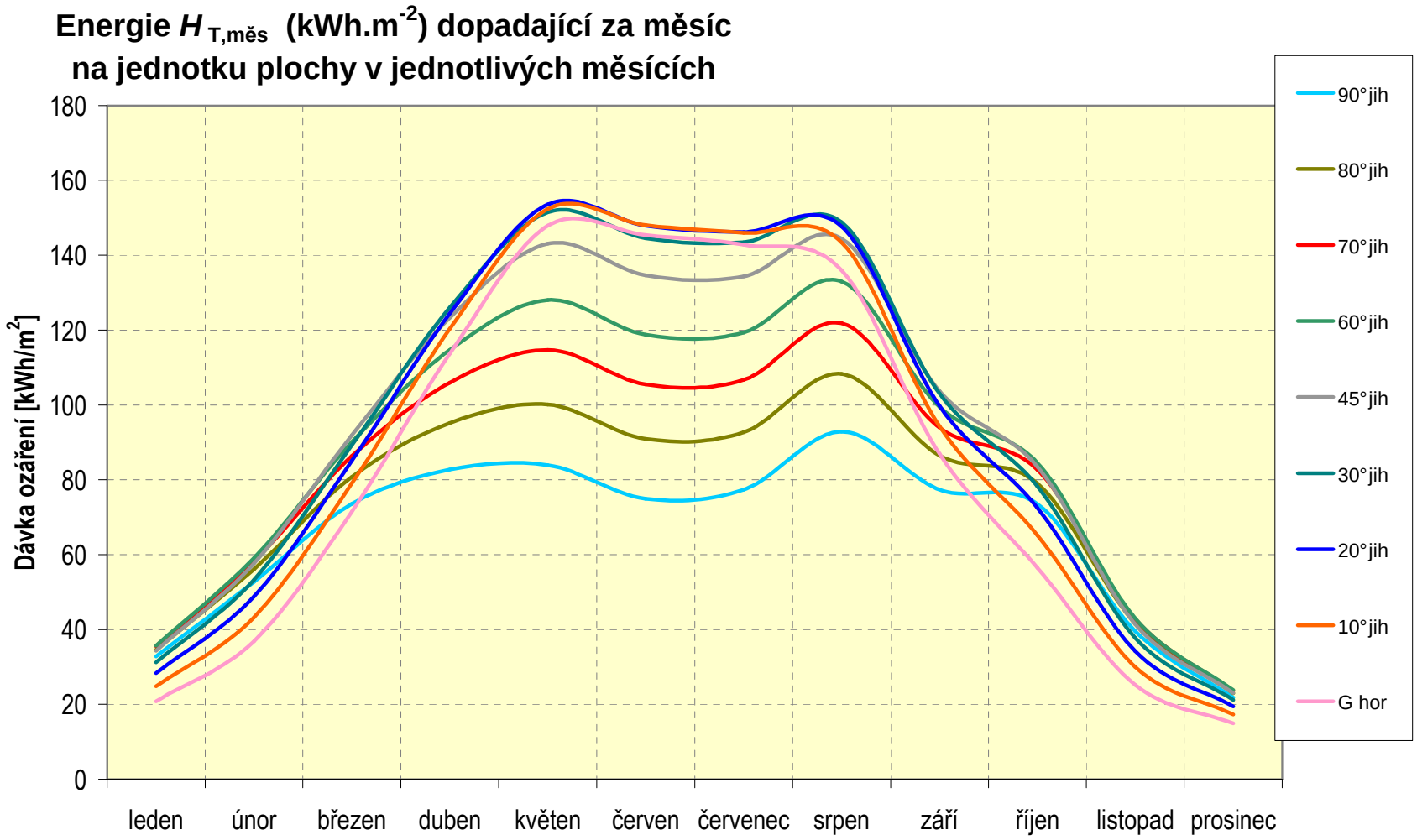


Grafické výsledky výpočtů

Teoreticky možná energie $H_{T,měs,teor}$ (kWh.m^{-2}) dopadající za měsíc na jednotku plochy v jednotlivých měsících – pro horské oblasti s měsíčními součiniteli znečištění



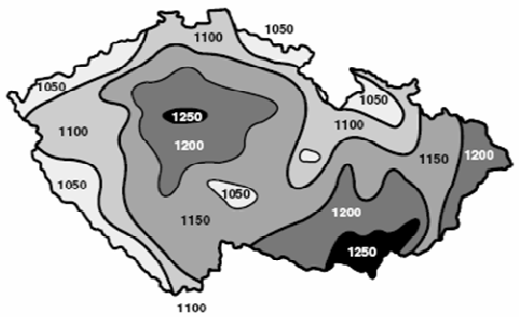
Výsledky z meteorologických dat

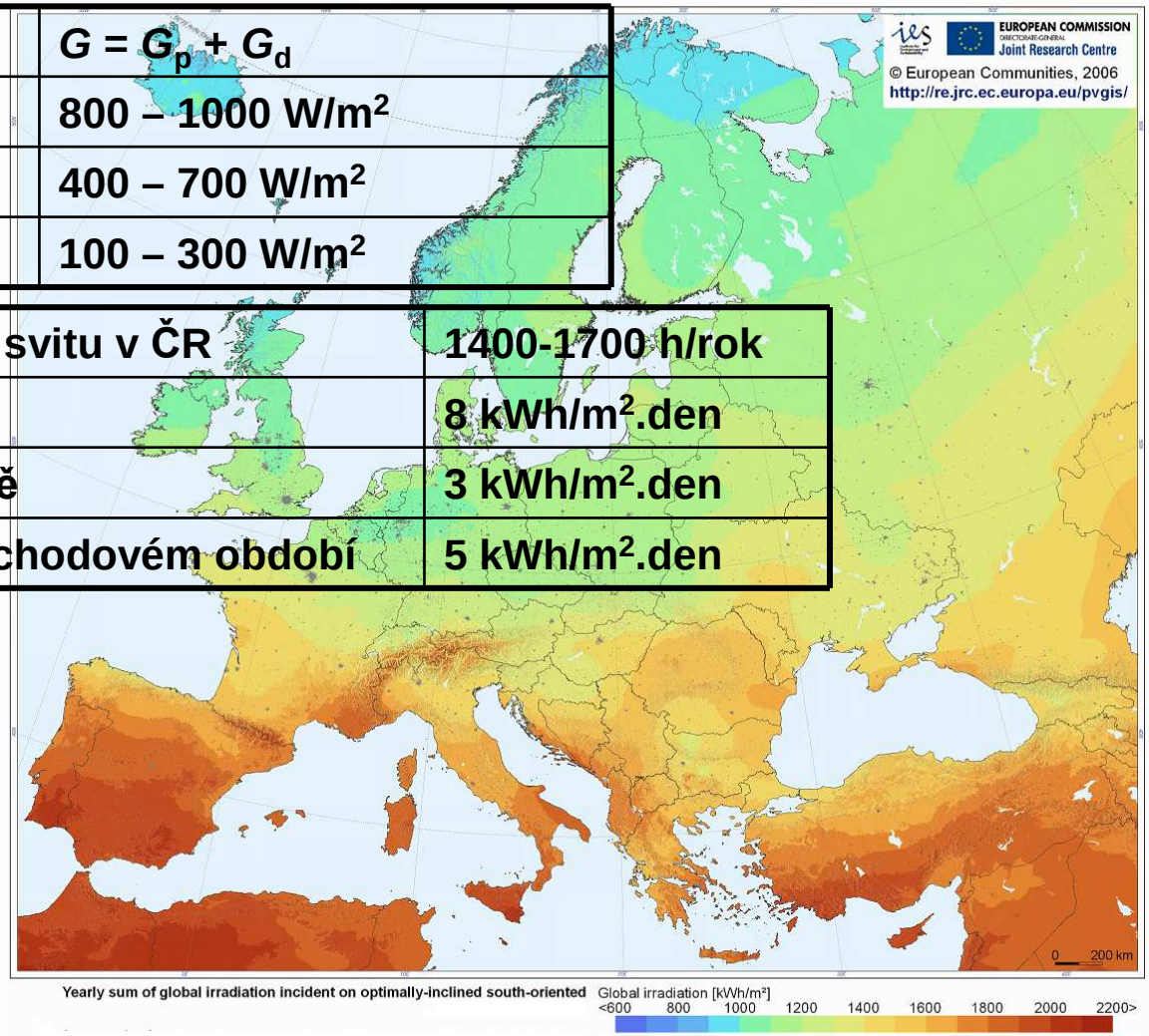


Sluneční ozáření, dávka slunečního záření

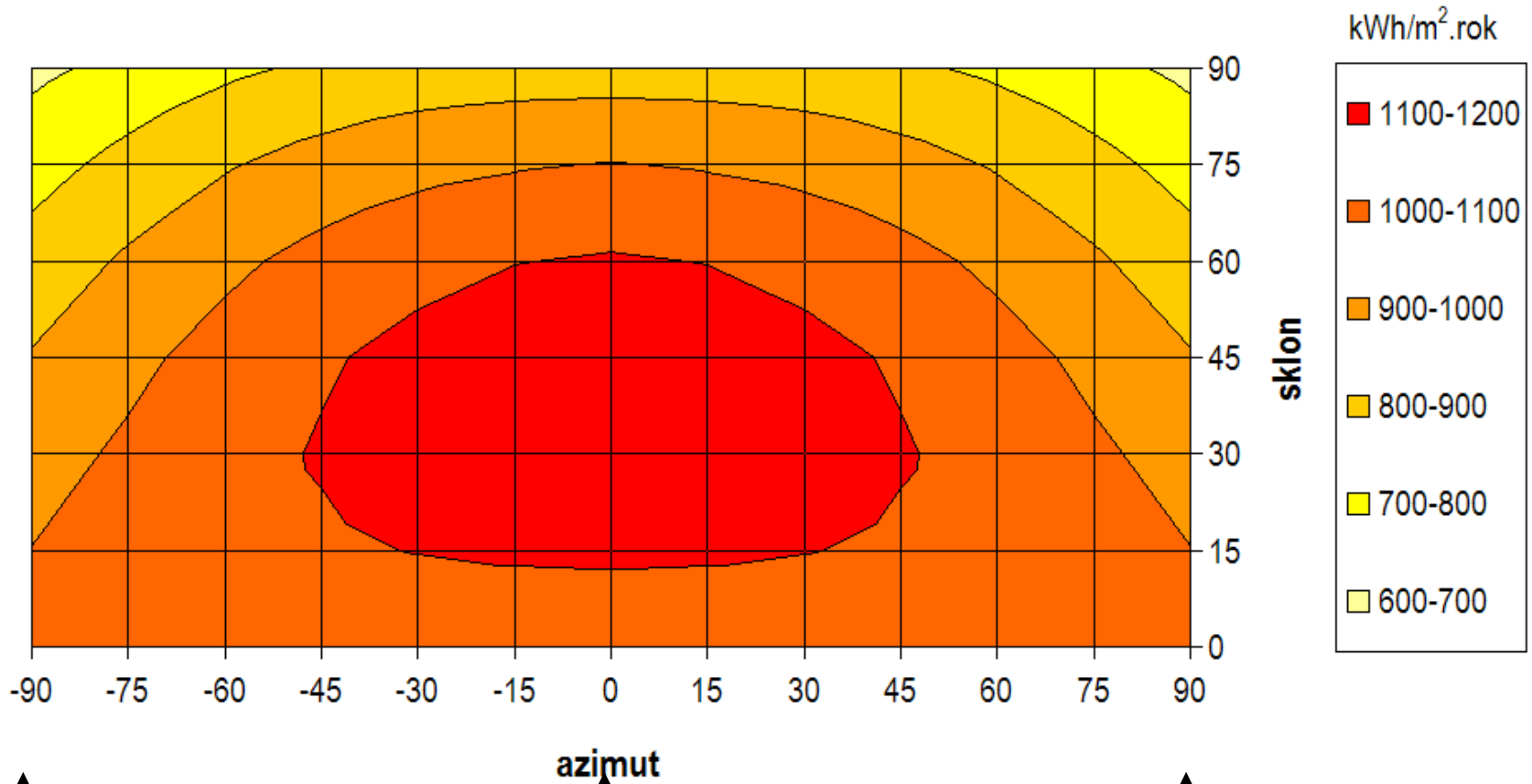
	$G = G_p + G_d$
jasná obloha	800 – 1000 W/m^2
lehce zataženo	400 – 700 W/m^2
silně zataženo	100 – 300 W/m^2

celková doba slunečního svitu v ČR	1400-1700 h/rok
max. dávka ozáření v létě	8 kWh/m^2.den
max. dávka ozáření v zimě	3 kWh/m^2.den
max. dávka ozáření v přechodovém období	5 kWh/m^2.den





Dávka slunečního záření



západ jih východ

Měření slunečního záření

radiometr -zařízení k měření záření. Podle konstrukce přístroje je výstupní údaj buď ozáření (*G*) nebo dávka ozáření (*H*);

pyrradiometr – radiometr k měření celkového záření na rovinný povrch z prostorového úhlu 2π sr;

pyranometr – radiometr konstruovaný pro měření slunečního ozáření přijímací rovinné plochy

solarimetr - zvláštní typ pyranometru založený na termočlánku podle Moll-Gorczyńského

spektrální pyranometr - radiometr k měření slunečního záření pouze v rozsahu vymezených vlnových délek

pyrheliometr - radiometr používaný jako dalekohledový (kolimační) detektor k měření přímého slunečního ozáření při kolmém dopadu

Měření slunečního záření

pyrgeometr - radiometr pro měření dlouhovlnného ozáření rovinné přijímací plochy

heliograf – zařízení zaznamenávající časové intervaly, během nichž je sluneční záření natolik intenzivní, že vytváří zřetelné stíny [WMO H0470]

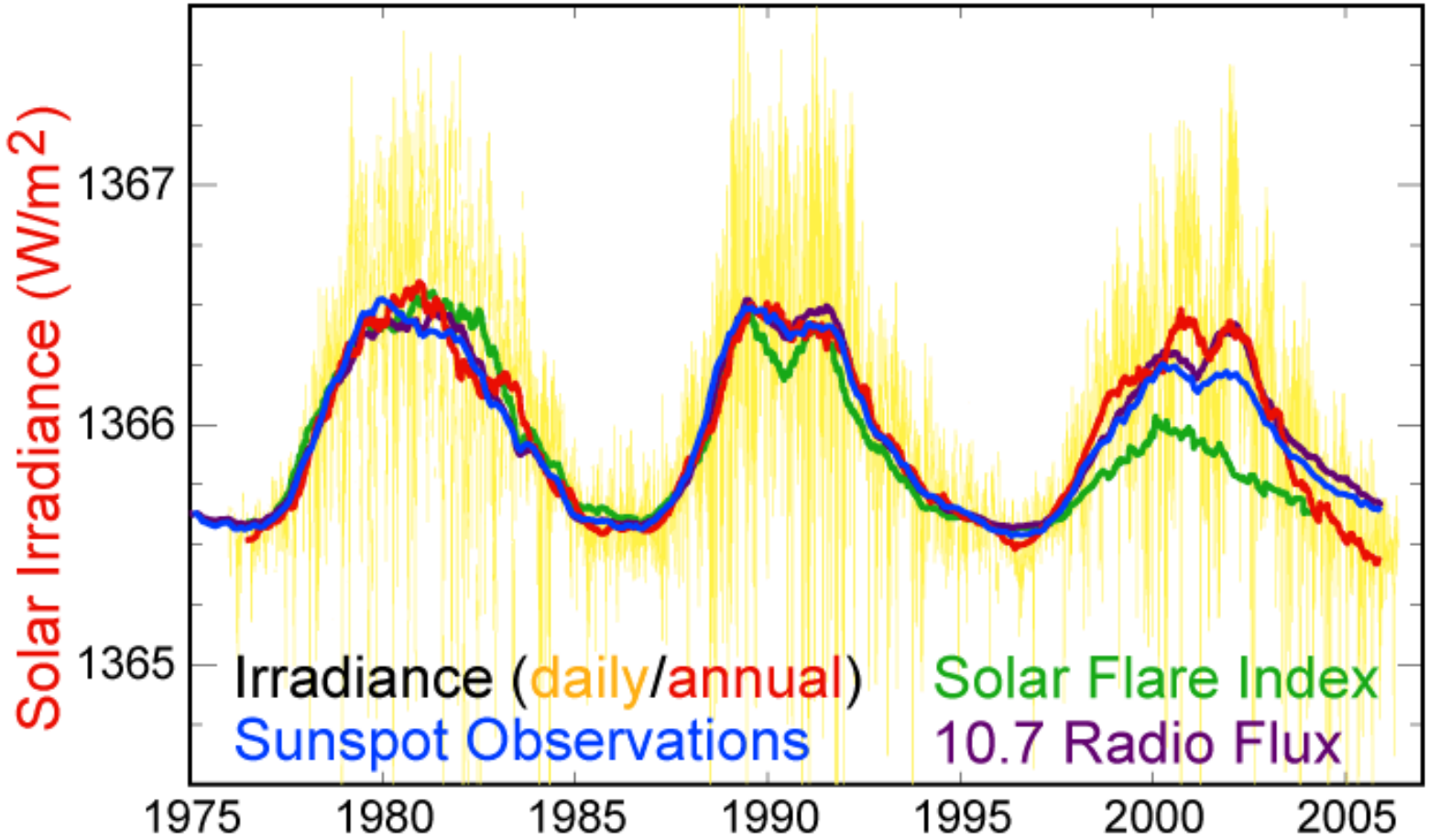
Jako prahová hodnota bylo navrženo přímé ozáření 120 ± 24 (W/m^{-2})

Děkuji za pozornost

a

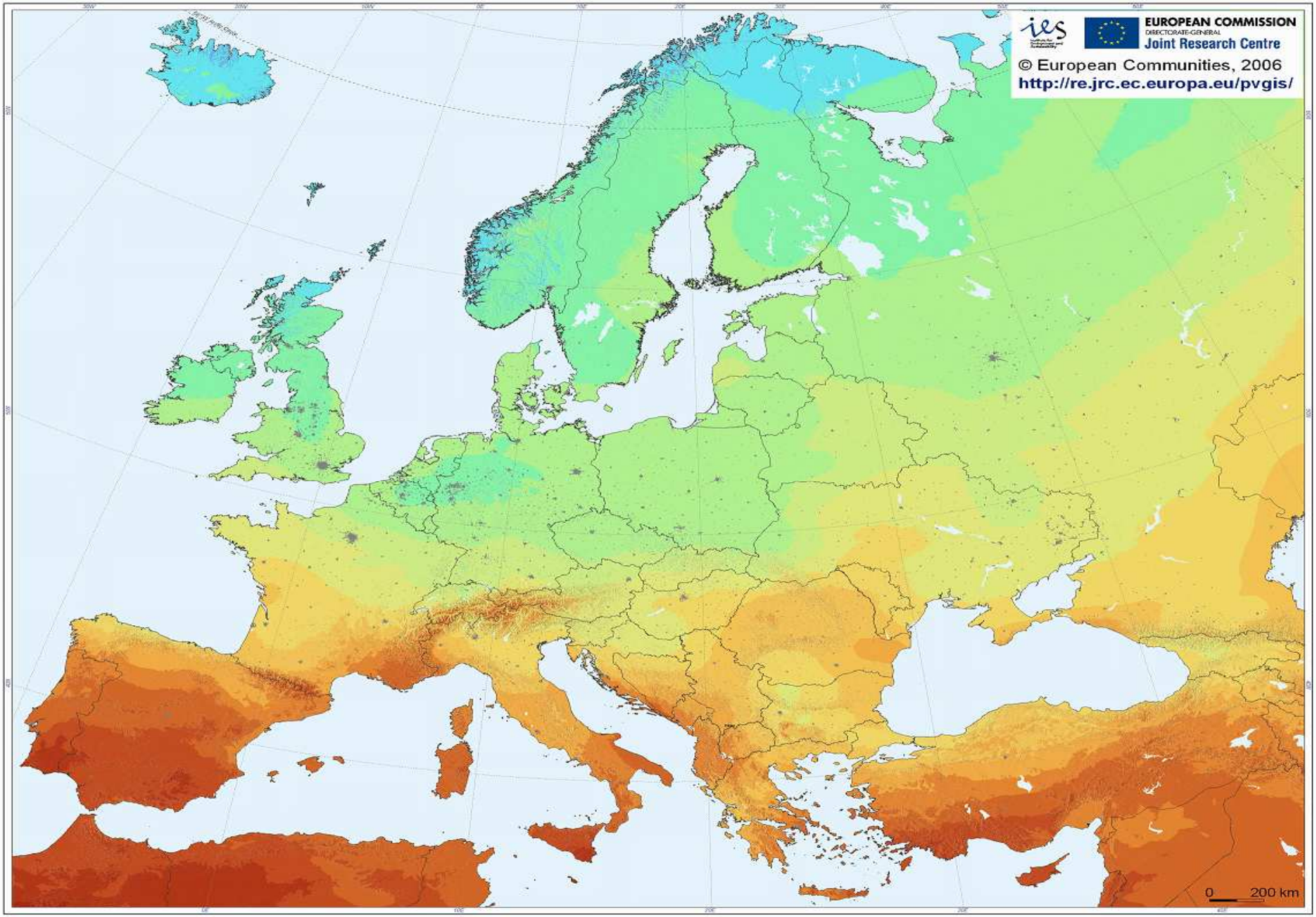
dobrou chuť

Solar Cycle Variations



Součinitel znečištění

Měsíc	Průměrné měsíční hodnoty součinitele *Z* pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší			
	horské oblasti	venkov	města	průmyslové oblasti
I.	1,5	2,1	3,1	4,1
II.	1,6	2,2	3,2	4,3
III.	1,8	2,5	3,5	4,7
IV.	1,9	2,9	4,0	5,3
V.	2,0	3,2	4,2	5,5
VI.	2,3	3,4	4,3	5,7
VII.	2,3	3,5	4,4	5,8
VIII.	2,3	3,3	4,3	5,7
IX.	2,1	2,9	4,0	5,3
X.	1,8	2,6	3,6	4,9
XI.	1,6	2,3	3,3	4,5
XII.	1,5	2,2	3,1	4,2
roční průměr	1,9	2,8	3,8	5,0

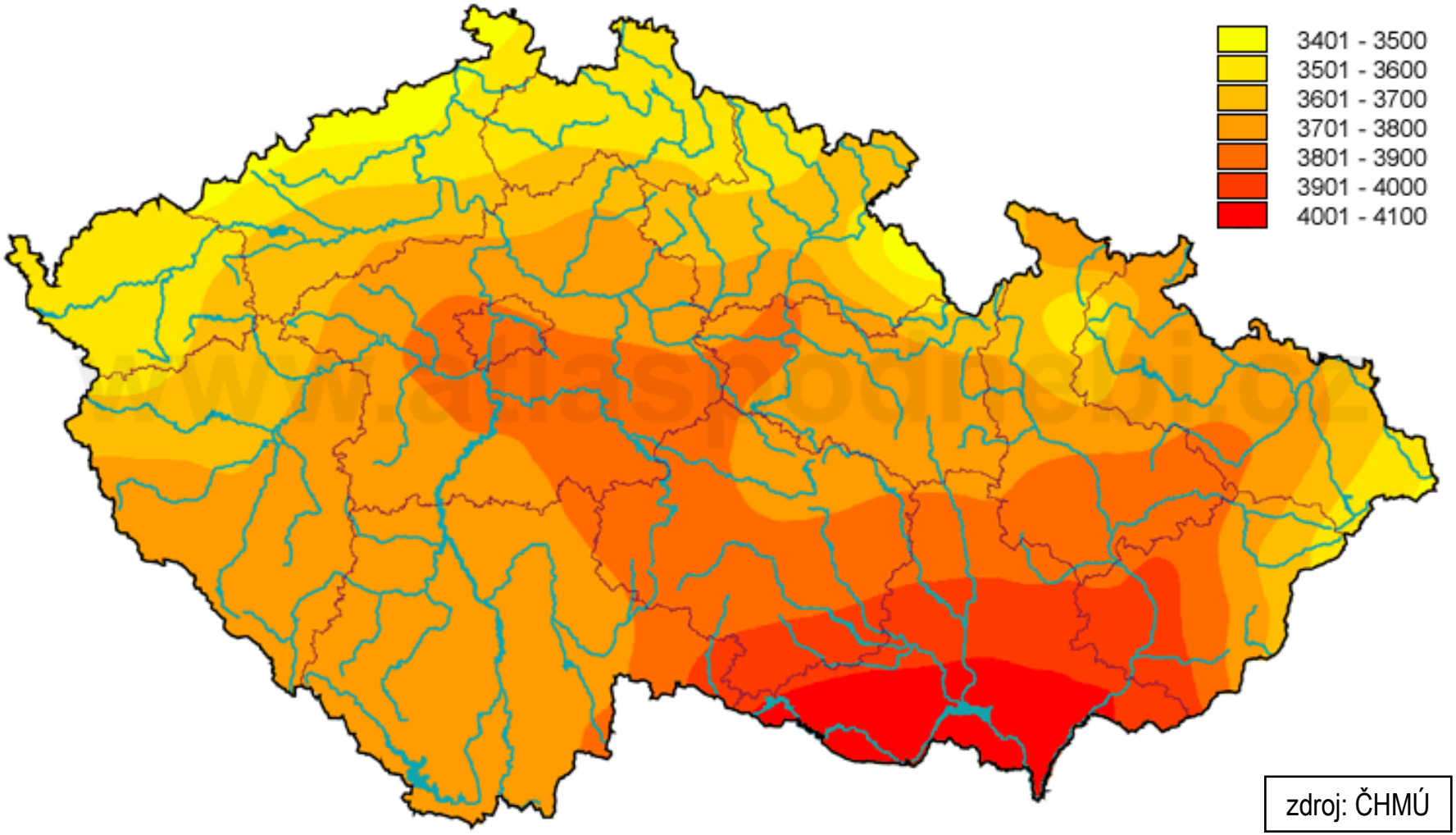


Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented

Global irradiation [kWh/m²]

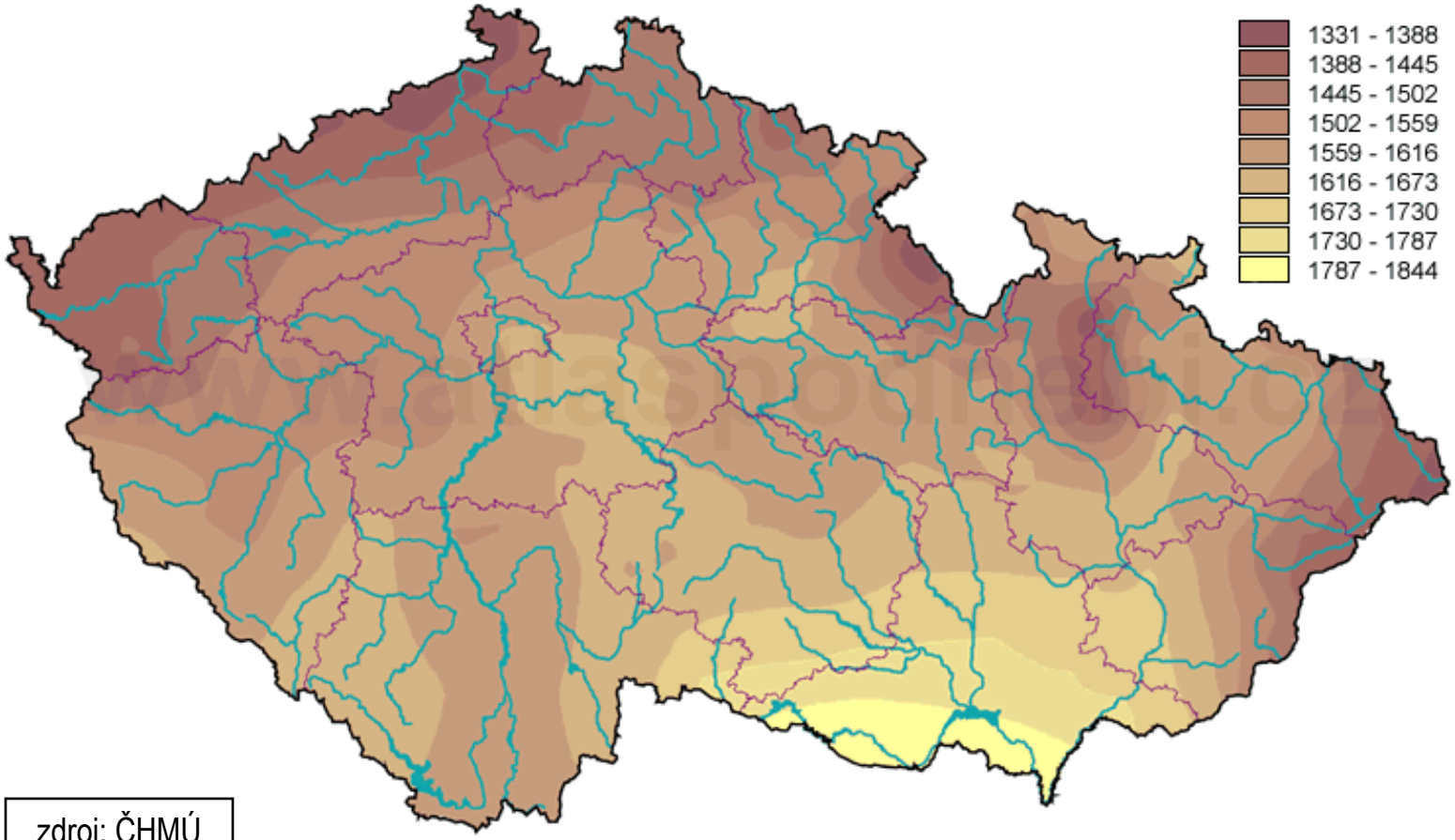
<600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200>

Roční dávky ozáření v podmínkách ČR



zdroj: ČHMÚ

Skutečná doba slunečního svitu v ČR



zdroj: ČHMÚ

Doba slunečního svitu (přímé záření) v ČR: 1400 – 1900 h/rok

Solární kolektory

Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze

Fototermální přeměna

- **jímací plocha (obecně kolektor)**

  plocha, na které se sluneční záření pohlcuje a mění na teplo
  (kolektor – zasklení, absorbér)

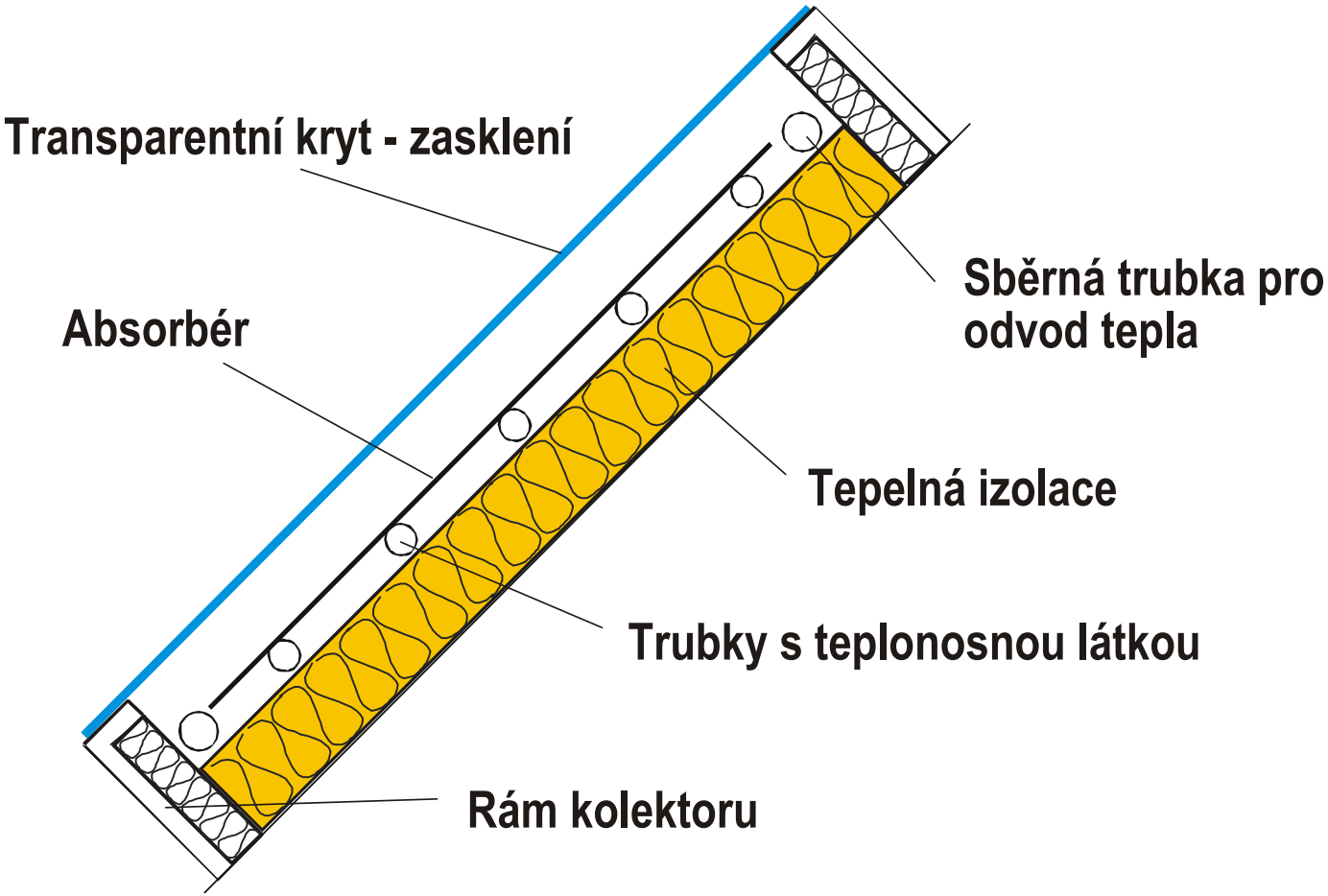
- **akumulátor (zásobník tepla)**

  uchování solárních zisků pro využití
  (akumulační zásobník, stěna, hmota v prostoru, ...)

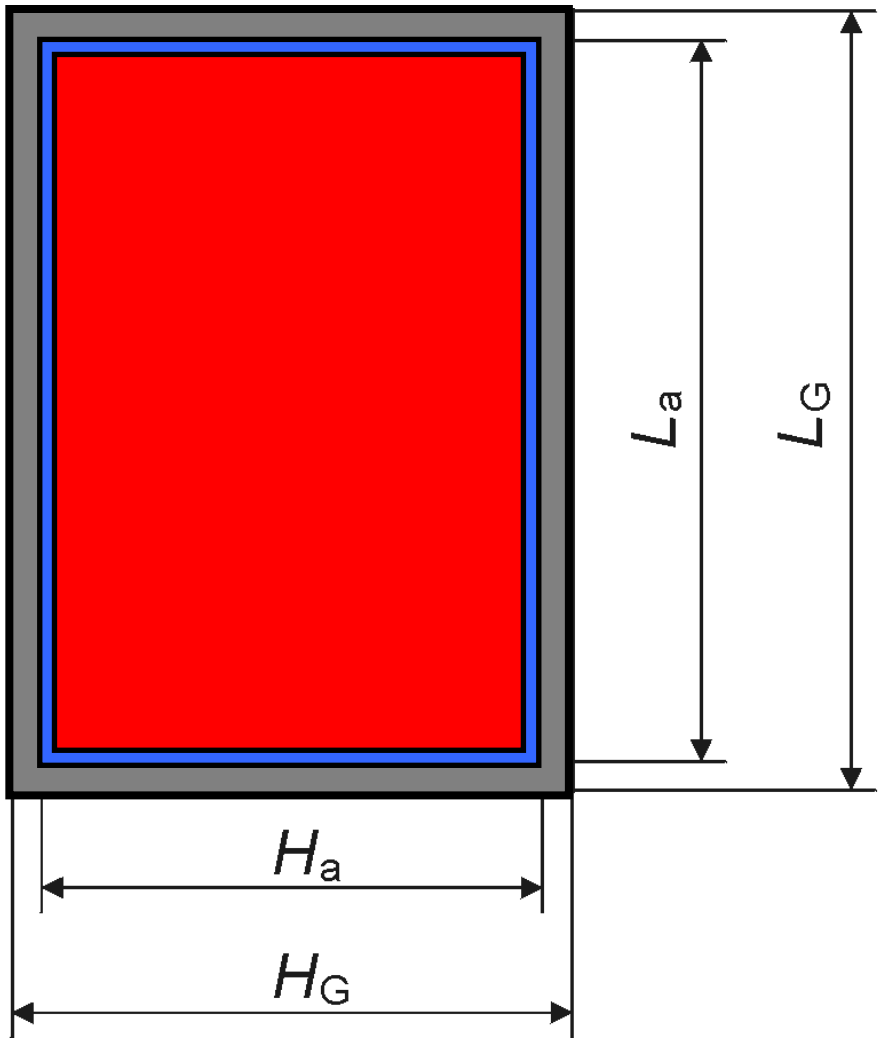
- **spotřebič**

  příprava teplé vody, vytápění, chlazení, prostor

Solární kolektor



Plocha solárního kolektoru



hrubá plocha: A_G

plocha apertury: A_a

plocha absorbéru: A_A

Solární kolektory - rozdělení

solární kolektory

teplonosná látka
- kapalinové
- vzduchové

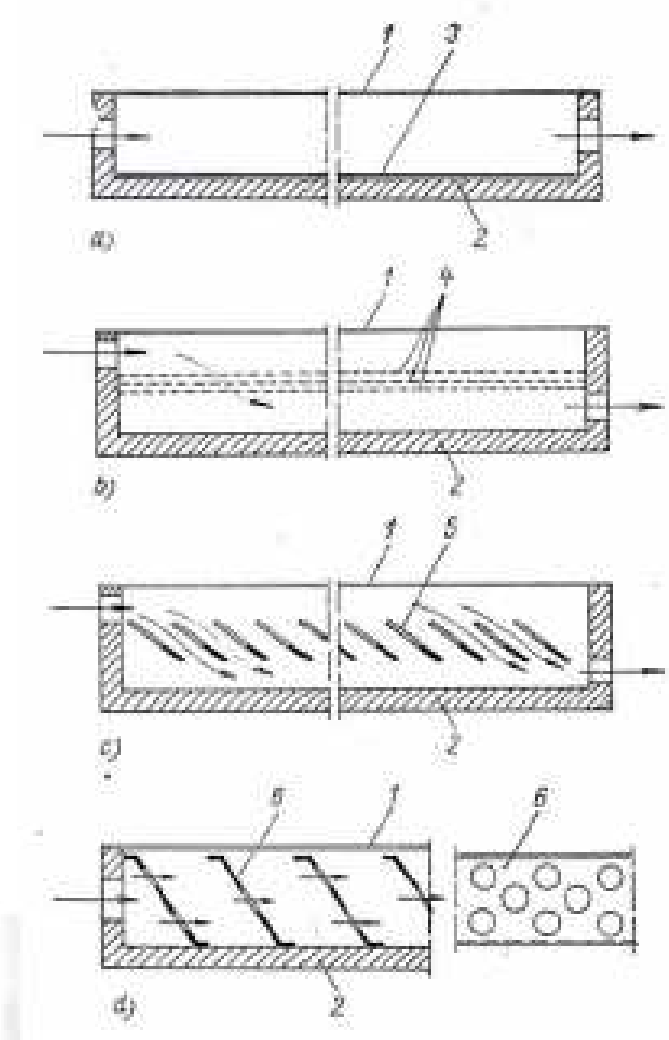
konstrukce
- ploché
- trubicové
- koncentrační

zasklení
- bez zasklení
- jednoduché
- vícevrstvé
- struktura

tlak výplně
- atmosférický
- subatmosférický (vakuový)

absorbér
- plastový
- kovový - neselekt.
- kovový - selektivní
- akumulační

Vzduchové solární kolektory

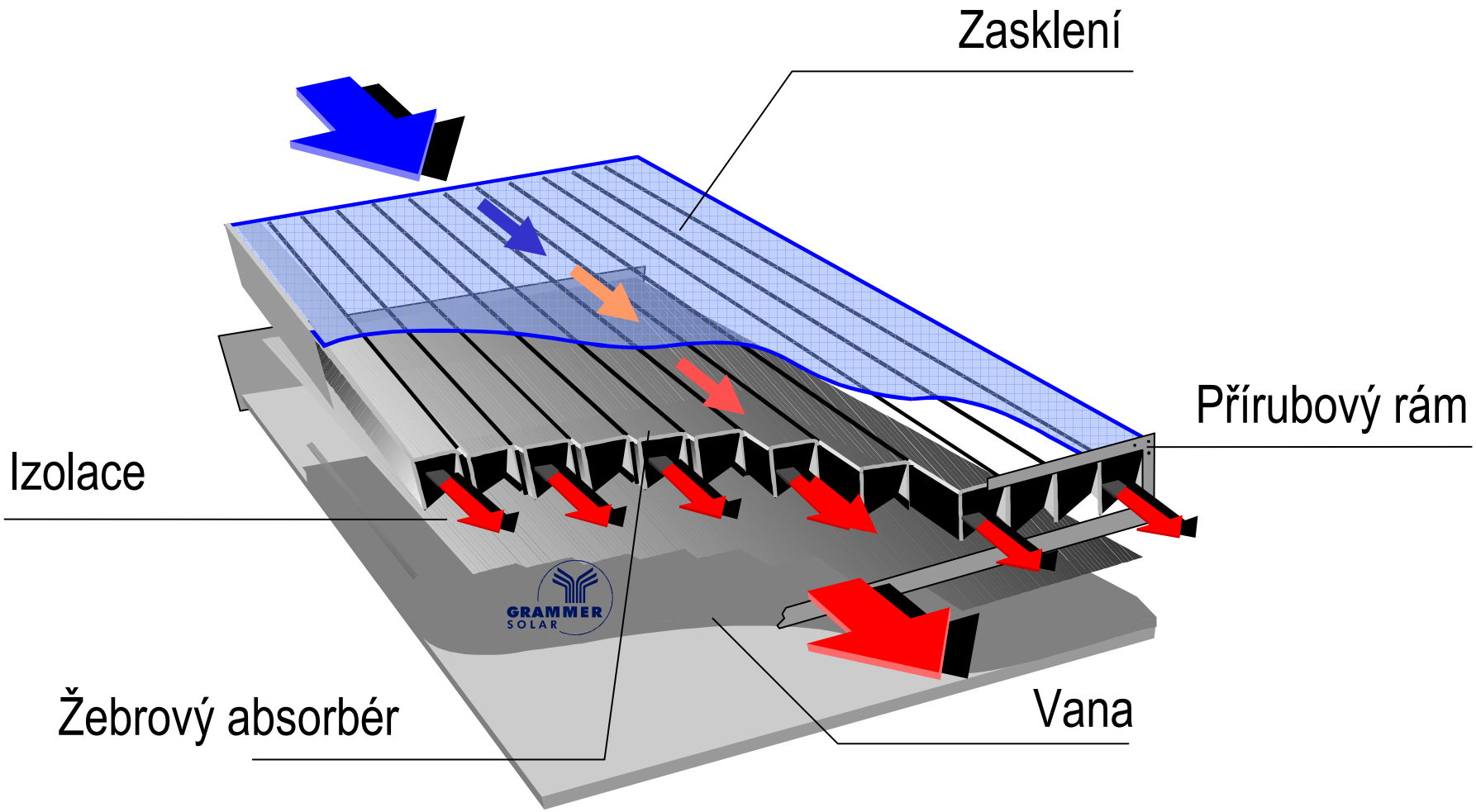


- teplonosnou látkou je **vzduch**
- ohřívá se vně nebo uvnitř absorbéru
- použití:

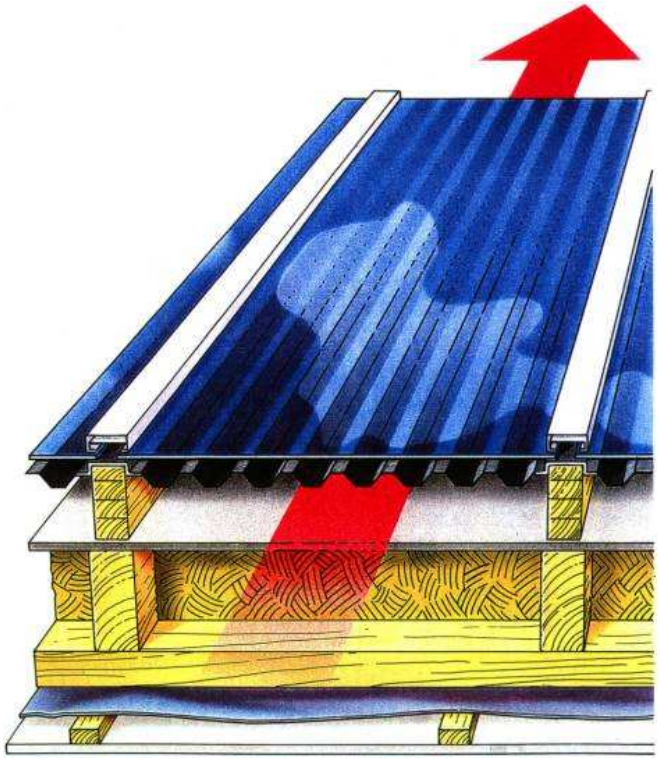
  zemědělství – sušení

  obytné budovy – ohřev větracího vzduchu

Vzduchové solární kolektory



Vzduchové solární kolektory



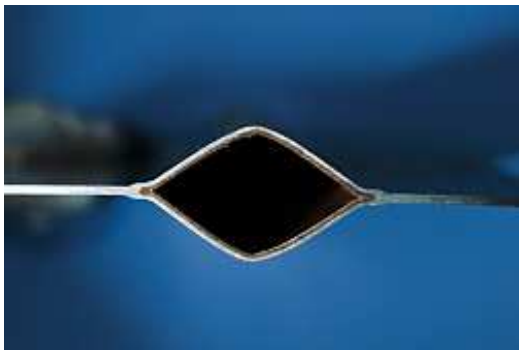
Vzduchové solární kolektory

Kapalinové solární kolektory

- teplonosnou látkou je **kapalina**

  (voda, nemrznoucí směs, olej, atd.)

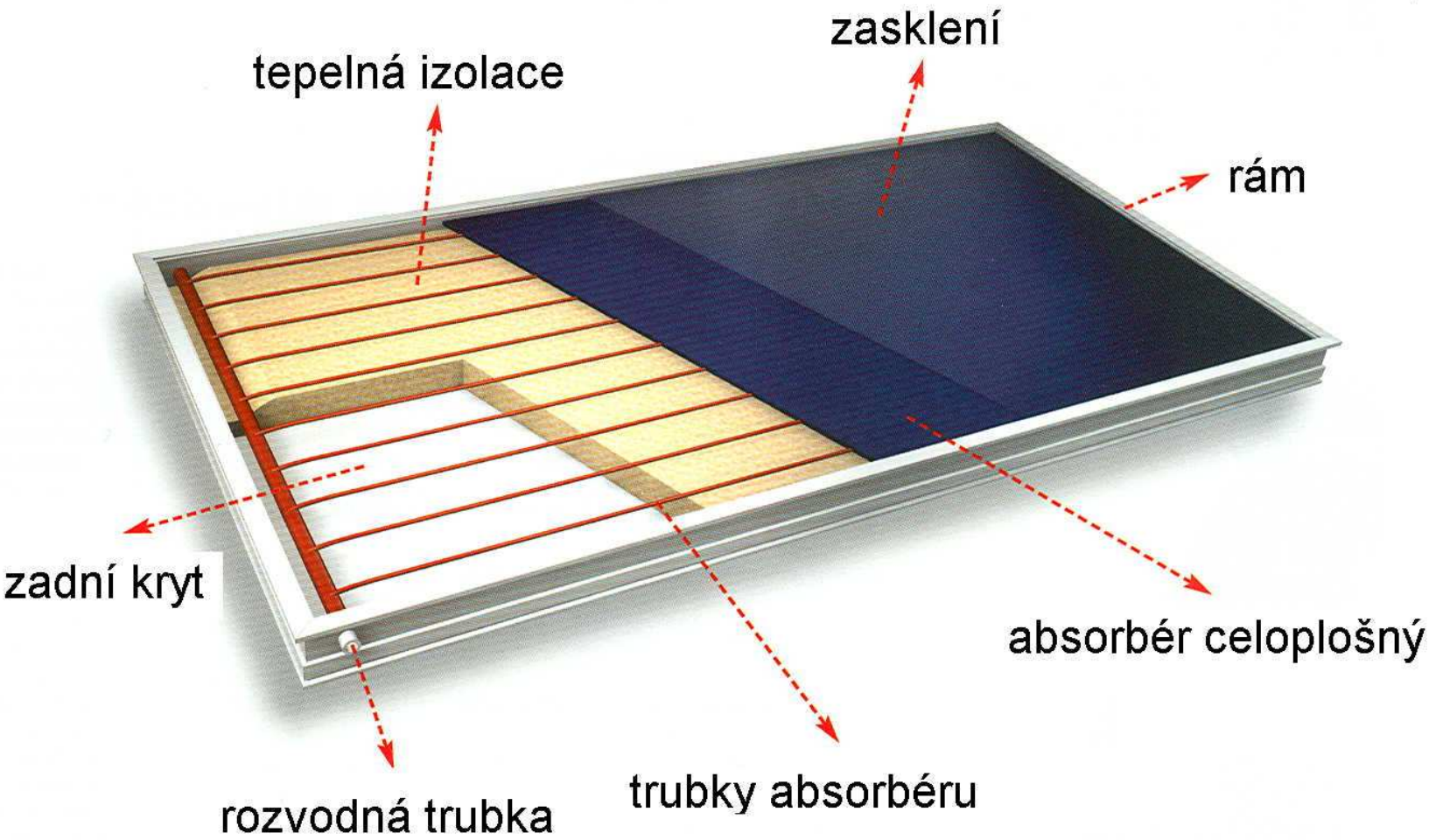
- energie pohlcená na povrchu absorbéru je odváděna teplonosnou látkou proudící uvnitř trubek absorbéru



Nekryté solární kolektory

- teplotní hladiny do 40 °C
- vhodné pro sezónní aplikace, ohřev bazénové vody
- výrazně závislé na okolních podmínkách (teplota, proudění vzduchu)

Ploché kryté solární kolektory



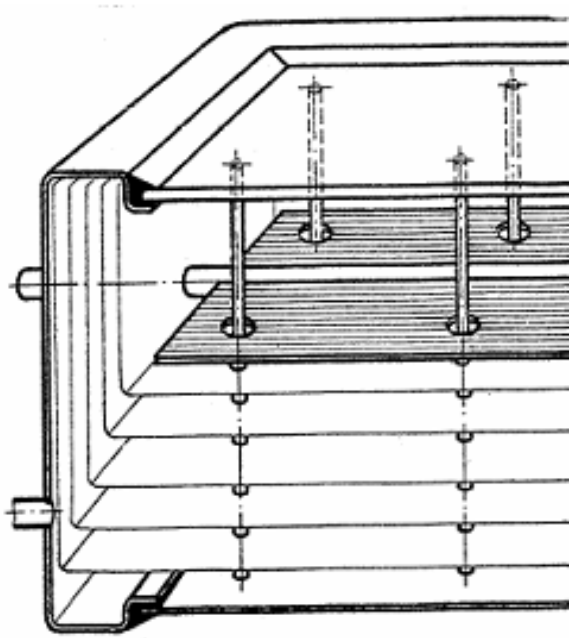
Ploché solární kolektory

- výhodné z hlediska integrace do obálky budovy

Ploché vakuové kolektory

podtlak pro omezení tepelných ztrát (absolutní tlak 1 až 10 kPa)

zatížení plochého krycího skla (opěrky)

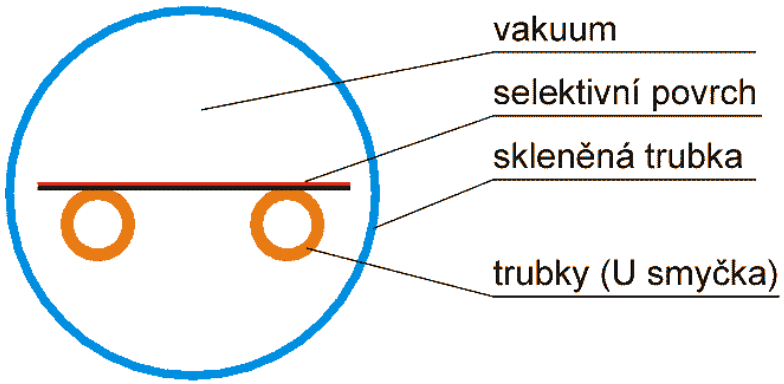


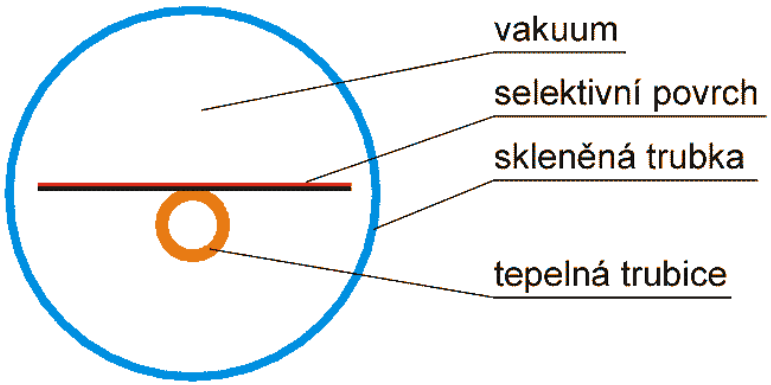
sálání zadní strany absorbéru je nutné stínit

Vakuové trubkové solární kolektory

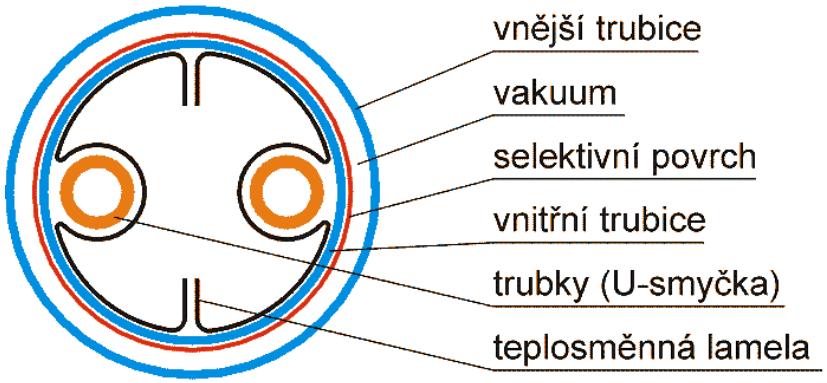
jednostěnná vakuová trubka (typ Dornier)

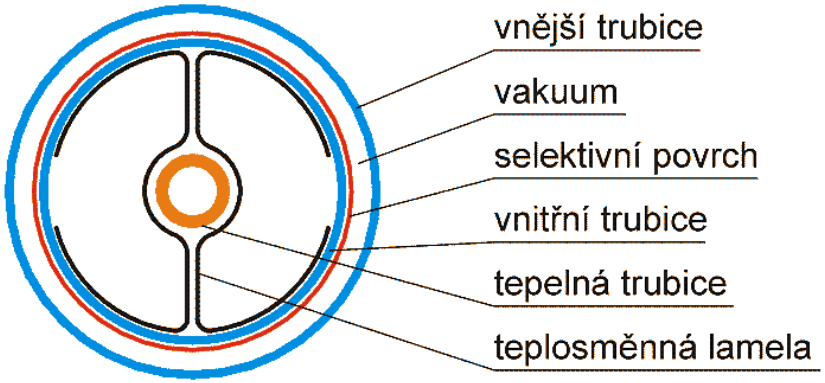
tlak 10^{-3} Pa





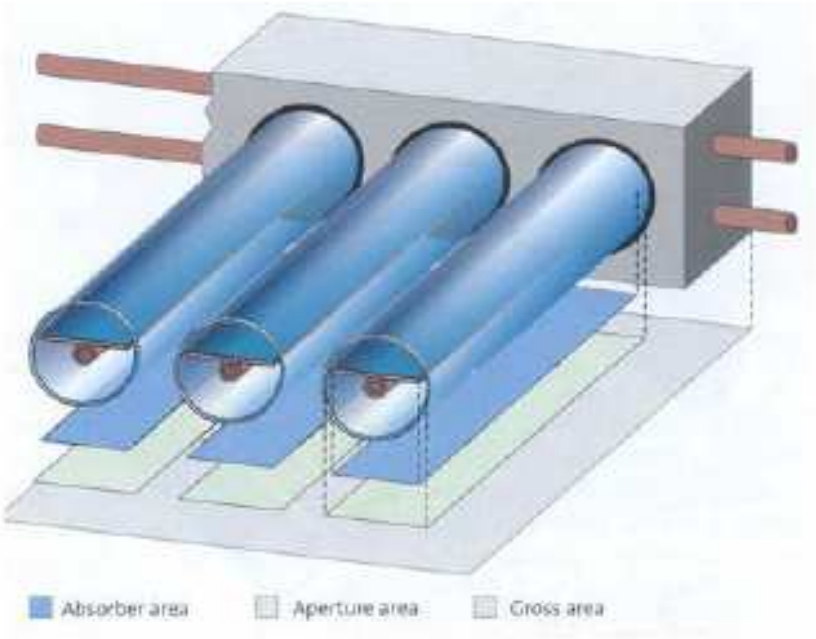
dvojstěnná vakuová trubka (typ Sydney)



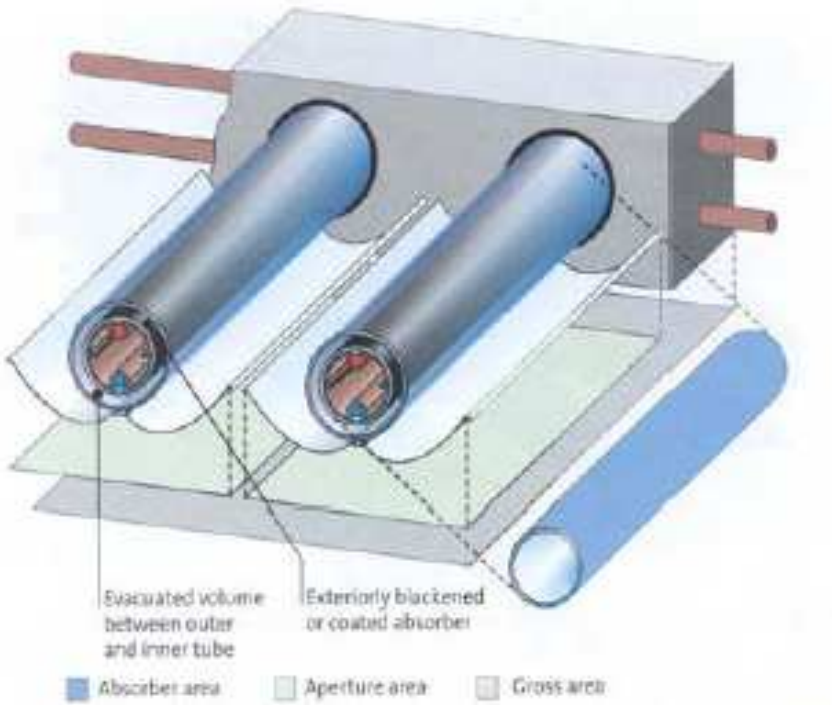


Vakuové trubkové solární kolektory

jednostěnná vakuová trubka (typ Dornier)



dvojstěnná vakuová trubka (typ Sydney)

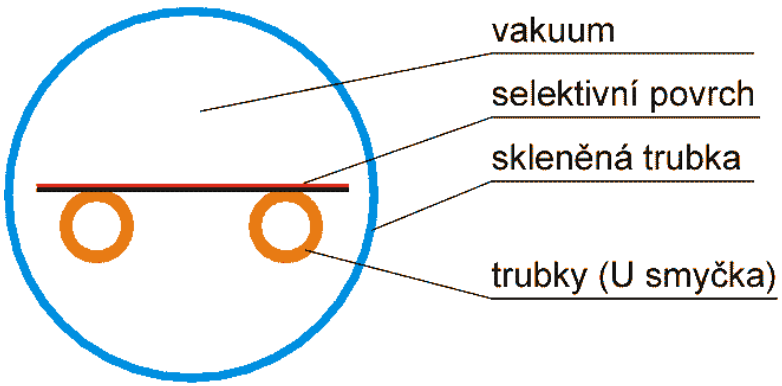


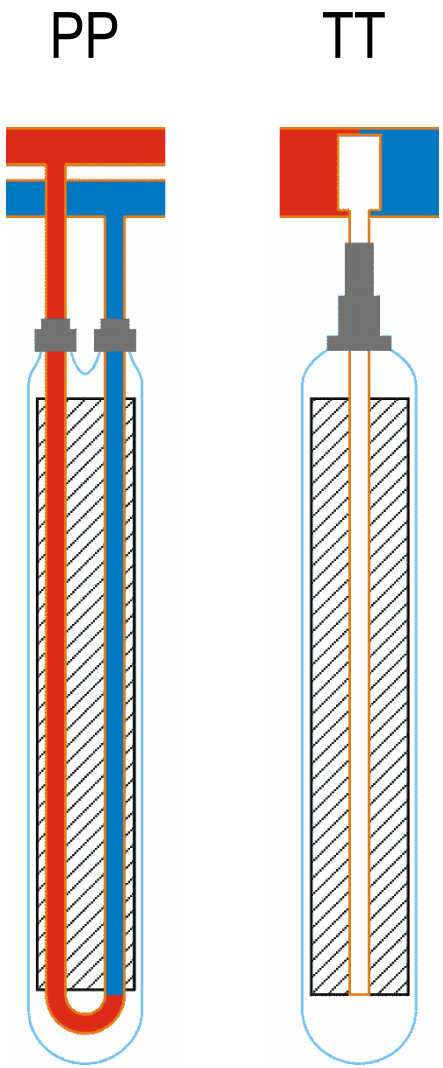
Vakuové trubkové solární kolektory

<u>Jednostěnná vakuová trubka</u>

<u>s plochým absorbérem</u>

- tepelná trubice (TT)
- přímo protékaný registr (PP)





velmi kvalitní přestup tepla z absorbéru
do kapaliny, resp. na výparník tepelné trubice

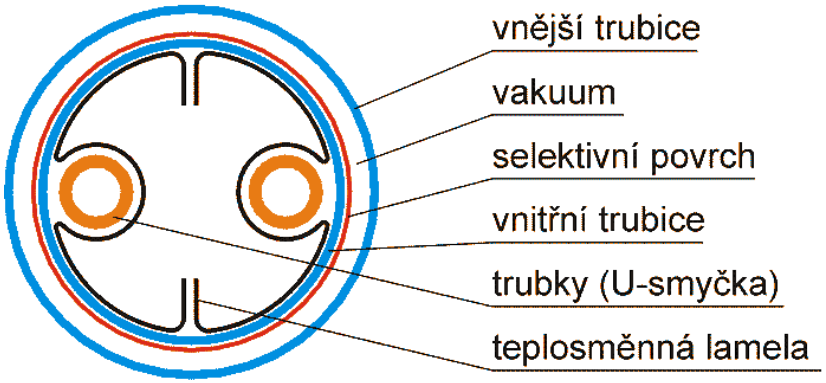
Vakuové trubkové solární kolektory

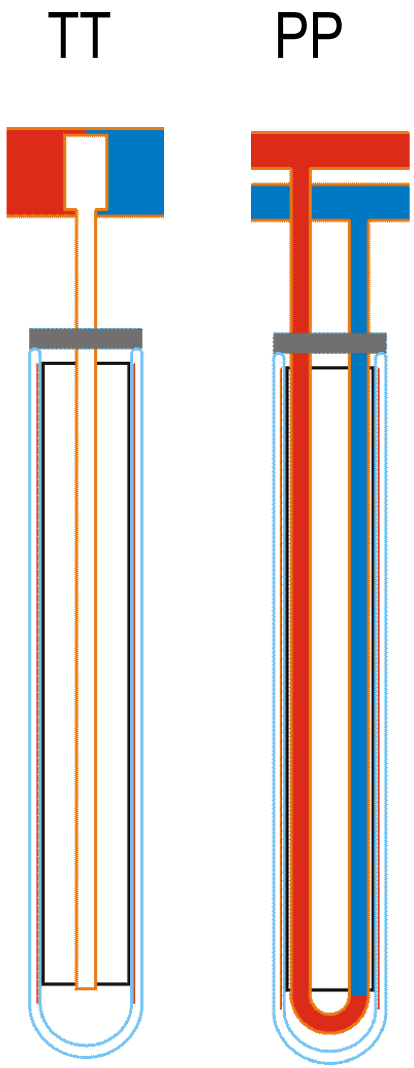
<u>Dvojstěnná vakuová Sydney trubka</u>
<u>s válcovým absorbérem</u>

- tepelná trubice (s kontaktní lamelou), TT
- přímo protékaný registr (s kontaktní lamelou), PP

x varianty s odrazným zrcadlem (reflektorem)

kontaktní teplosměnná lamela je zcela zásadním prvkem



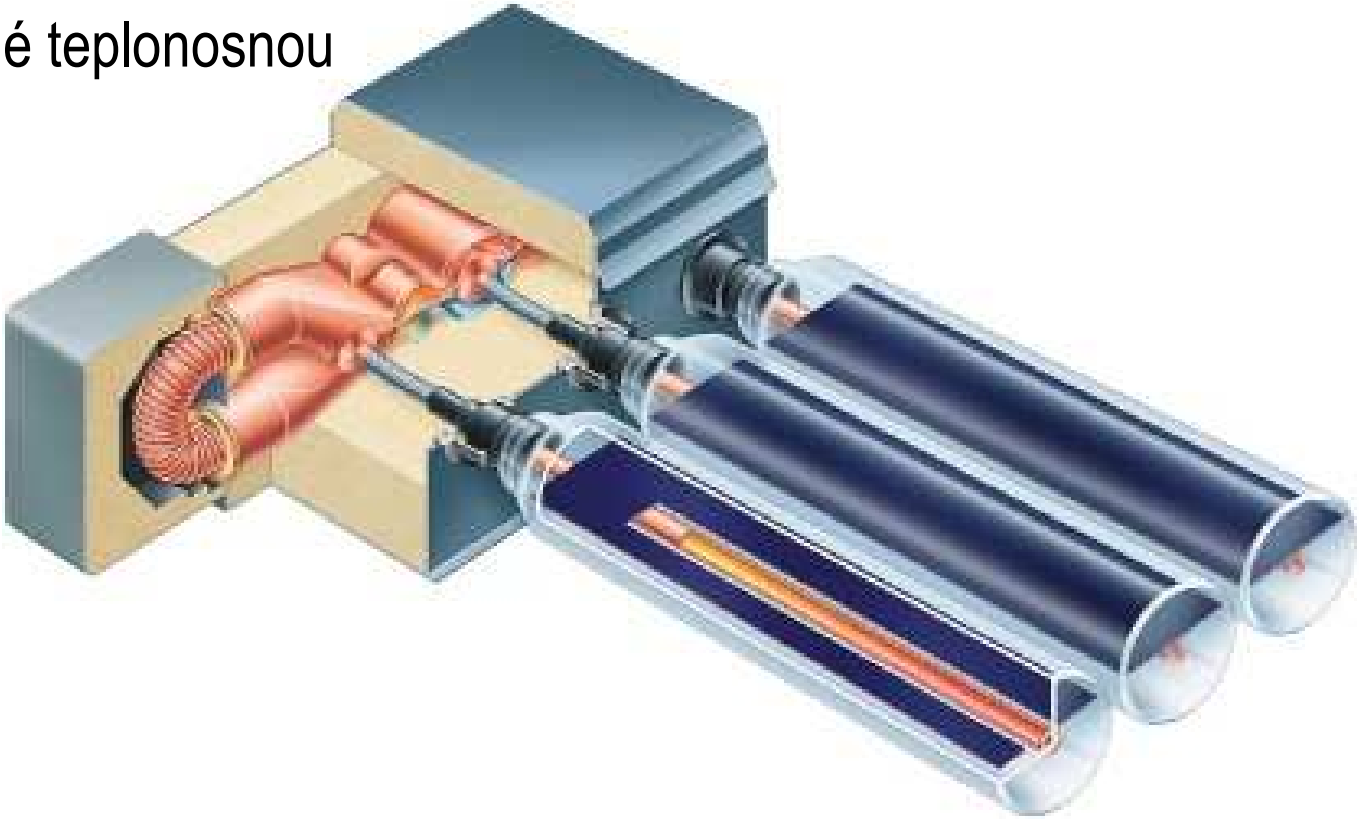


Trubkové kolektory - tepelná trubice (TT)

suché napojení tepelné trubice

kondenzátor uložen v pouzdru

pouzdro omývané teplonosnou látkou

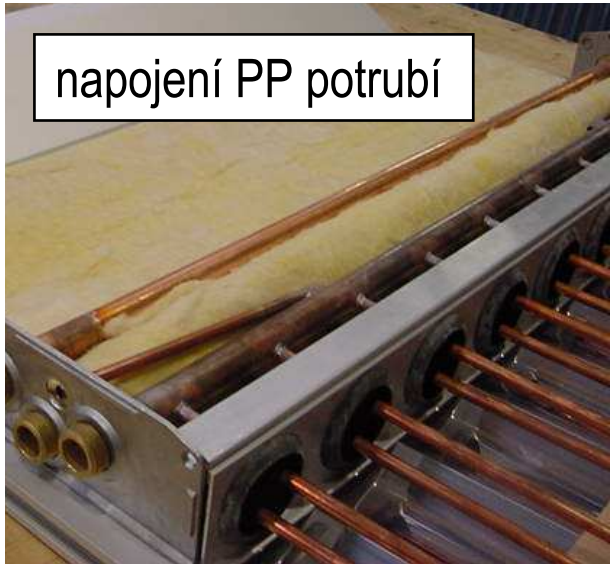


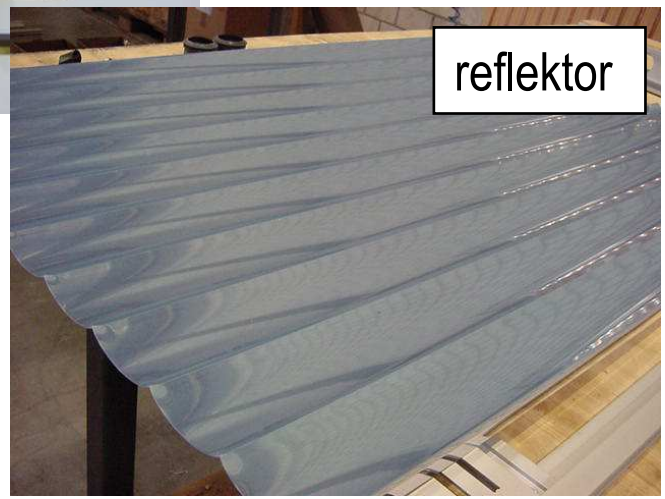
Trubkové kolektory - tepelná trubice (TT)

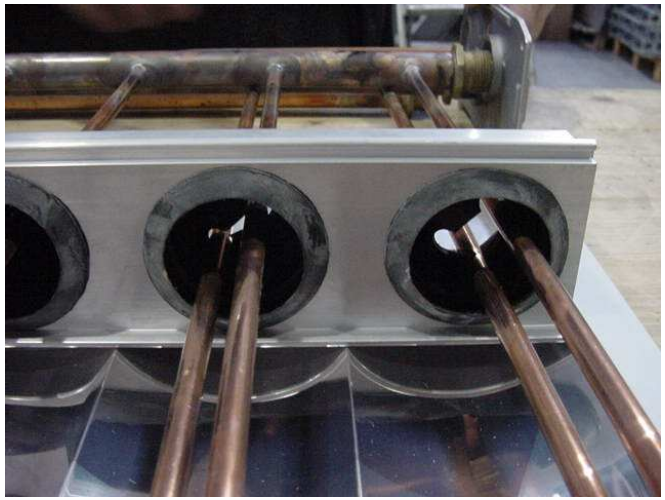
<u>mokré</u> <u>napojení tepelné trubice</u>

kondenzátor tepelné trubice přímo omývaný teplonosnou látkou

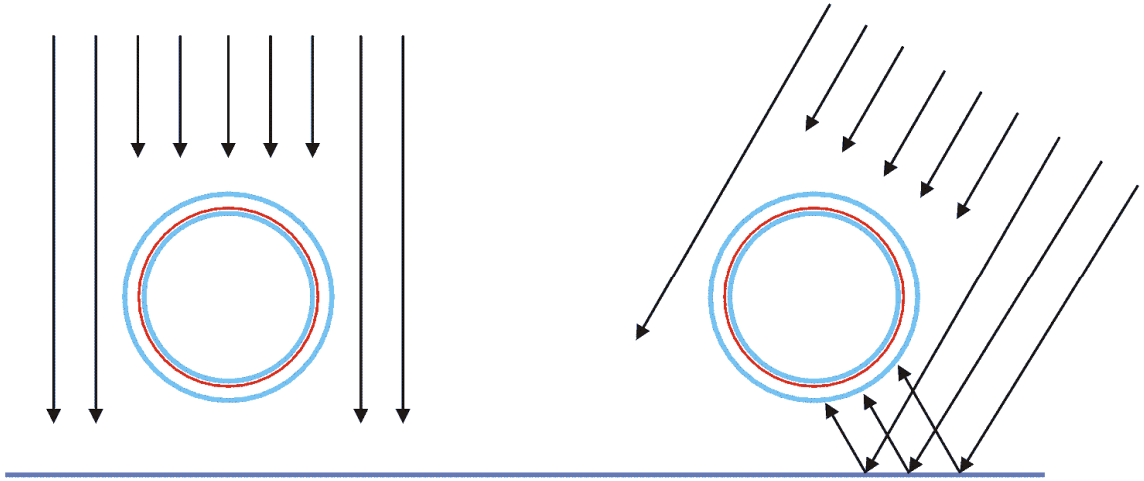
Vakuové trubkové Sydney kolektory



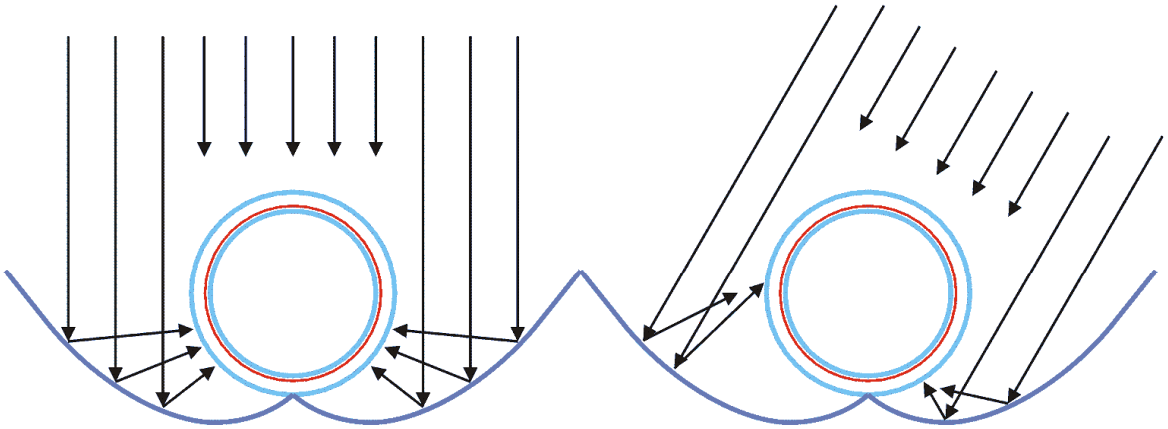




Trubkové solární kolektory s reflektorem



odrazný plech



složený parabolický reflektor (CPC)

zrcadlový odraz

difúzní odraz

trvanlivost optické kvality odrazného plechu

zachycování a kumulace sněhu (ledu), poničení trubek

zvýšení aktivní plochy kolektoru (apertury)

Koncentrační solární kolektory

koncentrace přímého slunečního záření

odrazem (zrcadla) x **lomem** (čočky)

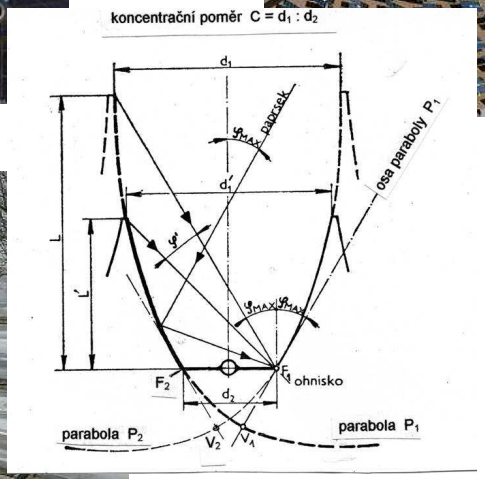
lineární ohnisko

- parabolický reflektor
- Winstonův kolektor
- kolektor s Fresnellovou čočkou

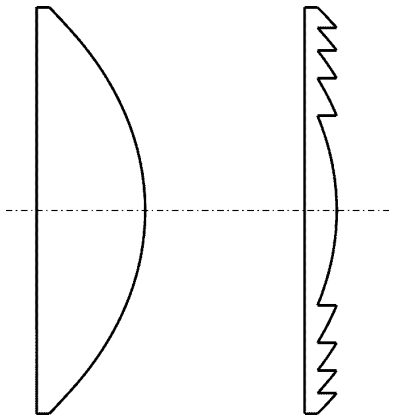
bodové ohnisko

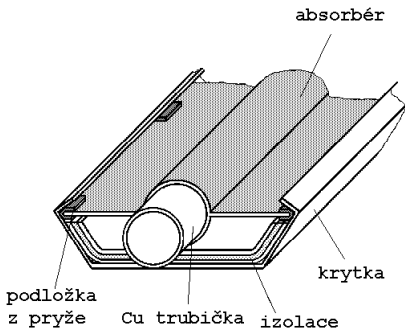
- paraboloidní reflektor
- fasetové reflektory, heliostaty

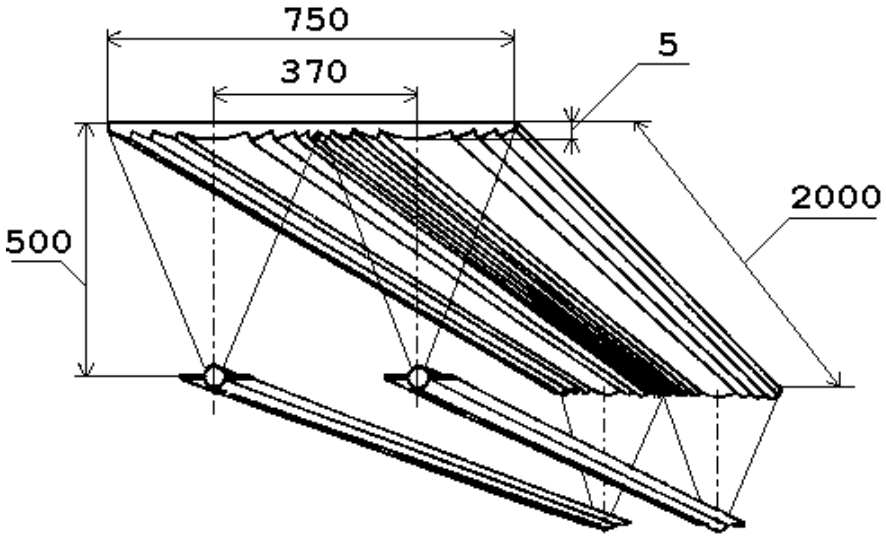
Koncentrační solární kolektory (odraz)



Kolektory s Fresnellovými čočkami (lom)

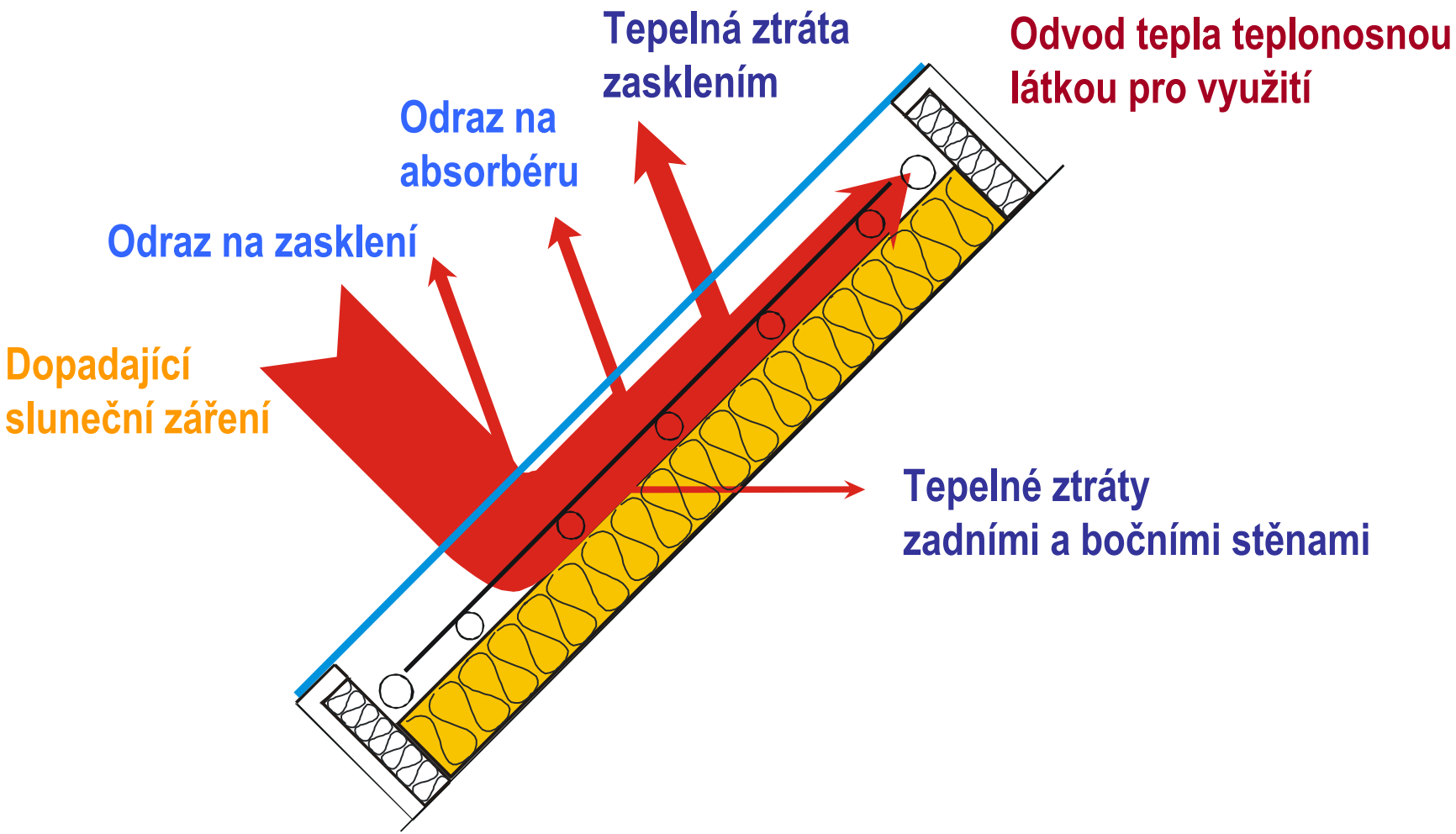






- přechod mezi aktivními a pasivními prvky

Solární kolektory - princip

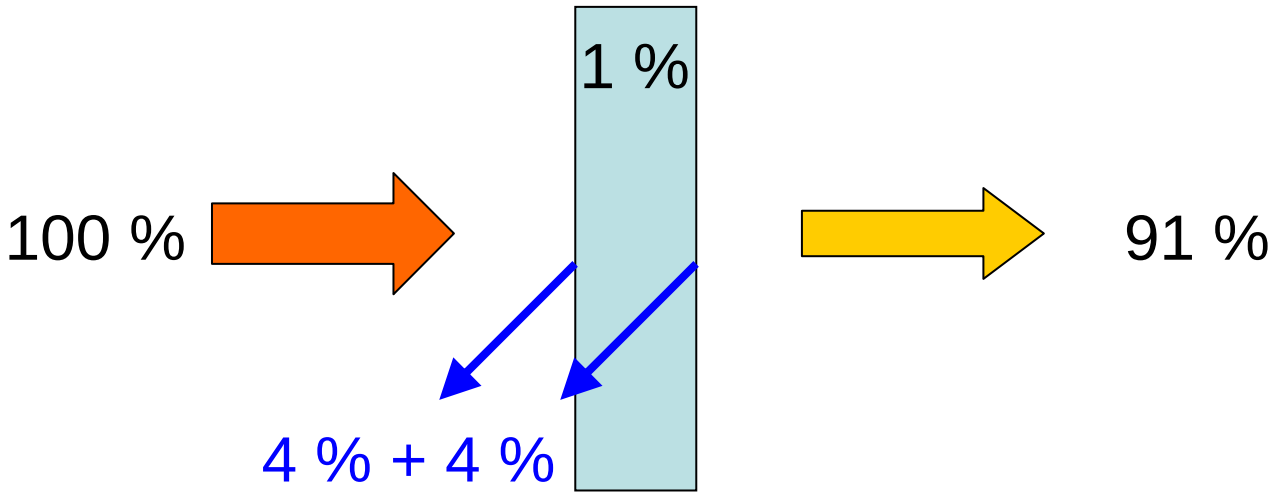


Zasklení kolektoru

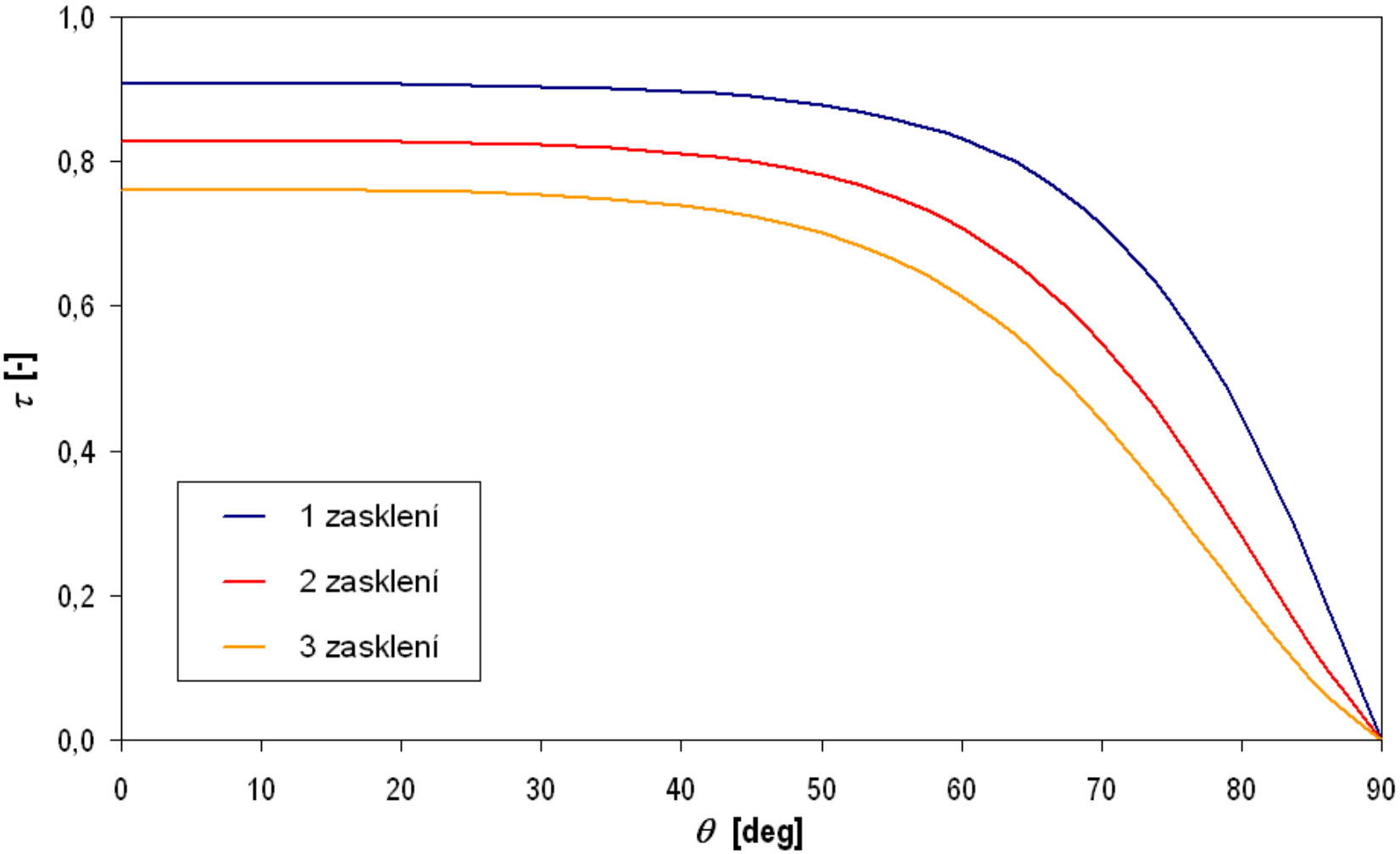
- **jednoduché zasklení**
- sklo s nízkým obsahem FeO_3 („solární“, „nízkoželezité“)
  - snížení pohltivosti materiálu zasklení
- <u>antireflexní povlaky</u>
  - snížení odrazivosti rozhraní sklo-vzduch
- <u>prizmatické sklo</u> (pyramidový vzor, textura)
  - zvýšení propustnosti při vyšších úhlech dopadu
- **dvojité zasklení**
  - solární sklo + folie (teflon), nižší ztráty, nižší propustnost

Optické ztráty - odraz

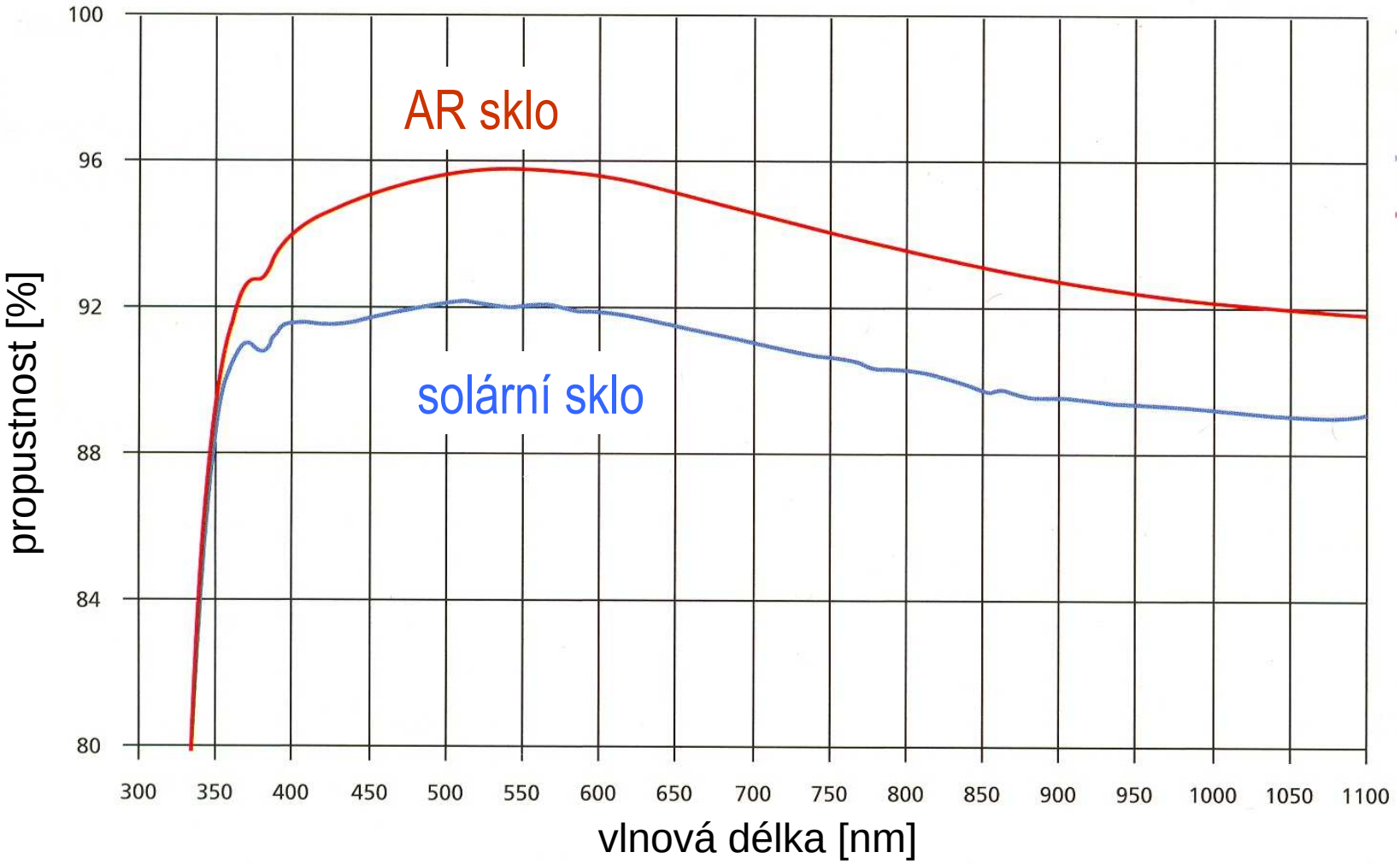
odraz na každém rozhraní sklo-vzduch 4 %
prakticky nezávislé na tloušťce



Optické vlastnosti zasklení - propustnost

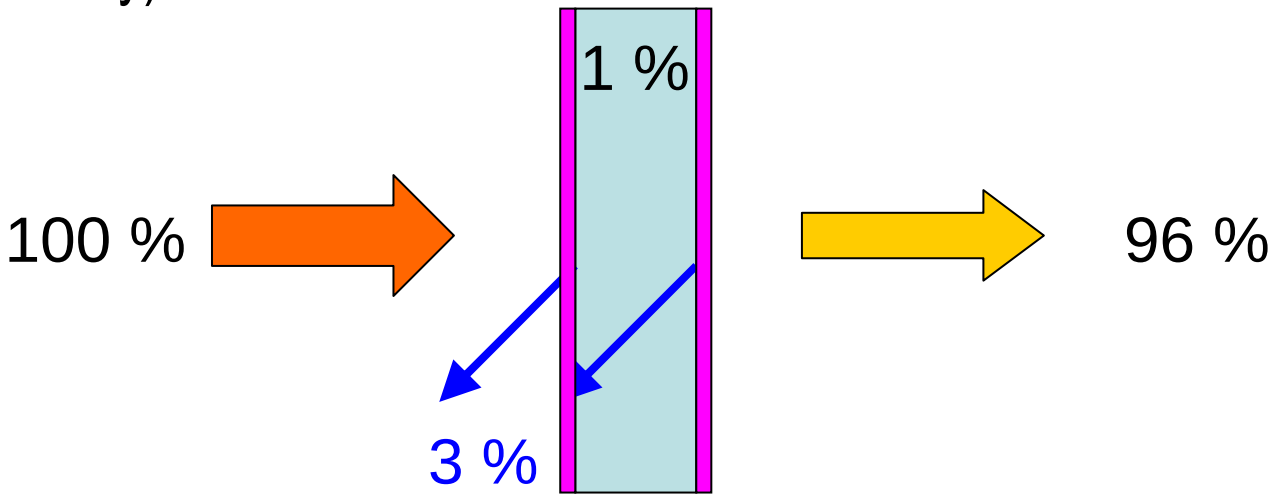


Antireflexní povlaky



Antireflexní povlaky

odrazivost se sníží na 1.5 % na každém rozhraní sklo-vzduch
vrstva s významně nižším indexem lomu (mechanické, chemické procesy)



dvojité zasklení se 4 AR povlaky:

propustnost **0.92** > jednoduché zasklení (0.91)

Absorbér kolektoru

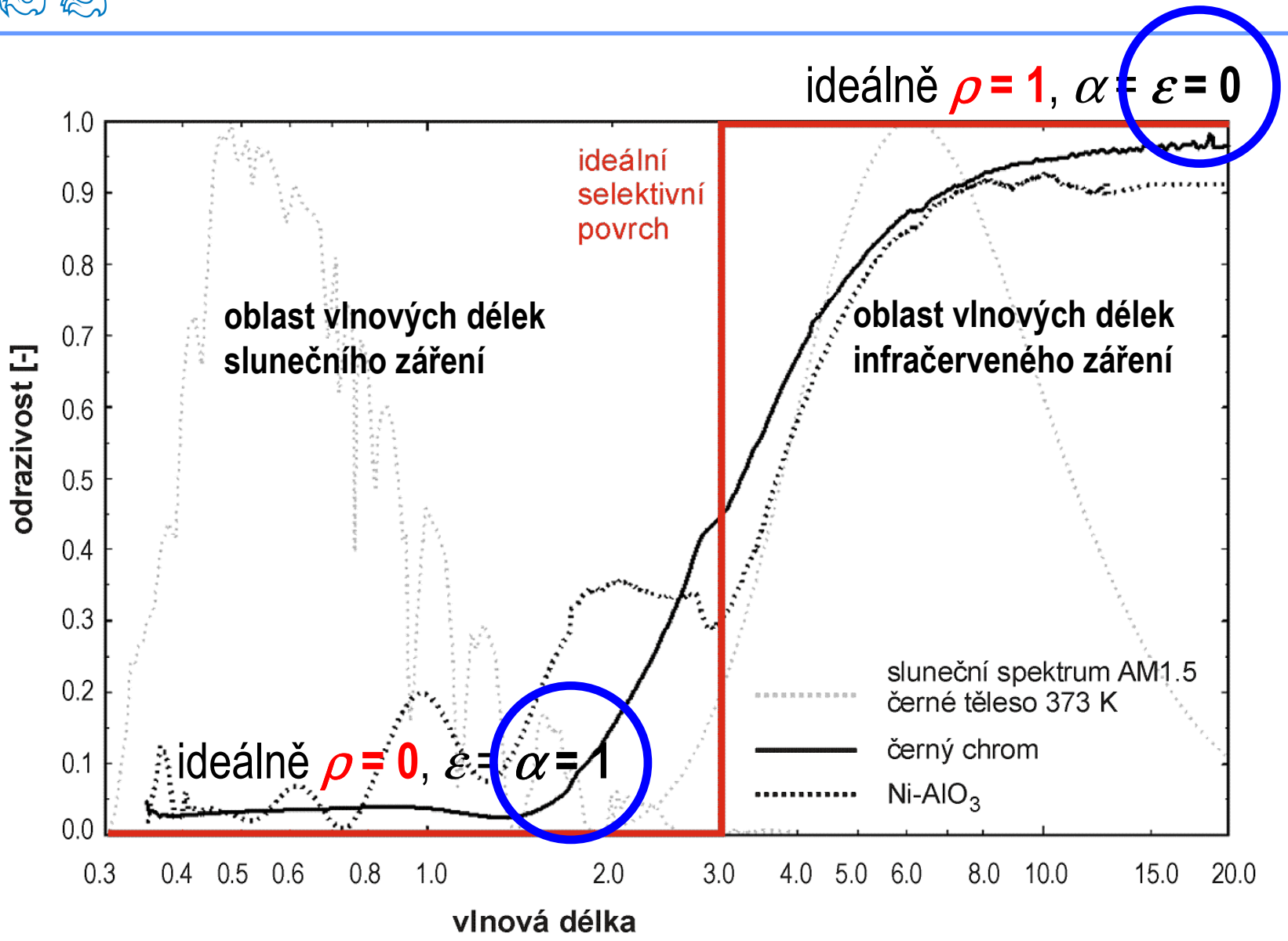
teorie záření, radiační vlastnosti těles

- pohltivost α + odrazivost ρ = 1 (pro záření nepropouštějící tělesa)
- pro danou vlnovou délku záření λ platí: pohltivost α_λ = emisivita ε_λ

- absolutně černá tělesa: $\alpha = 1$, $\rho = 0$ pro všechny vlnové délky
- absolutně bílá tělesa: $\alpha = 0$, $\rho = 1$ pro všechny vlnové délky
- šedá tělesa $0 < \alpha = \alpha_\lambda < 1$, $\rho = 1 - \alpha$ pro všechny vlnové délky
- **selektivní tělesa $0 < \alpha_\lambda < 1$, $\rho_\lambda = 1 - \alpha_\lambda$**

$$\boxed{\alpha_{SOL} \neq \varepsilon_{IR}}$$

Selektivita povrchu absorbéru



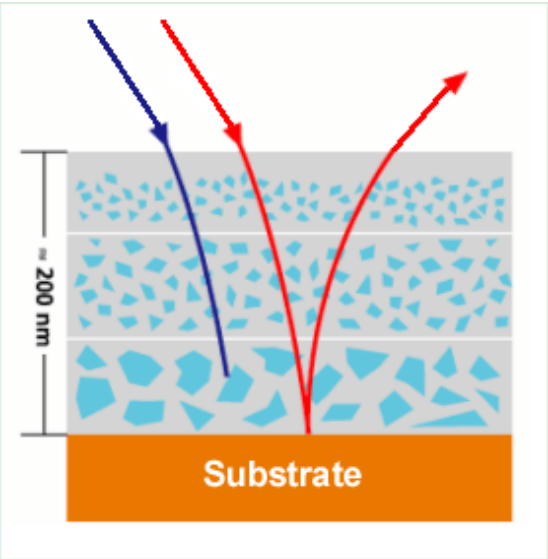
Selektivní povrchy

galvanické

- vytvoření struktury elektrochemickou cestou tyčinky na velmi odrazivém materiálu (substrátu), α = 0,93 – 0,96, ε = 0,10 – 0,16

keramicko-kovové (ceramic-metal: **cermet**)

- naprašováním, PVD proces, velmi kvalitní povrchy, α = 0,95, ε = 0,05



nátěry

- výrazně horší vlastnosti, α = 0,92, ε = 0,85

Tepelná bilance kolektoru

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q}_s - \dot{Q}_{z,o} - \dot{Q}_{z,t} - \dot{Q}_k$$ obecný zápis

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_s - \dot{Q}_{z,o} - \dot{Q}_{z,t}$$ ustálené podmínky $dQ/dt = 0$

Q_s	dopadající výkon sl. záření	$Q_s = G.A_k$
$Q_{z,o}$	optické ztráty	$Q_{z,o} = Q_s - Q_s \tau\alpha$
$Q_{z,t}$	tepelné ztráty	$Q_{z,t} = U.A_k\,(t_{abs} - t_e)$
Q_k	tepelný výkon kolektoru	$Q_k = M \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1})$

výkon a účinnost kolektoru

výkon kolektoru:

$$\dot{Q}_k = GA_k \tau\alpha - UA_k (t_{abs} - t_e)$$

účinnost vztažená ke střední teplotě absorbéru:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_s} = \frac{\dot{Q}_k}{GA_k} = \frac{GA_k \tau\alpha - UA_k (t_{abs} - t_e)}{GA_k}$$

$$\eta = \tau\alpha - U \frac{(t_{abs} - t_e)}{G}$$

Účinnost solárního kolektoru

$$\eta = \boxed{\tau\alpha} - \boxed{U\frac{(t_{abs} - t_e)}{G}}$$

τ ... propustnost slunečního záření zasklení [-]

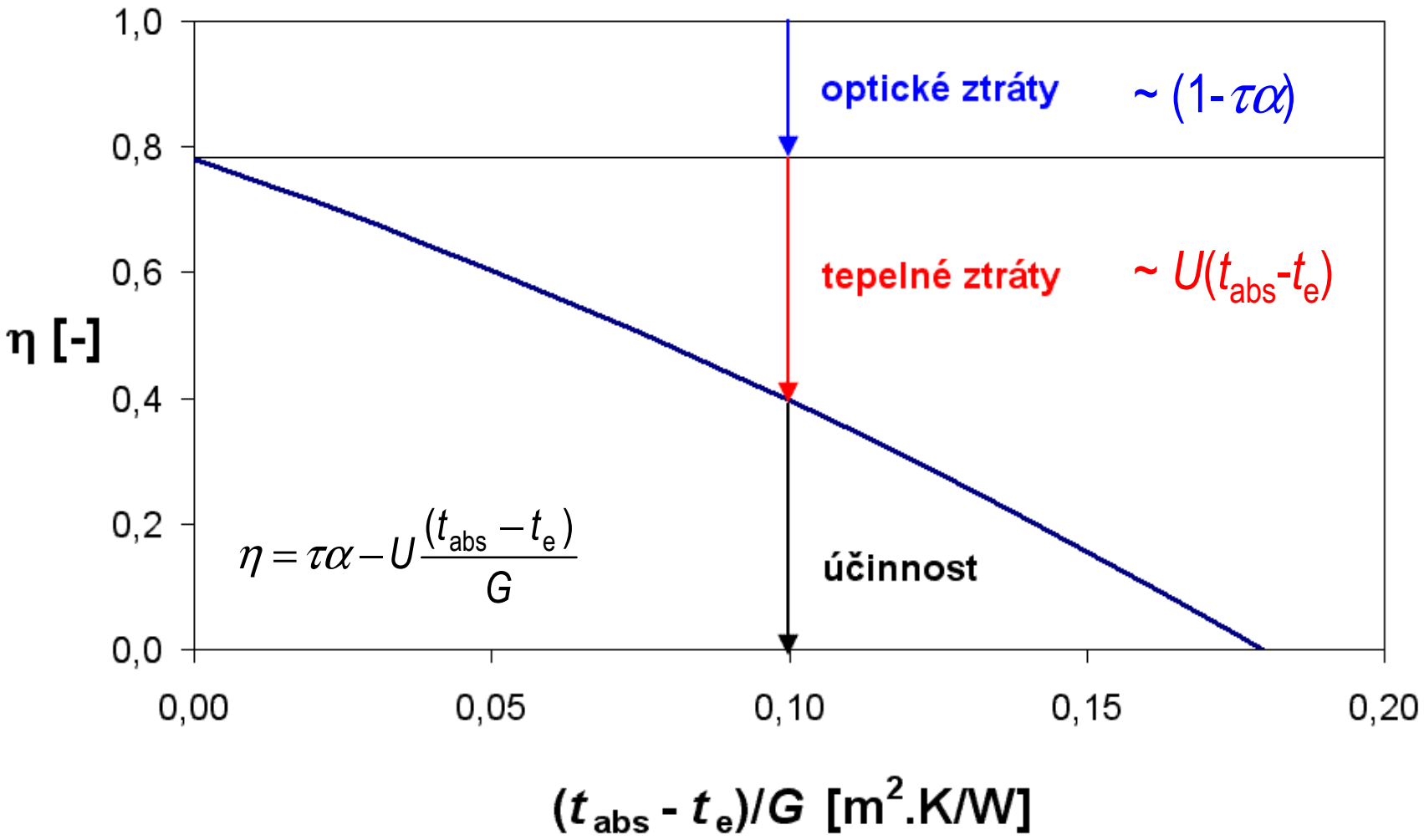
α ... pohltivost slunečního záření absorbéru [-]

U ... součinitel prostupu tepla kolektoru [W/m^2.K]

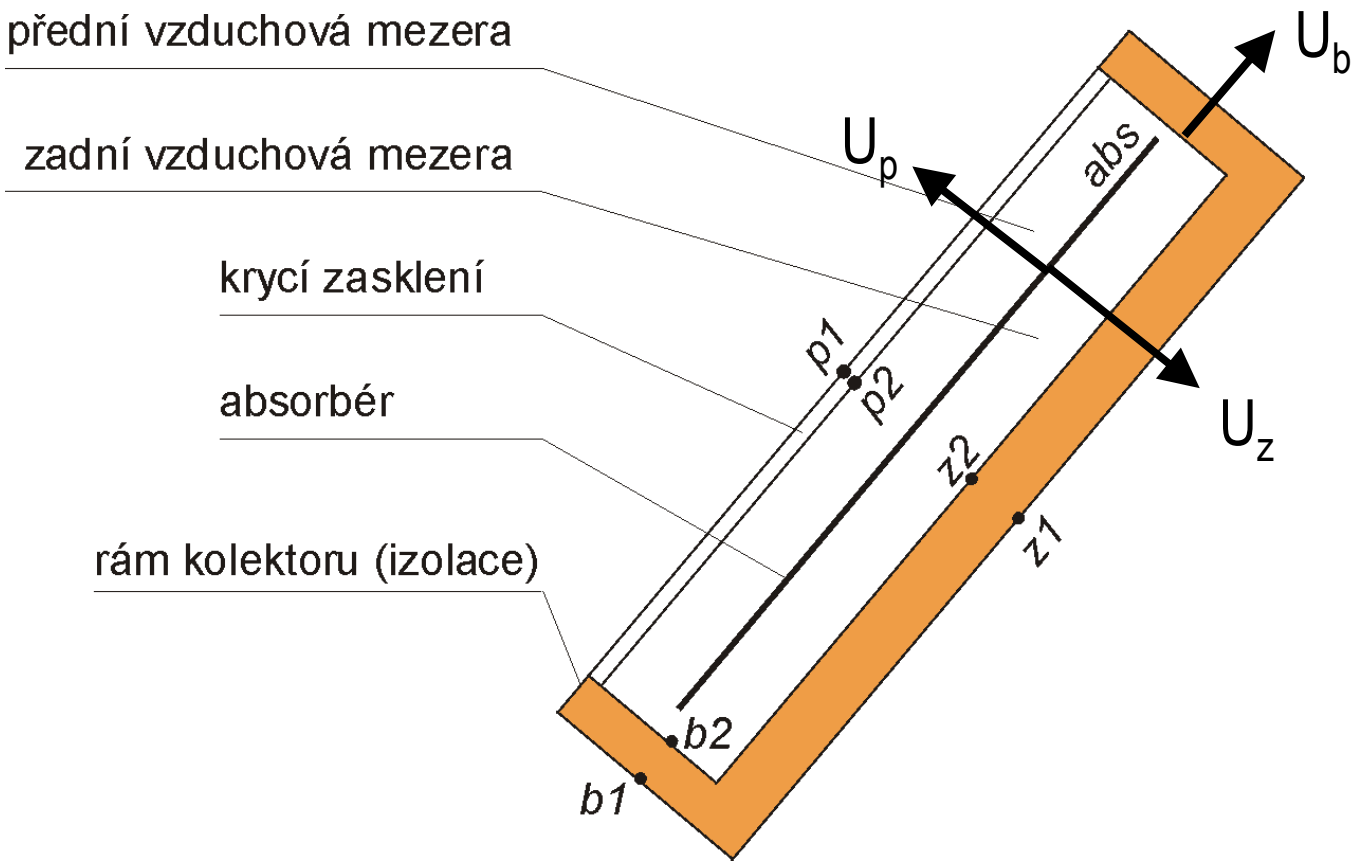
t_{abs} ... střední teplota absorbéru [°C]

t_e ... teplota okolí [°C]

Účinnost solárního kolektoru

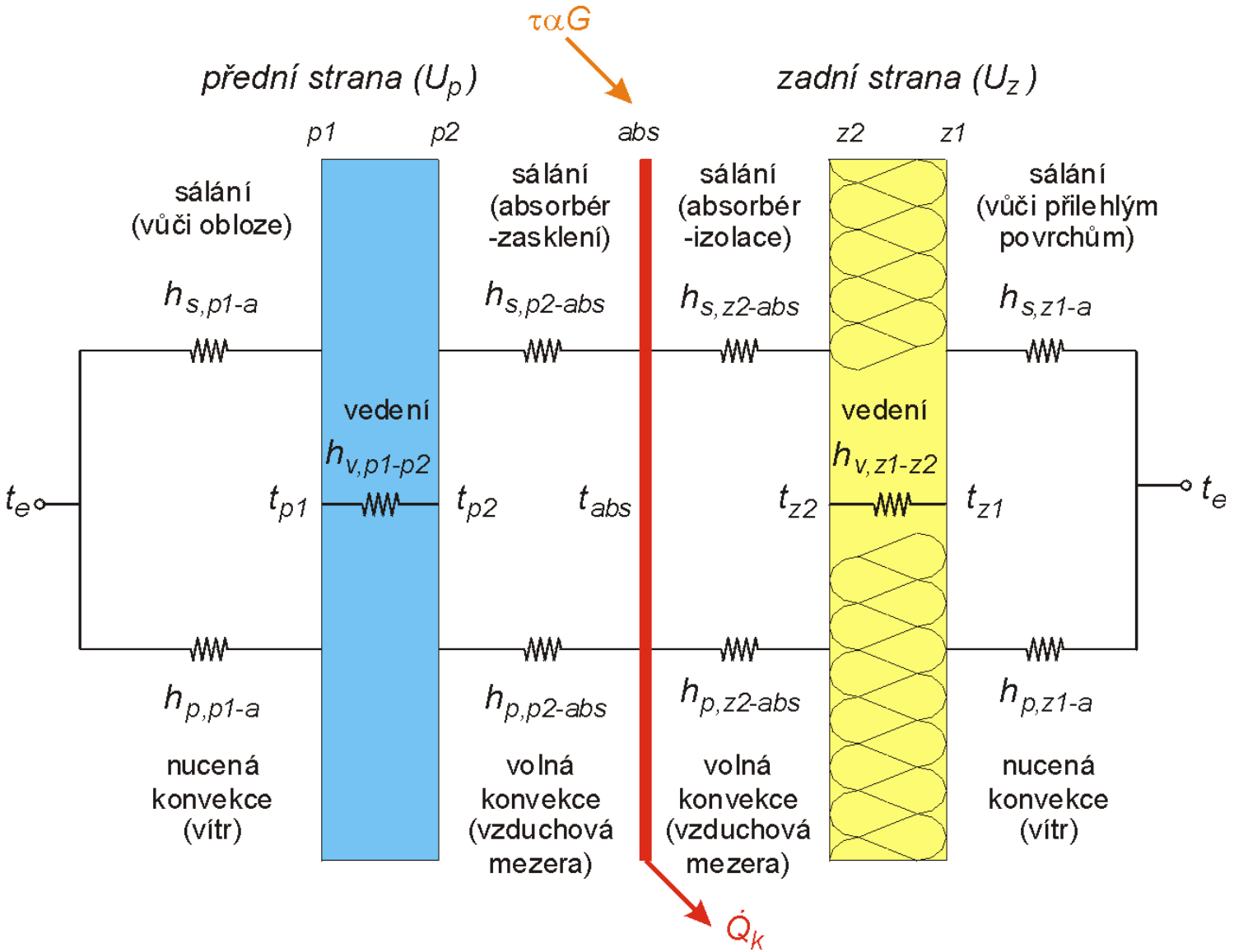


Tepelné ztráty kolektoru



$$\dot{Q}_{z,t} = U_p A_a (t_{abs} - t_e) - U_z A_a (t_{abs} - t_e) - U_b A_b (t_{abs} - t_e) = \boxed{U A_a (t_{abs} - t_e)}$$

Tepelné ztráty kolektoru v detailu



Účinnost solárního kolektoru

$$\eta = F' \cdot \left[\tau\alpha - U \frac{(t_m - t_e)}{G} \right]$$

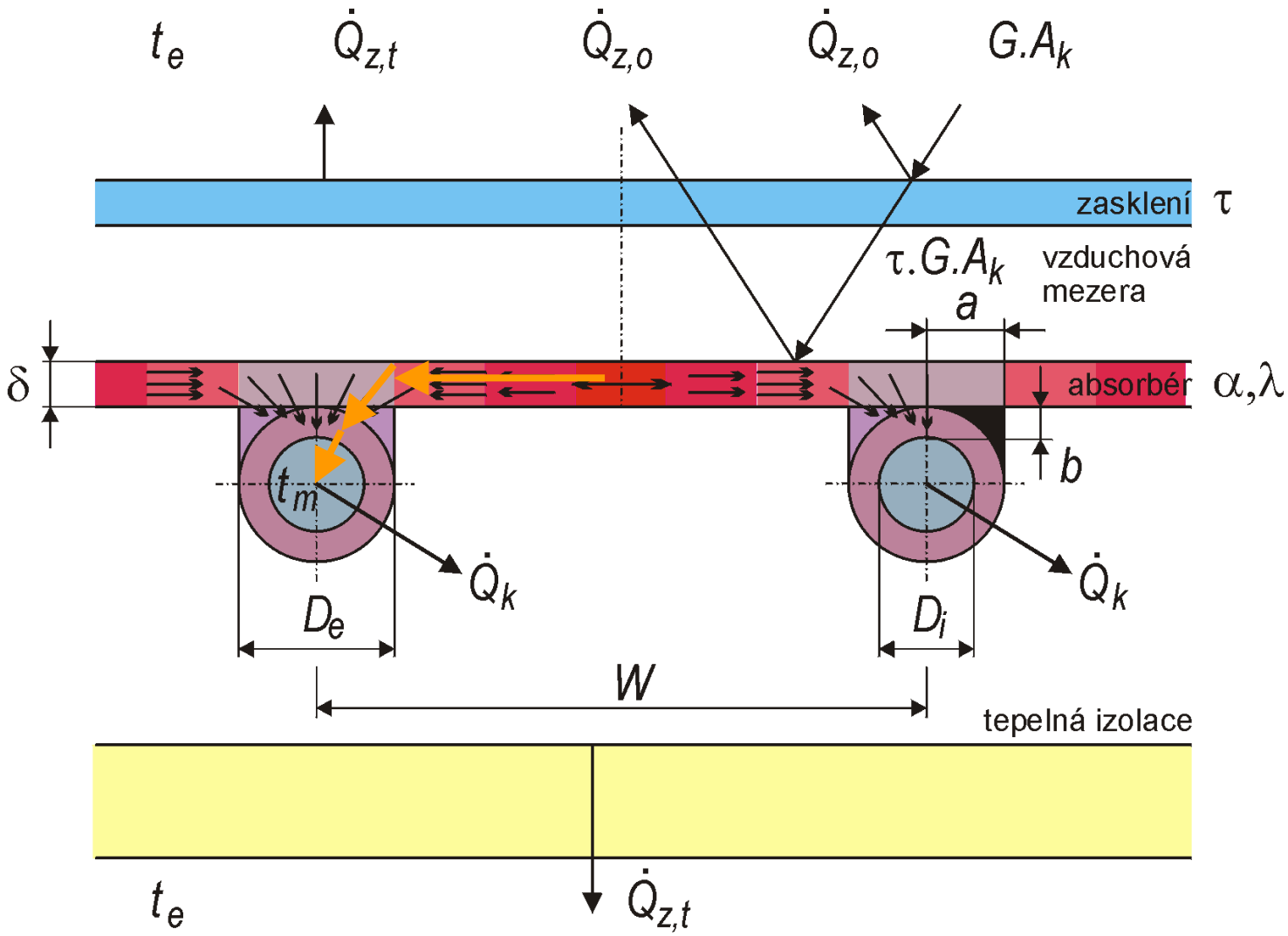
F' **... účinnostní součinitel kolektoru** **> 0.90**

závisí na geometrii a tepelných vlastnostech absorbéru

t_m ... střední teplota teplonosné kapaliny v kolektoru

$$t_m = (t_{k1} + t_{k2})/2$$

Přenos tepla z povrchu absorbéru



Účinnostní součinitel kolektoru *F'*

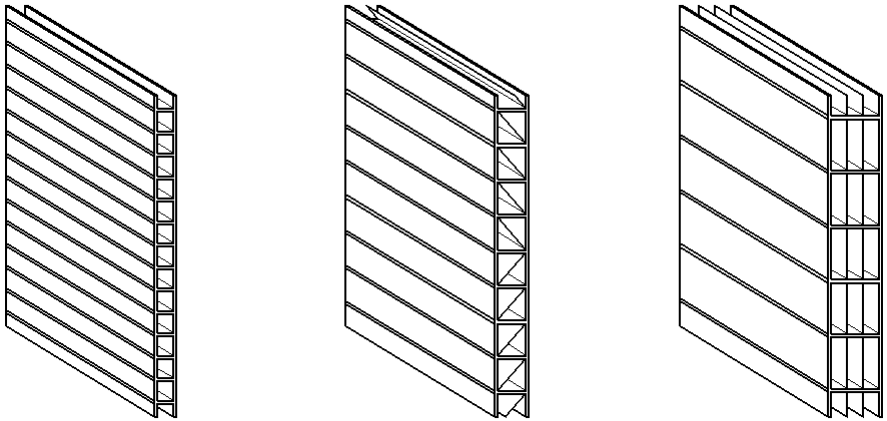
závisí na geometrických vlastnostech absorbéru

- geometrických vlastnostech absorbéru:
  - **rozteč trubek, průměr trubek, tloušťka spoje trubka-absorbér, tloušťka absorbéru**
- fyzikálních vlastnostech absorbéru:
  - **tepelná vodivost absorbéru, tepelná vodivost spoje trubka-absorbér**
- proudění uvnitř trubek: **přestup tepla ze stěny trubky do kapaliny**
- celkový součinitel prostupu tepla kolektoru *U*

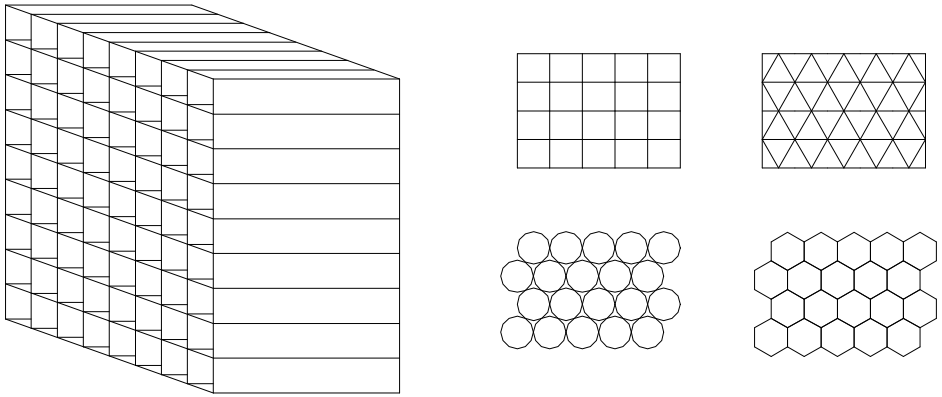
Tepelné ztráty kolektoru

- tepelná ztráta zasklením
  cca **75-85 %** celkové ztráty
- násobná zasklení
- speciální struktury

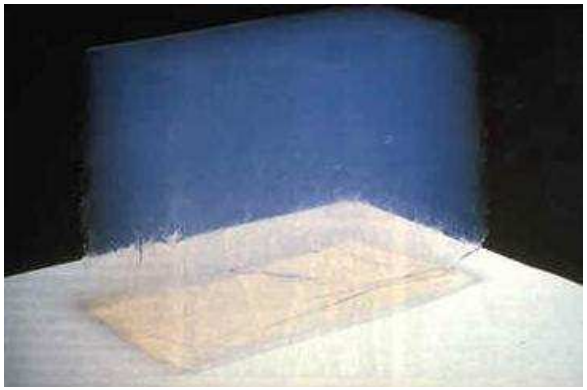
komůrkové struktury



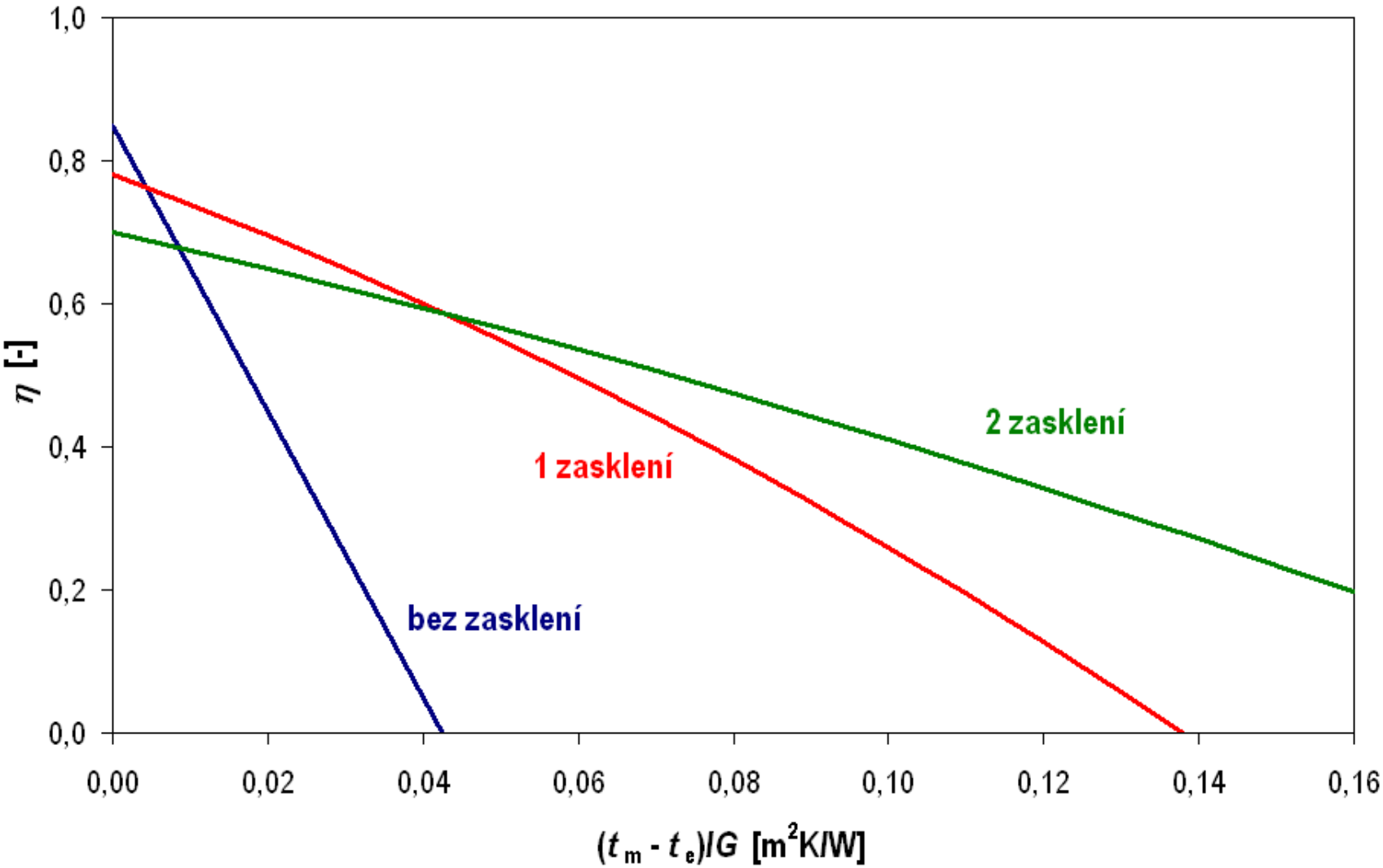
voštinové struktury



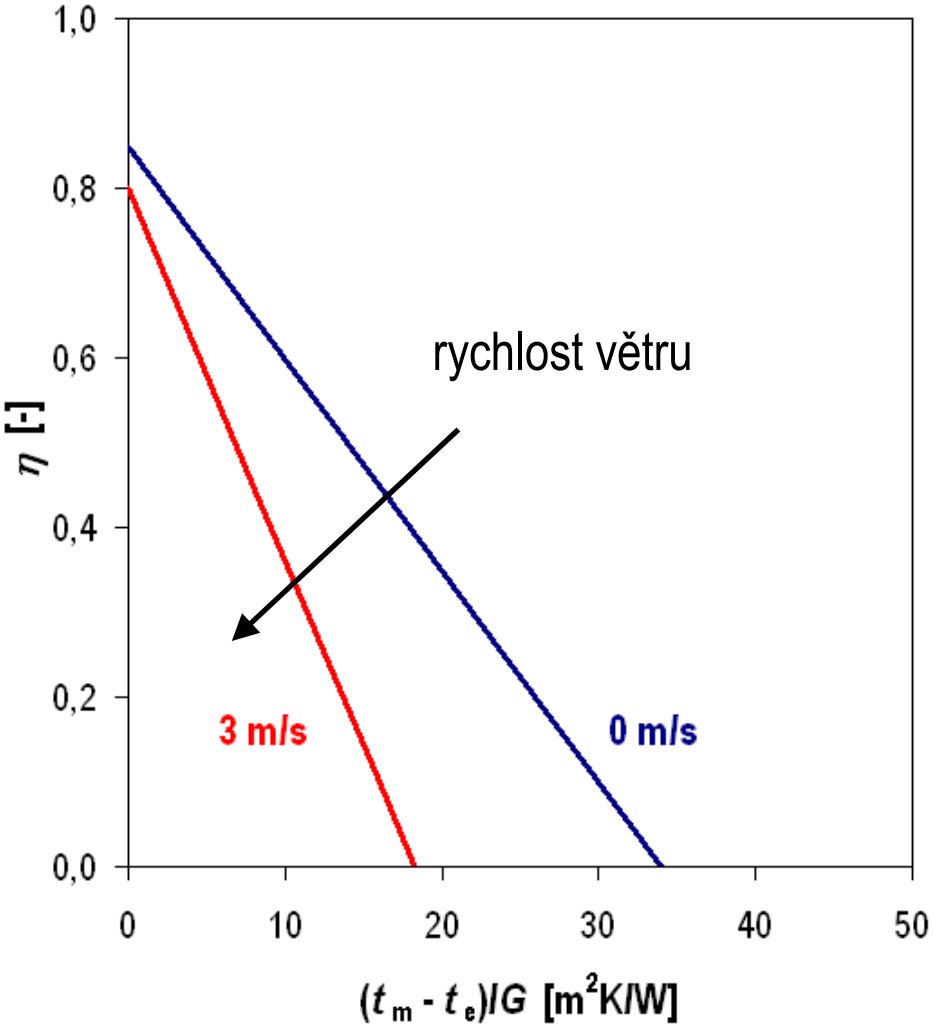
aerogel



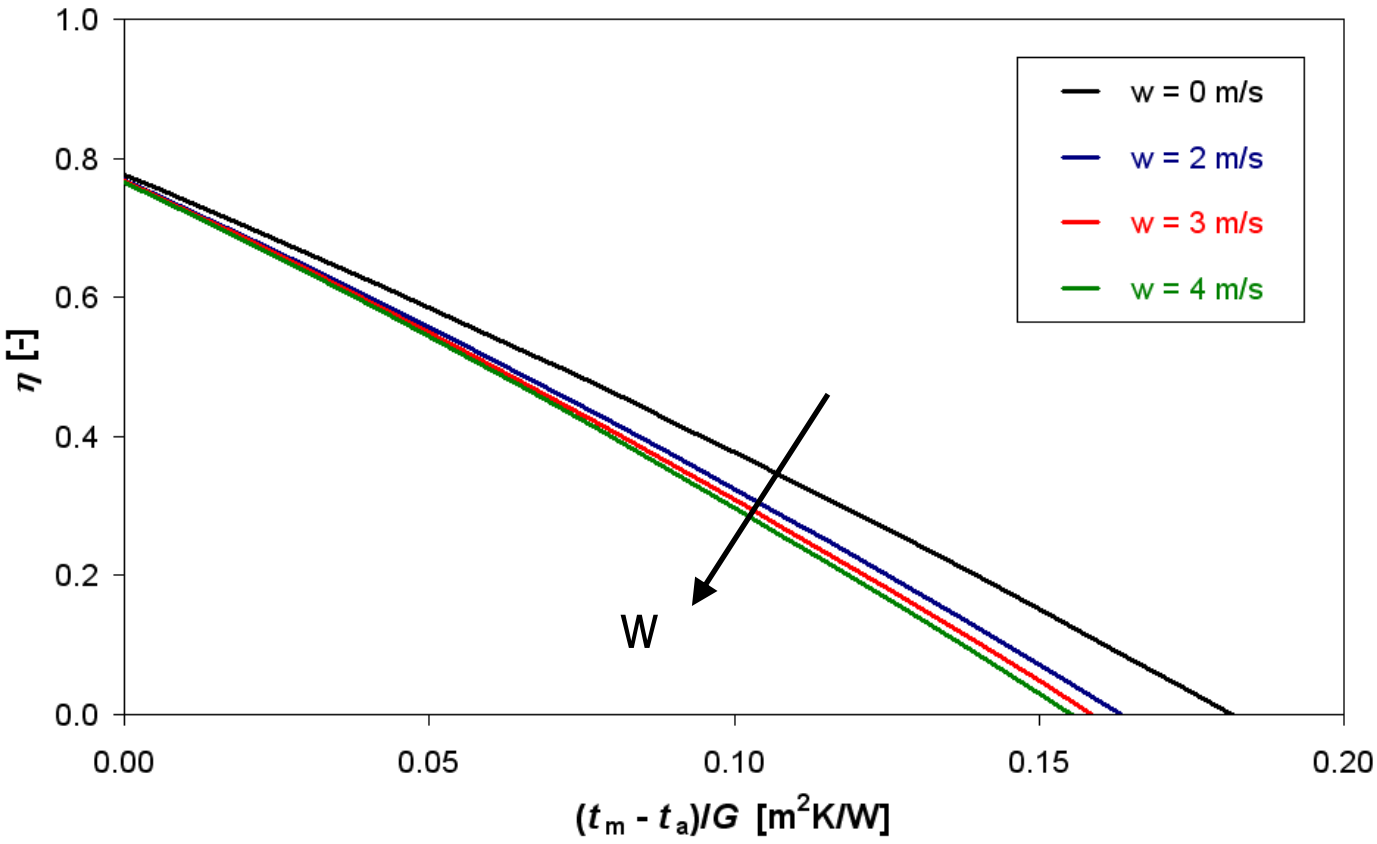
Tepelné ztráty x optická účinnost



Vliv větru na účinnost nezaskleného kol.

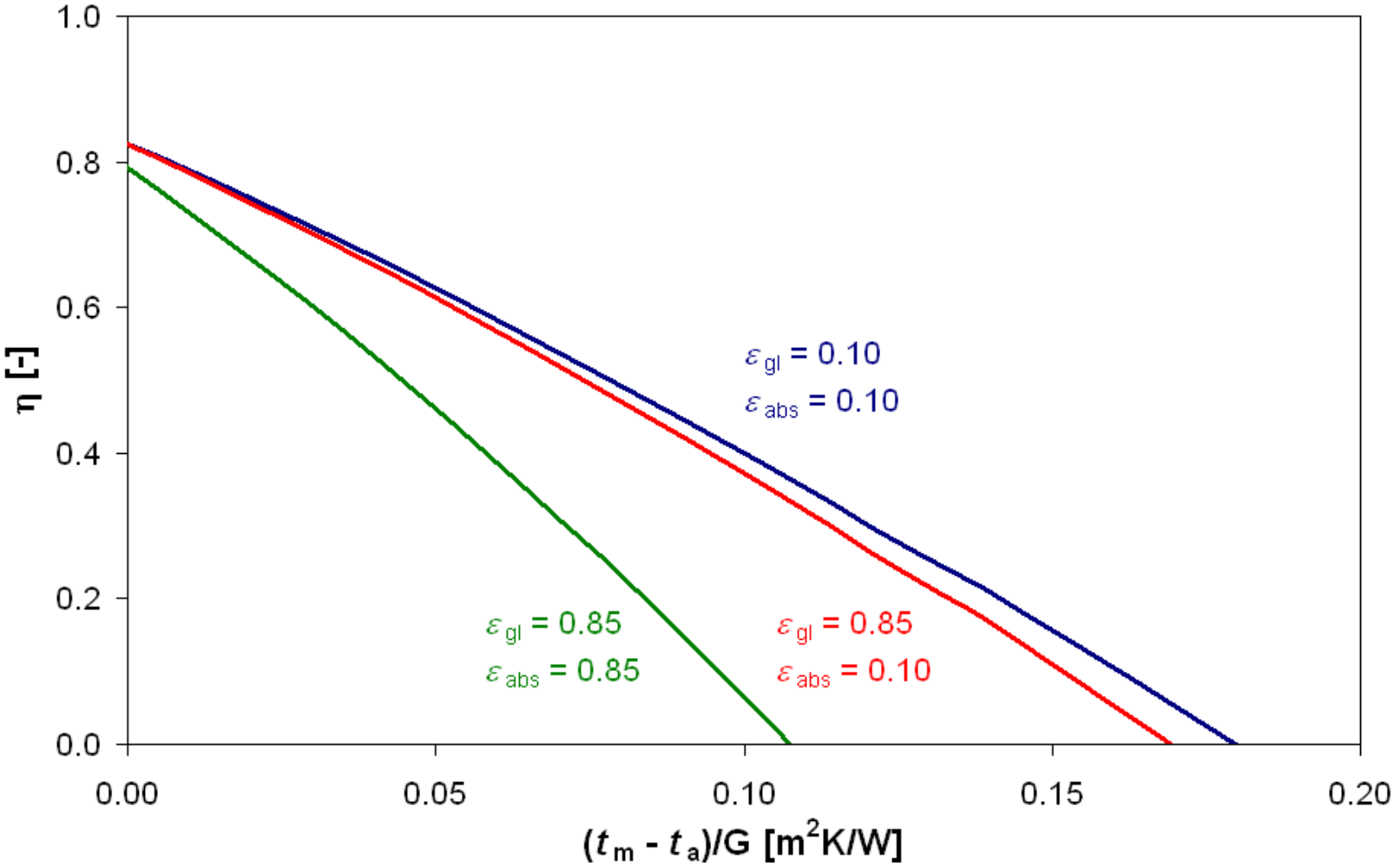


Vliv větru na účinnost zaskleného kol.

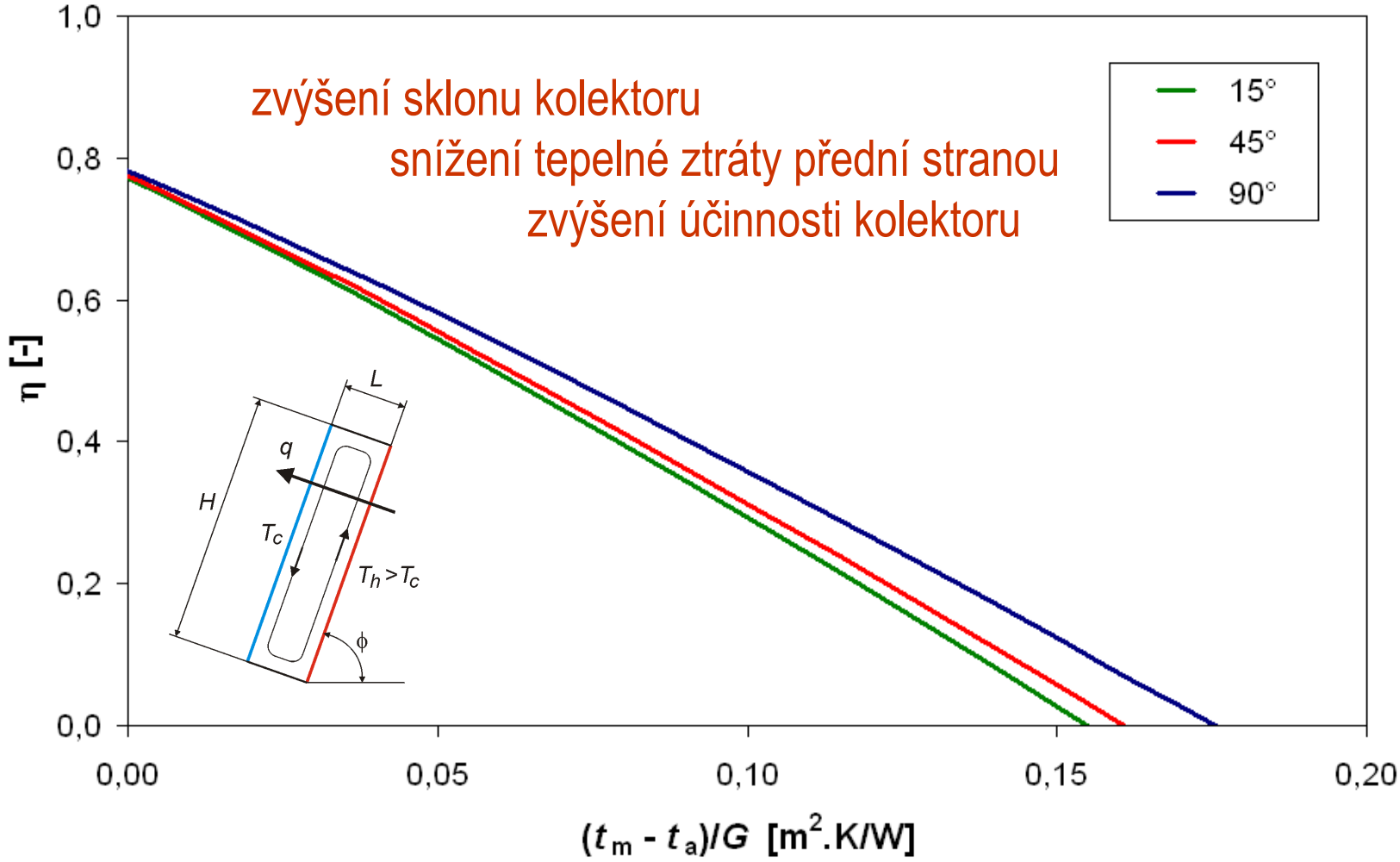


podmínka zkoušení kolektorů v EN 12975-2: rychlost okolního vzduchu během zkoušek ***w* > 3 m/s**: použití uměle vyvolaného proudění vzduchu

Sálání mezi absorbérem a zasklením



Volná konvekce x sklon mezery (kolektoru)



Snížení tlaku ve vzduchové mezeře

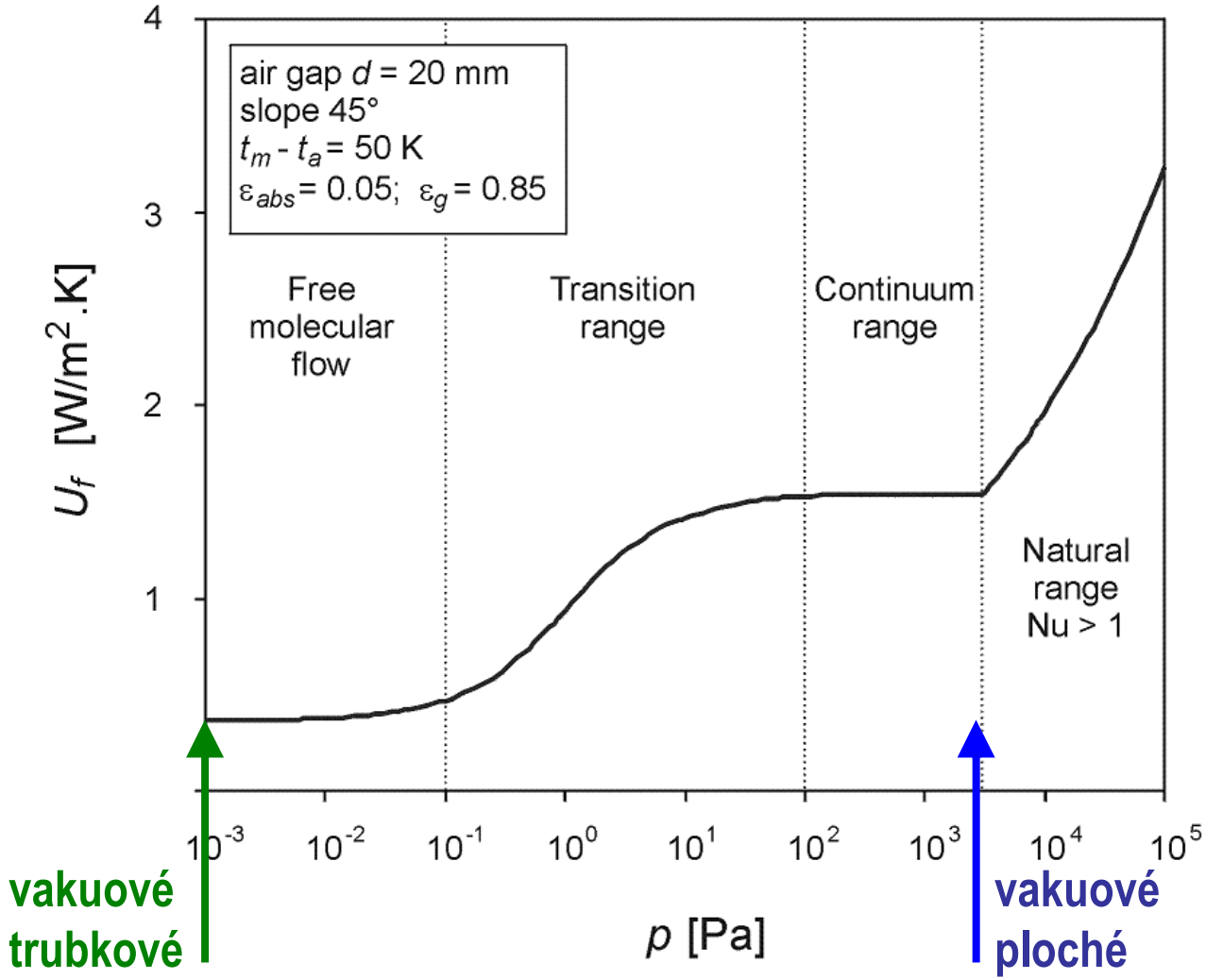
hustota

- snížení hustoty plynu (vzduchu) s tlakem
- snížení volné konvekce, Nusseltovo číslo klesá k **1**
  nízké vakuum, řádově tlak v kPa, čisté vedení vzduchovou vrstvou

tepelná vodivost

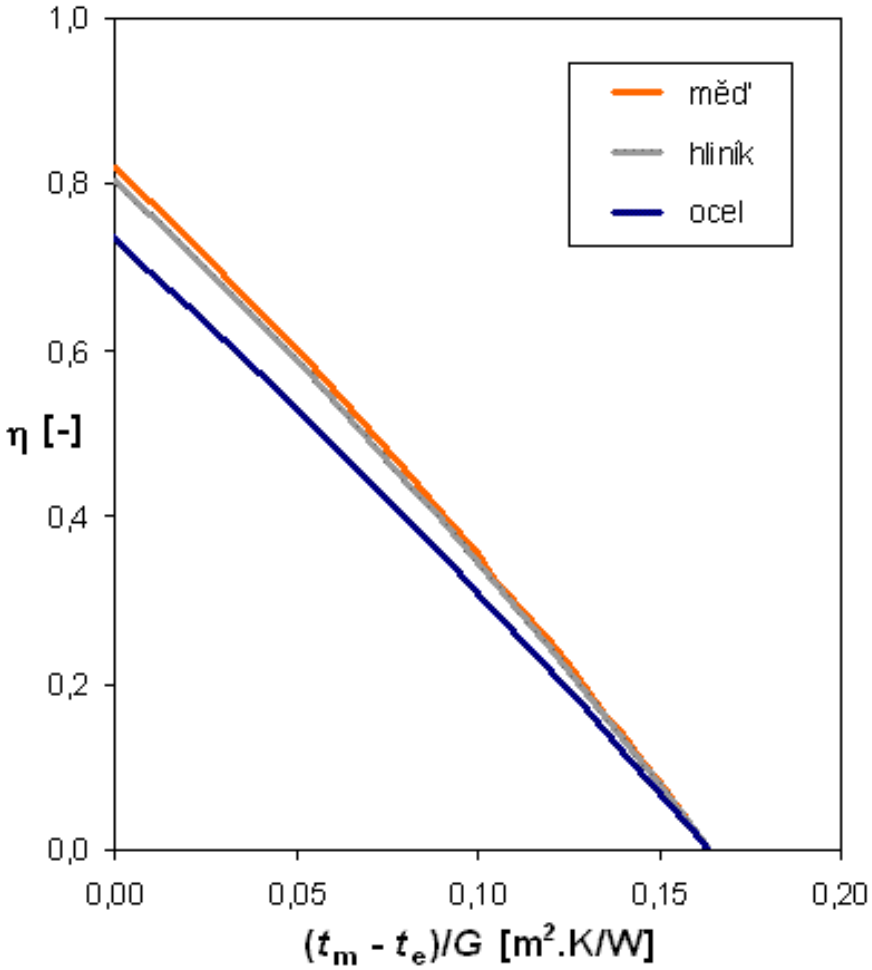
- klesá množství molekul přenášejících energii
- sníží se frekvence srážek molekul
- zvýší se střední volná dráha molekul l_m
- pokud l_m je řádově podobného rozměru jako vrstva vzduchu ...
  začne klesat tepelná vodivost

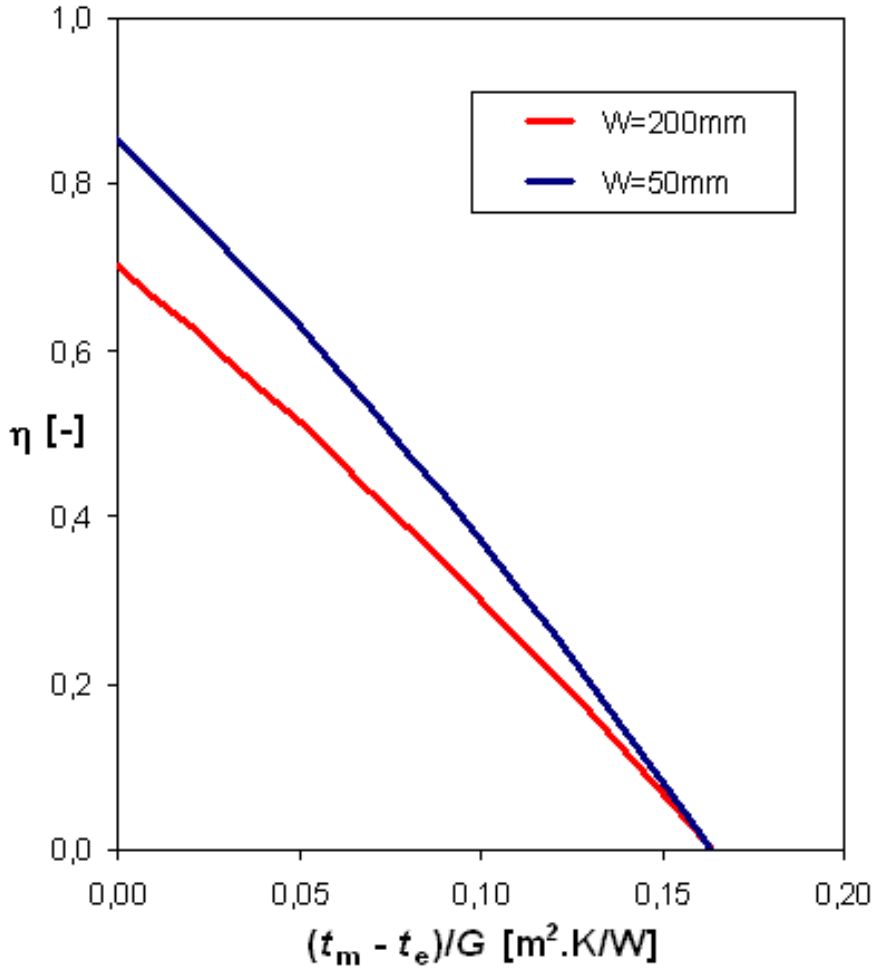
Součinitel prostupu tepla *U* přední stranou



Vliv materiálu a geometrie absorbéru

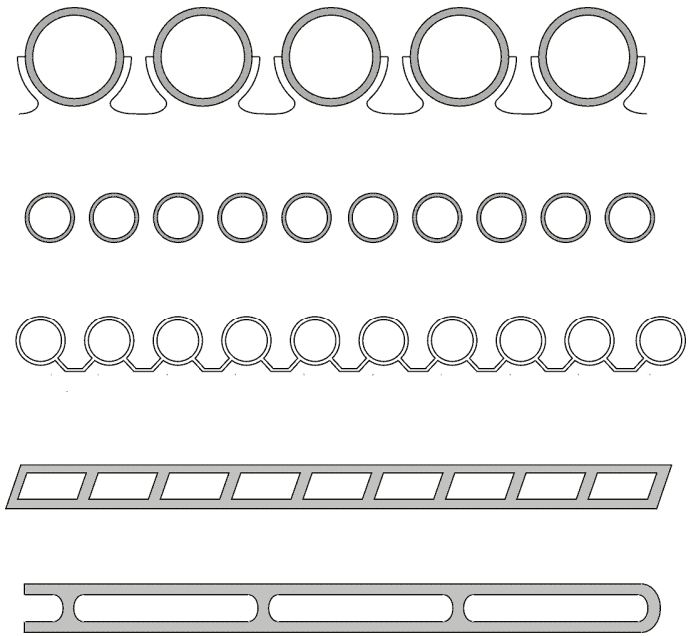
plochý kolektor



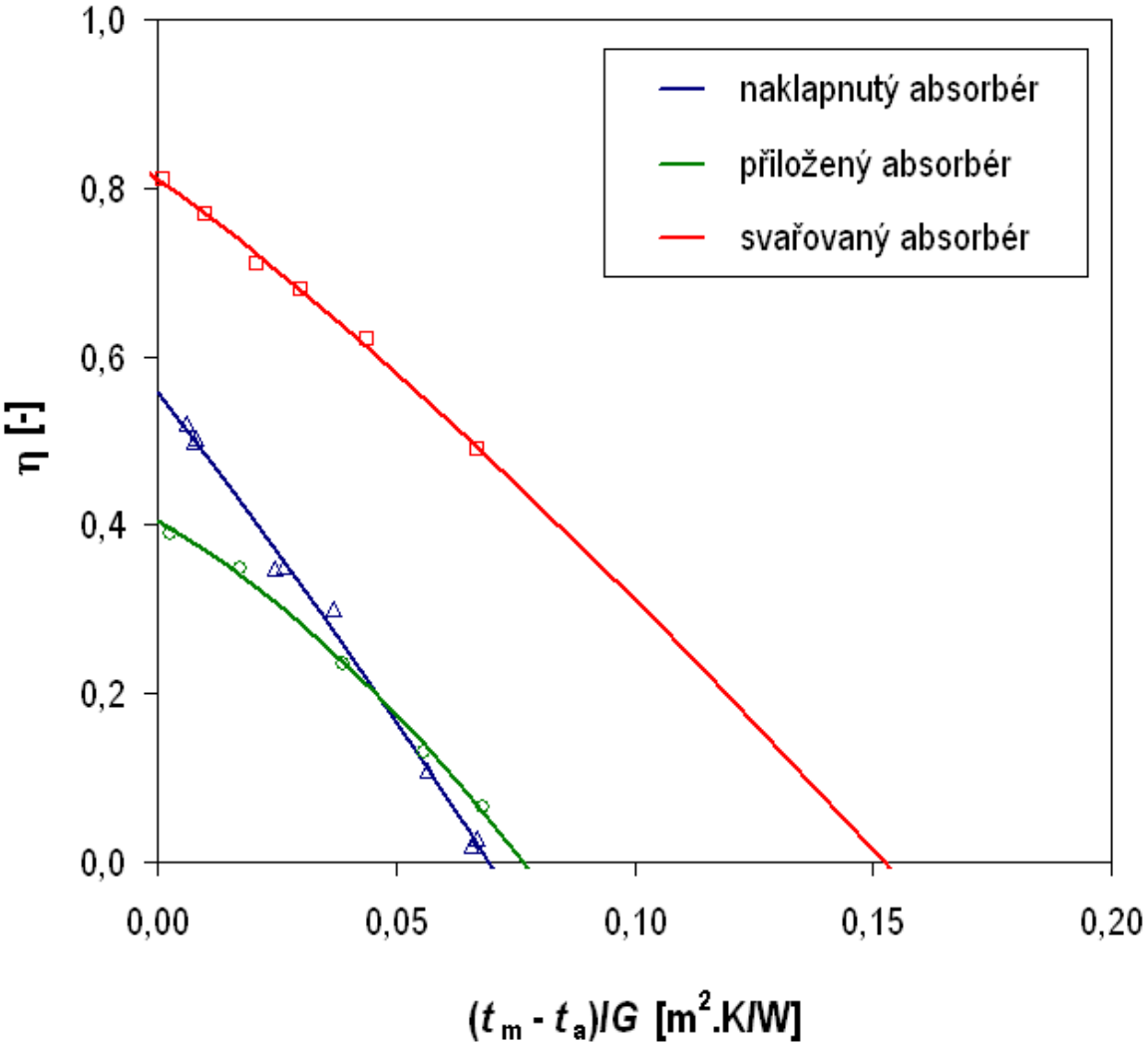


Plastové absorbéry

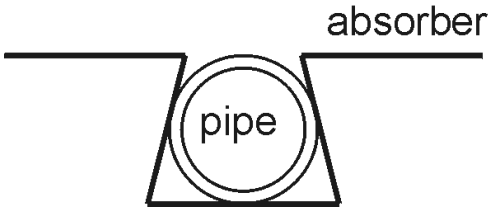
- tepelná vodivost plastů: **0.2 W/m.K** (měd: 390 W/m.K)
- pro zajištění dostatečného přenosu tepla:
  - **malé rozteče trubek**
  - **silné stěny**



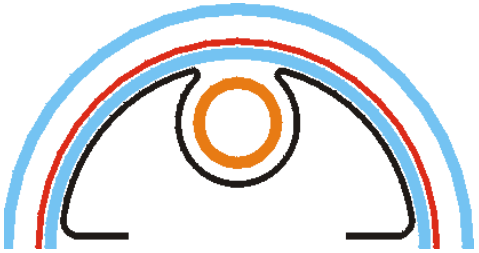
Vliv spoje na účinnost



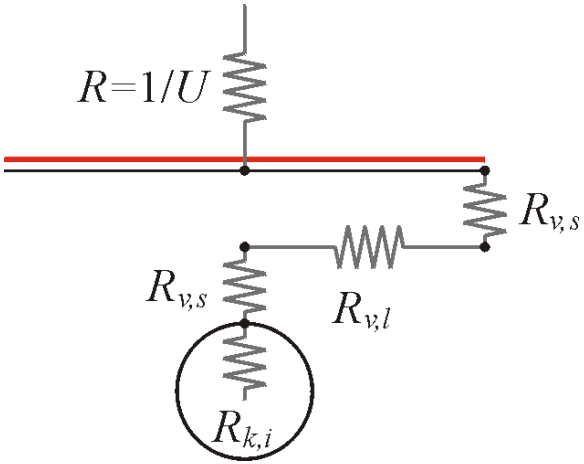
naklapnutý



Vliv kontaktní lamely na účinnost (PP)



trubkový kolektor

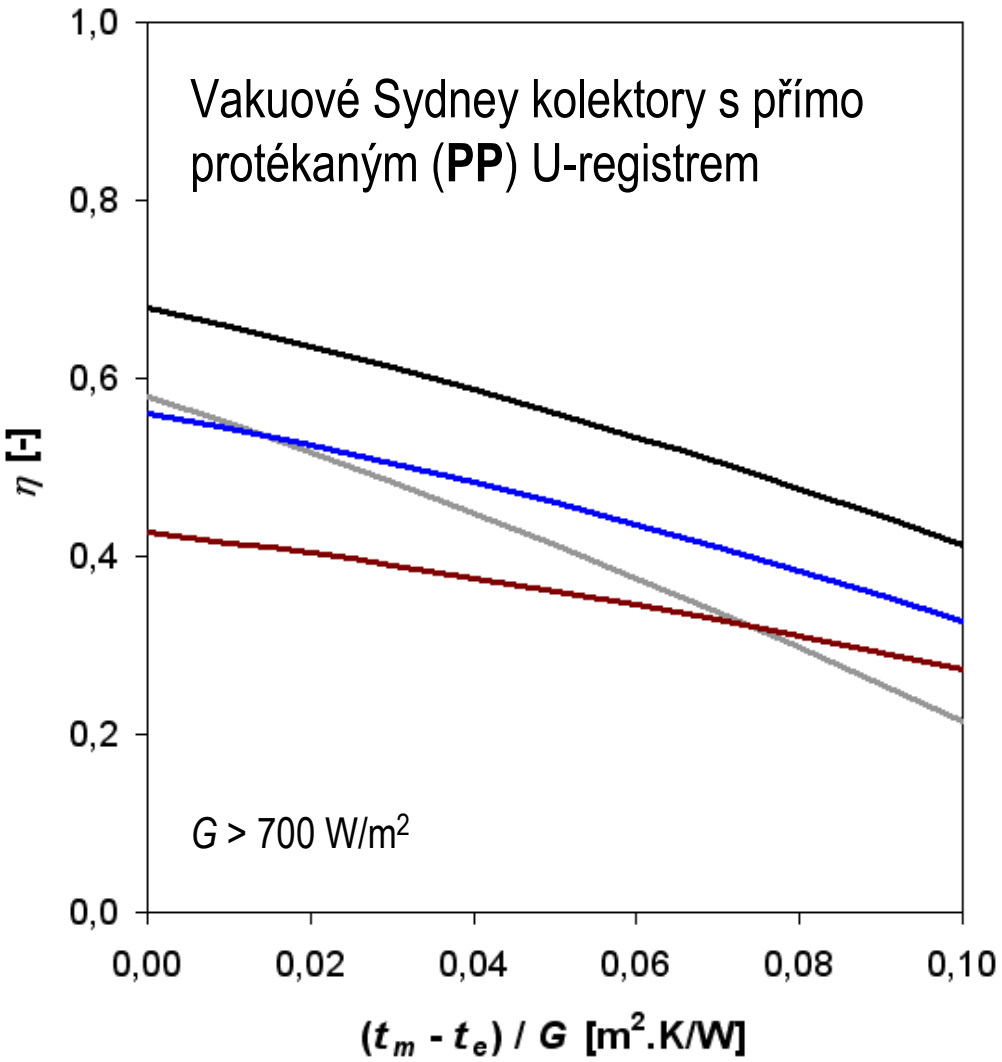


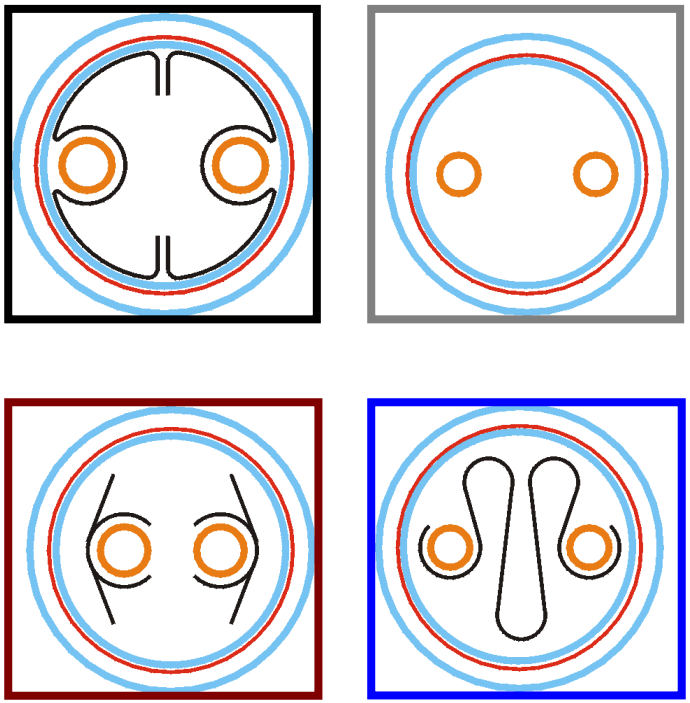
dáno Sydney trubkou

$$\eta = F' \cdot \left[\tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{(t_m - t_e)}{G} \right]$$

<u>kontaktní lamela:</u> krátká, vodivá, silná, s těsným kontaktem

Vliv kontaktní lamely na účinnost (PP)





kontaktní lamela je zásadním prvkem Sydney kolektoru

Zkoušení solárních kolektorů (podle EN)

ČSN EN 12975-1,2

Zkoušky výkonové

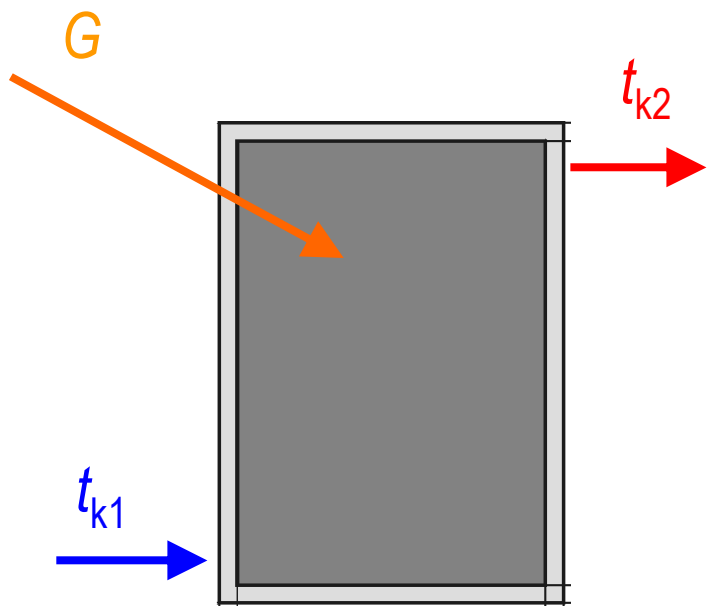
- tepelný výkon a účinnost kolektoru (určení η_0, a_1, a_2)
- určení modifikátoru úhlu dopadu (vliv úhlu dopadu na výkon kolektoru)
- určení účinné tepelné kapacity kolektoru (setrvačnost kolektoru)

- za **ustálených** podmínek ve venkovním / vnitřním prostředí
  - jasno, přímé sluneční záření > 700 W/m^2, **kolmý dopad**, w > 3 m/s

- za **dynamických** podmínek
  - proměnlivé počasí, více určených parametrů, výstupem je dynamický model kolektoru, včetně úhlové závislosti a vlivu setrvačnosti kolektoru

Účinnost solárního kolektoru (měření)

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_s} = \frac{\dot{M} \cdot c \cdot (t_{k1} - t_{k2})}{G \cdot A_k}$$



Q_k ... využitelný výkon kolektoru [W]

G ... sluneční ozáření [W/m^2]

A_k ... referenční plocha kolektoru [m^2]

M ... hmotnostní průtok [kg/s]

c ... měrná tepelná kapacita teplonosné látky [J/(kg.K)]

t_{k1} ... teplota teplonosné látky na vstupu do kolektoru [°C]

t_{k2} ... teplota teplonosné látky na výstupu z kolektoru [°C]

Účinnost solárního kolektoru (měření)

regresní parabola proložená naměřenými hodnotami $y = a + bx + cx^2$

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \boxed{\frac{t_m - t_e}{G}} - a_2 \cdot G \cdot \boxed{\left(\frac{t_m - t_e}{G}\right)}^2$$

η_0 ... „optická“ účinnost [-], obecně $\eta_0 = F'\tau\alpha$

a_1 ... součinitel tepelné ztráty (lineární) [W/(m^2.K)]

a_2 ... součinitel tepelné ztráty (kvadratický) [W/(m^2.K^2)]

} $a_1 + a_2(t_m - t_e) = F'U$

hodnoty η_0, a_1, a_2 udává výrobce, dodavatel kolektoru, případně zkušebna

Zkoušení solárních kolektorů (podle EN)

ČSN EN 12975-1,2

Zkoušky spolehlivosti

- vnitřní přetlak
- odolnost proti vysokým te
- vystavení vnějším vlivům
- vnější tepelný ráz
- vnitřní tepelný ráz
- průnik deště (zasklené)
- mechanické zatížení
- odolnost proti nárazu

- vyhotovení protokolu o zkoušce (**!**)

Solar Keymark

Certifikační značka kvality

- obecně pro výrobky pro solární tepelné soustavy
- dobrovolná **certifikace** třetí stranou, komplexní shoda s danou EN
- nejde o CE značku ! (povinná, dokument pro evropský trh, shoda s evropskými směrnicemi a normami), u běžných kolektorů nelze získat
- zdokumentovaná inspekce výroby (ISO 9000)
- inspektor vybírá jakýkoli kolektor ze skladu
- kontinuální shoda (stálý dohled - revize výrobku v časových intervalech)
- celkem 28 laboratoří zmocněných pro udělování značky
- informace: **kolektor prošel VŠEMI zkouškami podle EN 12975-2**

Účinnost solárního kolektoru

podle EN 12975-2

stanovena pro:

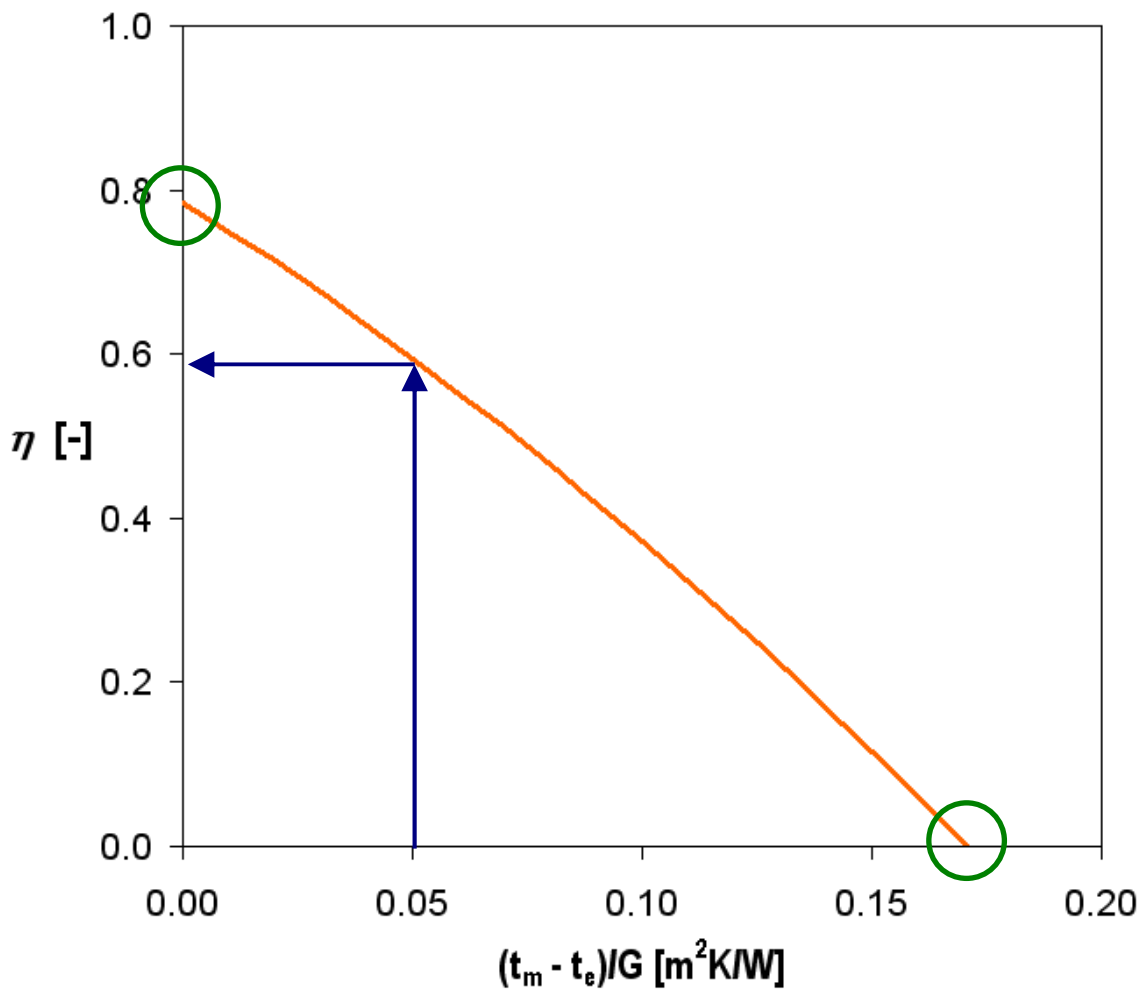
G > 700 W/m^2

w > 3 m/s

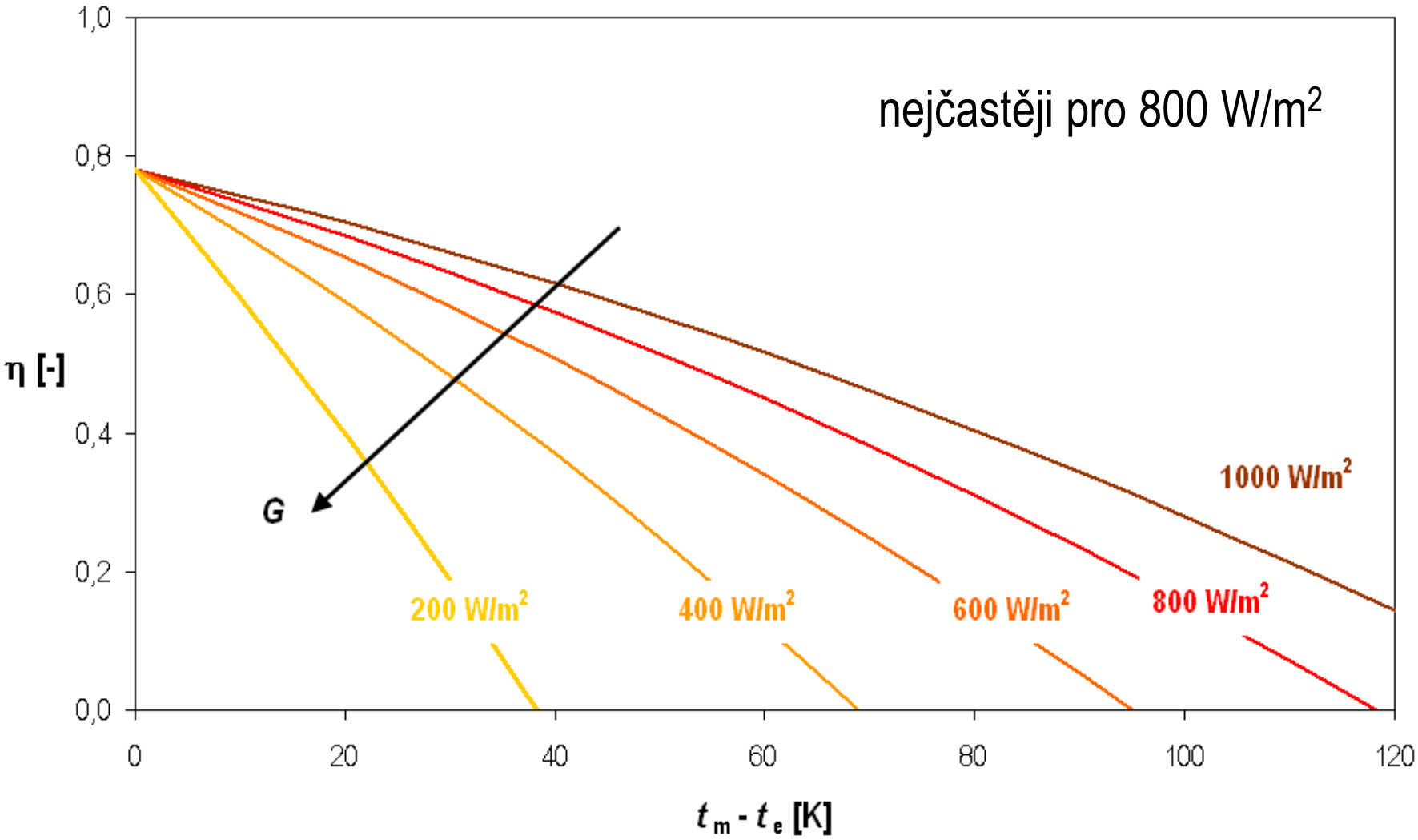
η_0

$[(t_m - t_e)/G]_{\eta=0}$

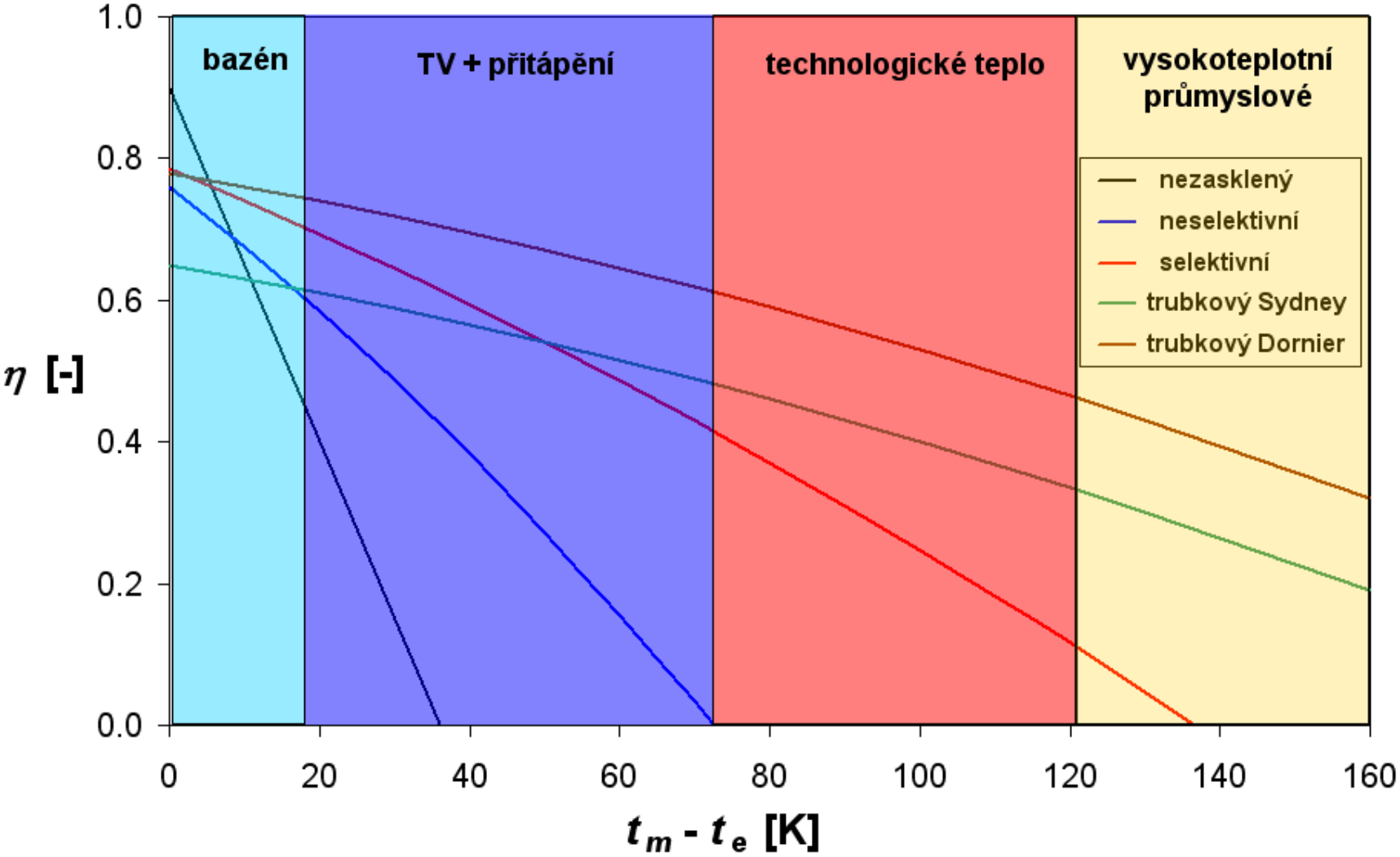
$\eta_{0.05}$



Křivka účinnosti = f (t_m – t_e)



Solární kolektory - aplikace



Tloušťka izolace kolektoru

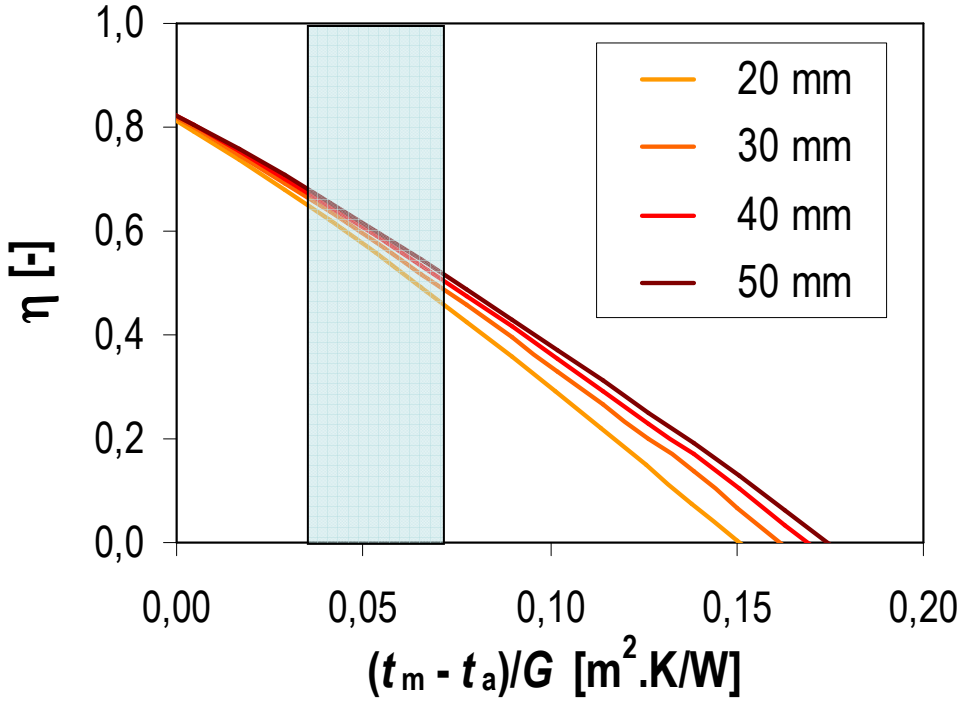
zasklení – propustnost 92 %

selektivní povrch – pohltivost 95 %

– emisivita 5 %

celoměděný absorbér

běžná konstrukce kolektoru



zvolit 20 nebo 50 mm ???

příprava teplé vody: 5 m^2; 200 l/den 10 až 55 °C; zásobník 300 l; t_{max} = 85 °C

20 mm: solární podíl ***f* = 56 %** měrné využitelné zisky $q_{ss,u}$ **= 430 kWh/m^2**

50 mm: solární podíl ***f* = 58 %** měrné využitelné zisky $q_{ss,u}$ **= 440 kWh/m^2**

2 %

Emisivita absorbéru

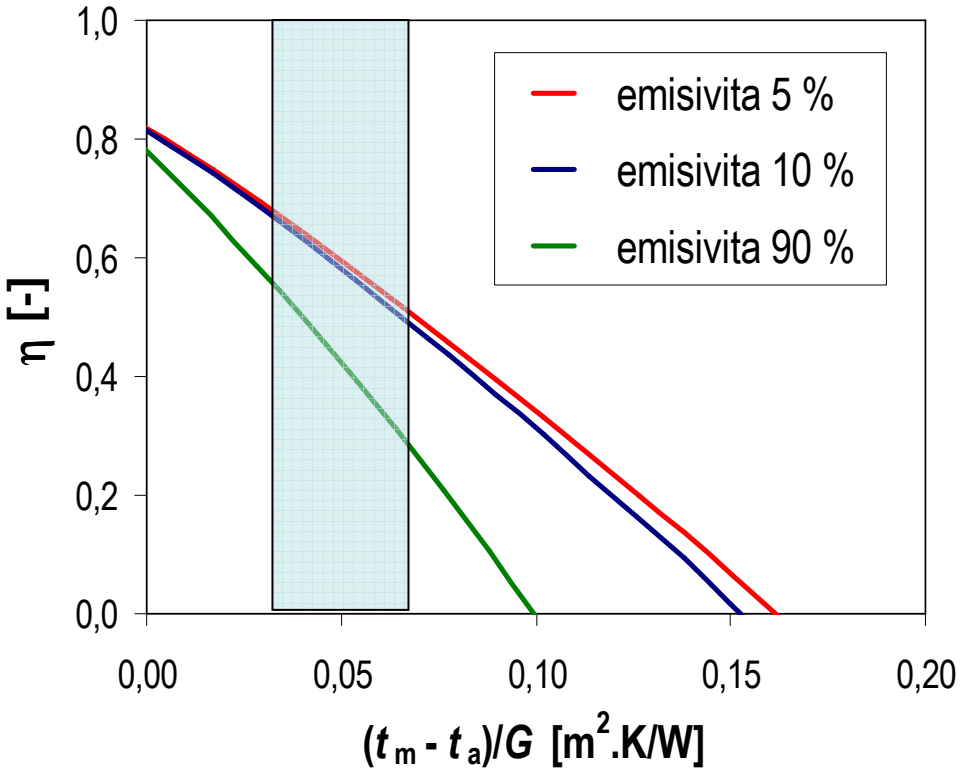
zasklení – propustnost 92 %

tepelná izolace – tloušťka 30 mm

celoměděný absorbér

běžná konstrukce kolektoru

vliv emisivity absorbéru ???



příprava teplé vody: 5 m^2; 200 l/den 10 až 55 °C; zásobník 300 l; t_{max} = 85 °C

5 %: solární podíl ***f* = 57 %** měrné využitelné zisky $q_{ss,u}$ **= 435 kWh/m^2**

< 1 %

10 %: solární podíl ***f* = 57 %** měrné využitelné zisky $q_{ss,u}$ **= 432 kWh/m^2**

90 %: solární podíl ***f* = 52 %** měrné využitelné zisky $q_{ss,u}$ **= 398 kWh/m^2** **-10 %**

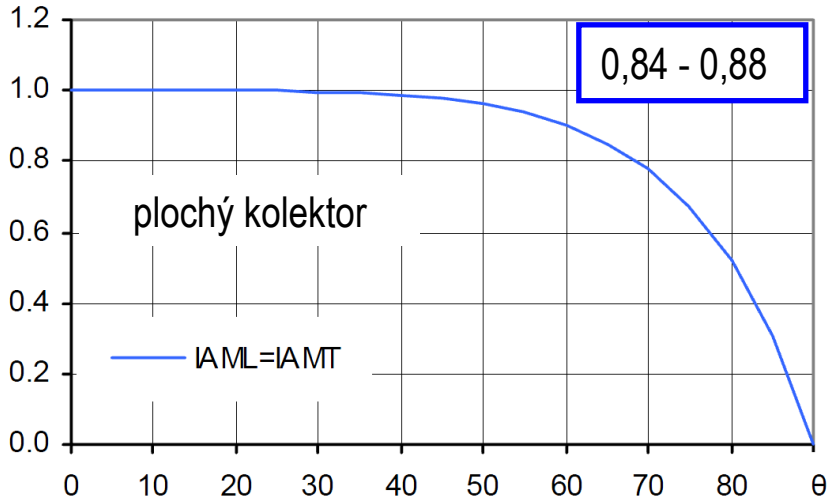
Modifikátor úhlu dopadu (K_θ, IAM)

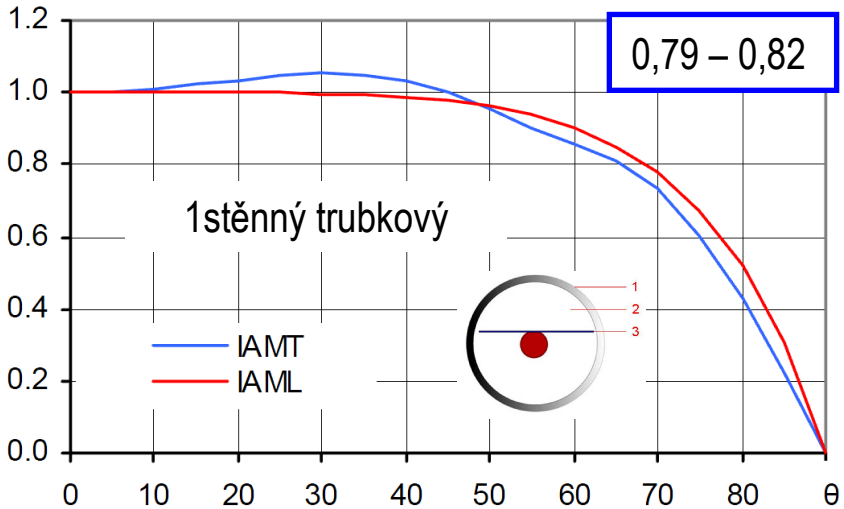
incidence angle modifier (IAM) – vliv geometrie slunečního záření na účinnost kolektoru (křivka účinnosti stanovena pro **KOLMÝ!** dopad)

$$IAM(\theta) = K_\theta = \frac{(\tau\alpha)_\theta}{(\tau\alpha)_n}$$

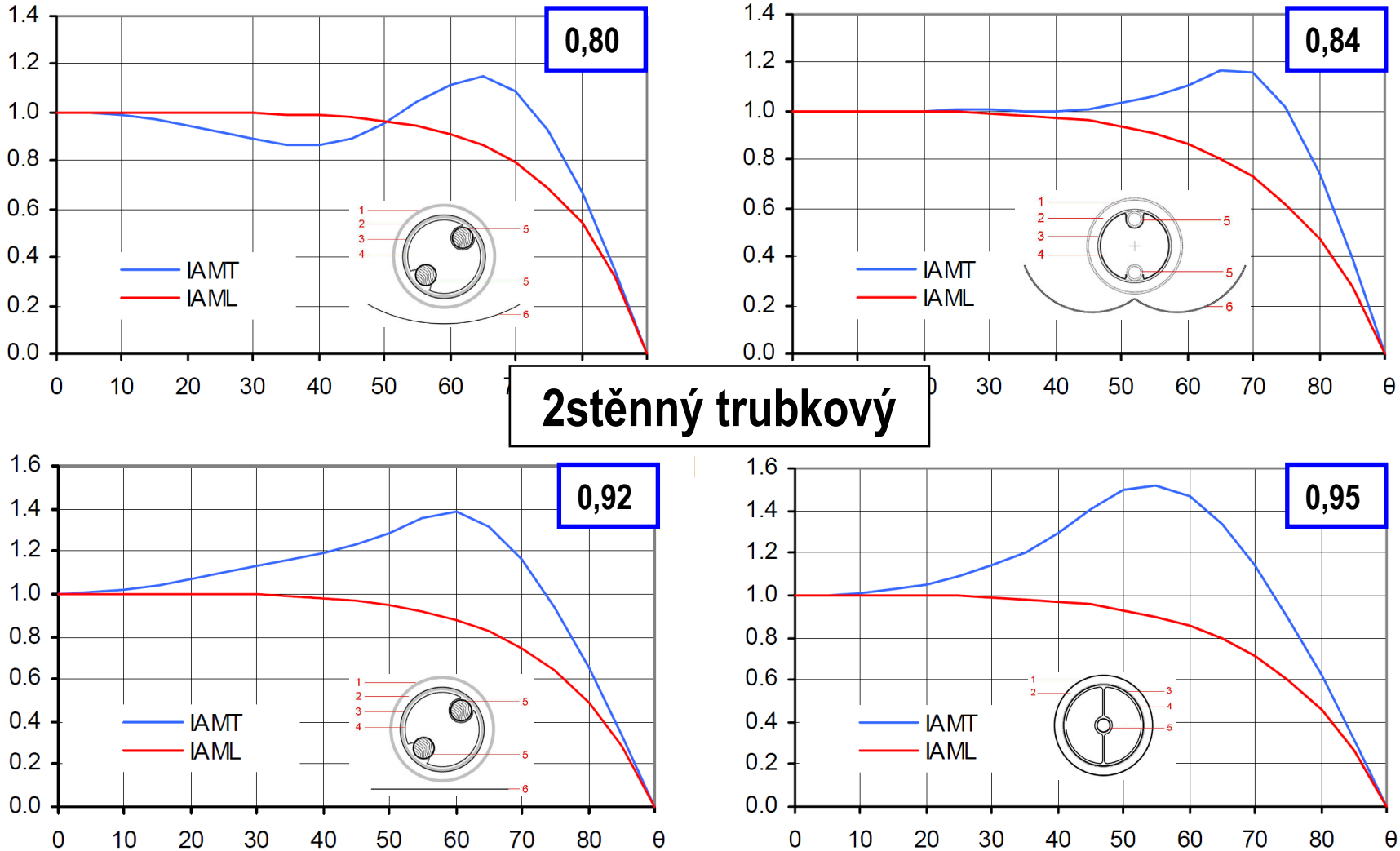
$$\dot{Q}_k = A_a F'[K_\theta (\tau\alpha)_n G_T - U(t_m - t_e)]$$

$$IAM(\theta) = K_\theta = K_{\theta,L} \cdot K_{\theta,T}$$





Modifikátor úhlu dopadu (K_θ, IAM)

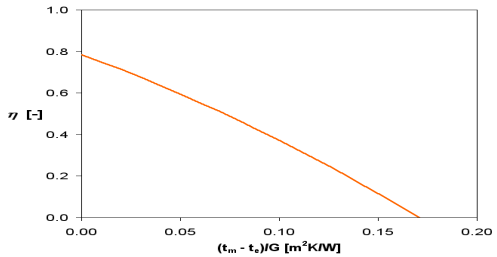


2stěnný trubkový

Reálná účinnost kolektoru

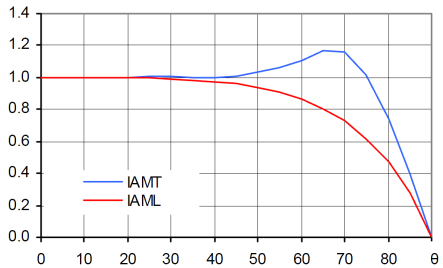
ze zkoušky tepelného výkonu podle EN 12975-2: křivka účinnosti

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2$$



ze zkoušky modifikátoru podle EN 12975-2: křivka modifikátoru

$$K_\theta = \frac{(\tau\alpha)_\theta}{(\tau\alpha)_n}$$



výsledná účinnost kolektoru (pro přímé záření)

$$\eta = K_\theta \cdot \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2$$

Reálná optická účinnost kolektoru

ploché kolektory:

střední modifikátor: K_θ = 0,84 – 0,88 η_0 = 0,75 – 0,82

$K_\theta . \eta_0$ = 0,63 – 0,70 (SPF: 0,64 – 0,67)

jednostěnné trubkové vakuové s plochým absorbérem:

střední modifikátor: K_θ = 0,79 – 0,82 η_0 = 0,73 – 0,79

$K_\theta . \eta_0$ = 0,58 – 0,65 (SPF: 0,58 – 0,65)

dvojstěnné trubkové vakuové s válcovým absorbérem (Sydney):

střední modifikátor: K_θ = 0,80 – 0,95 η_0 = 0,60 – 0,70

$K_\theta . \eta_0$ = 0,48 – 0,67 (SPF: 0,46 – 0,61)

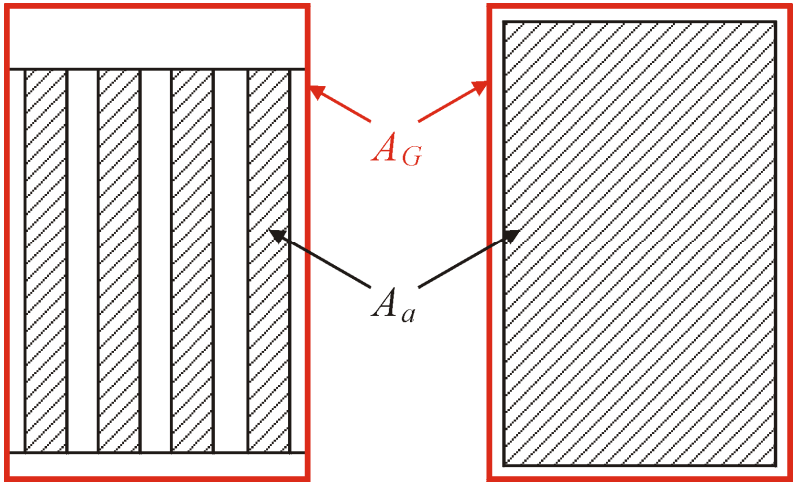
vztaženo k apertuře

SPF Rapperswill
www.solarenergy.ch

Vztažná plocha kolektorů A_k

Norma pro zkoušení kolektorů (*) vztahuje účinnost kolektoru k:

- ploše apertury A_a
- ploše absorbéru A_A
- ~~ploše obrysové (hrubé) A_G~~



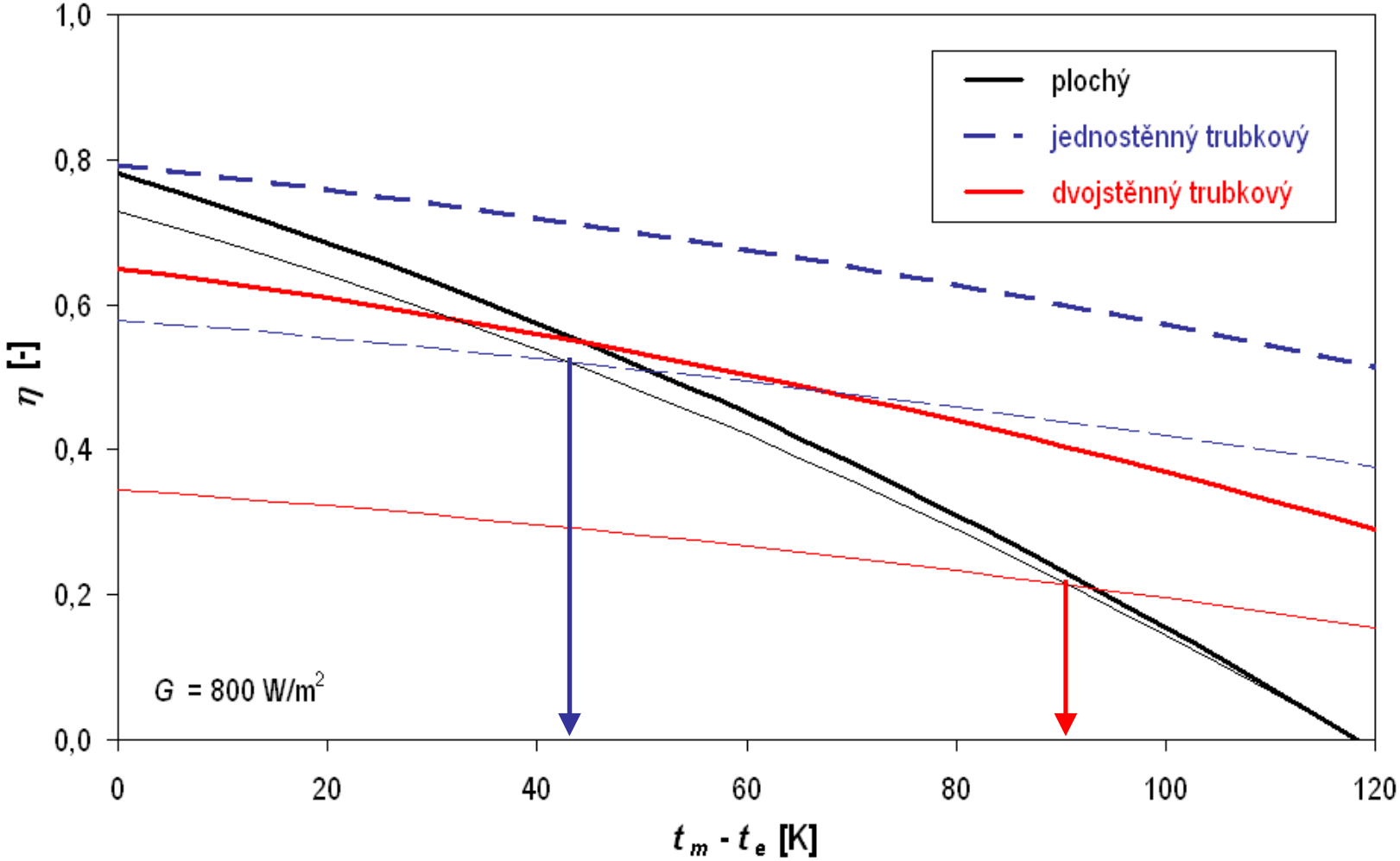
- vhodné: z hlediska porovnání vlastností kolektoru, konstrukce, provedení
- nevhodné: z hlediska rozhodování o potenciálu kolektoru pro danou aplikaci

pro porovnání kolektorů s různými účinnými plochami

(*) ČSN EN 12975-2:2006 Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody

Účinnost x vztažná plocha

změna křivky účinnosti: $\eta\,(A_a) \longrightarrow \eta\,(A_G)$



Solární kolektory - aplikace

- **nízkoteplotní (< 40 °C)**

  ohřev bazénové vody (nezasklené rohože, neselektivní kolektory)
  sušení plodin (vzduchové)

- **středněteplotní (< 90 °C)**

  příprava teplé vody + přitápění (ploché kolektory s jedním zasklením a selektivním absorbérem, vakuové trubkové kolektory)

- **vysokoteplotní (> 90 °C)**

  technologické teplo (vakuové kolektory, vícenásobná zasklení, koncentrační kolektory)

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.fs.cvut.cz

Zásobníky tepla pro solární soustavy

Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze

Akumulace pro solární tepelnou techniku

nepravidelná
dodávka tepla

nepravidelná
spotřeba tepla

- během dne
- během roku

AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK = SRDCE SOLÁRNÍ SOUSTAVY

vysoce účinný kolektor + neúčinný zásobník = neúčinná soustava

Kritéria systémů akumulace

- hustota akumulace (kapacita)
- velikost akumulátoru (prostorové nároky)
- účinnost (ztráty, využitelnost akumulované energie - exergie)
- cena
- životnost
- bezpečnost
- ekologie

Typy akumulace

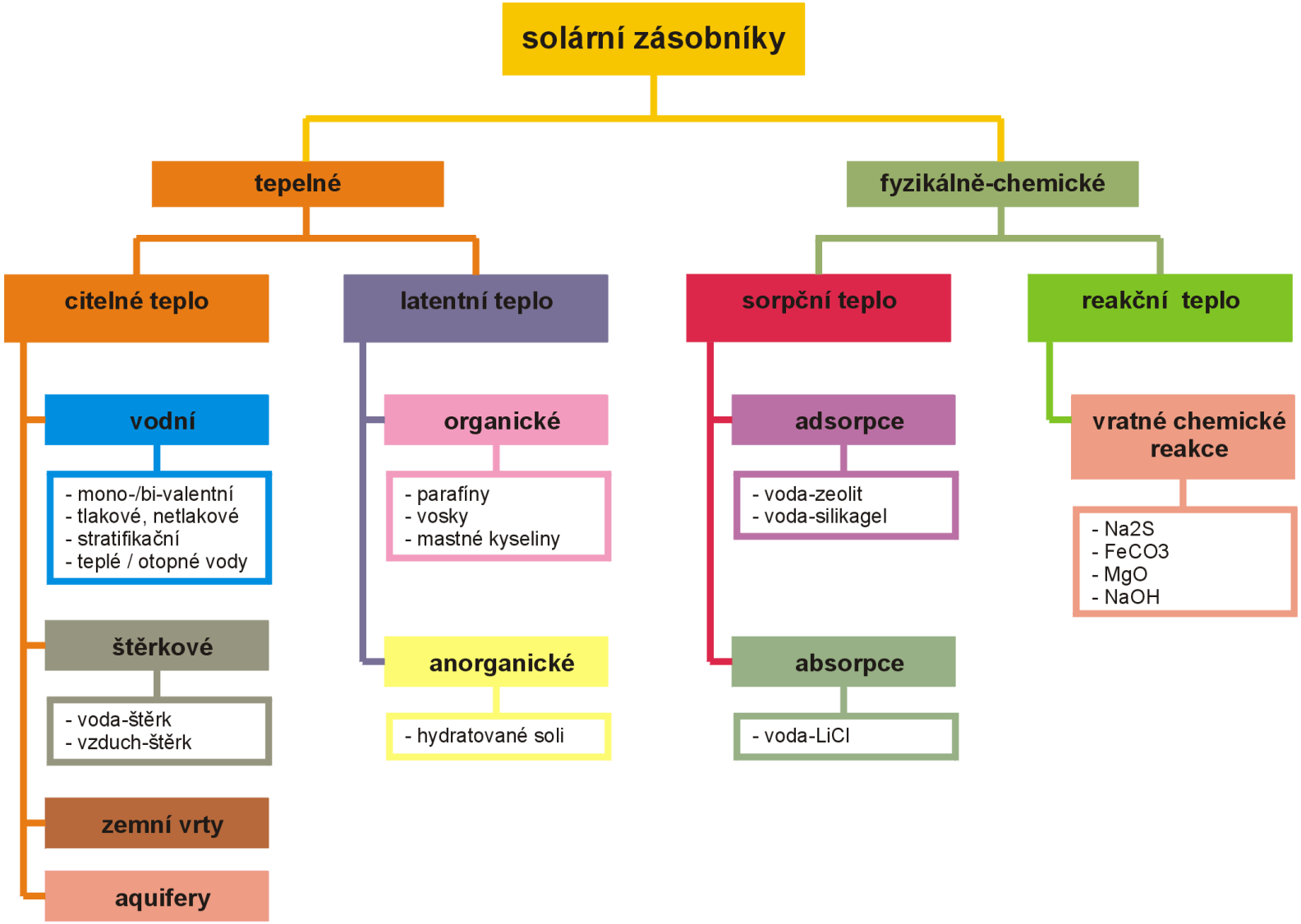
komerčně dostupné
tepelné ztráty

- **akumulace s využitím citelného tepla**
  - využití tepelné kapacity látek, úměrné rozdílu teplot
  - hustota akumulace: **100 až 300 MJ/m^3**
- **akumulace s využitím skupenského tepla**
  - využití změny skupenství tání-tuhnutí (při konst. teplotě) + tepelné kapacity
  - hustota akumulace: **200 až 500 MJ/m^3**

ve vývoji, bezztrátové
skladování tepla

- **akumulace s využitím sorpčního tepla**
  - akumulace vodní páry v tuhé (**ad**sorpce)
    nebo kapalné (**ab**sorpce) látce, uvolňování tepla při sorpci
  - hustota akumulace: **500 až 1000 MJ/m^3**
- **akumulace s využití chemických reakcí**
  - vratné chemické reakce doprovázené jímáním – uvolňováním tepla
  - hustota akumulace: **1000 až 3000 MJ/m^3**

Zásobníky tepla - rozdělení



Akumulace s využitím citelného tepla

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} V \cdot \rho \cdot c \cdot dt = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2)$$

Pracovní látka	Rozsah teplot Δt [°C]	Měrná tepelná kapacita c [Wh/kg.K]	Hustota ρ [kg/m^3]	Objemová tepelná kapacita ρ.c [Wh/m^3.K]
voda	**0-100**	**1,16**	**998**	**1160**
vzduch	-50-1000	0,28	1,1	0,31
olej	0-400	0,44-0,5	800-900	350-450
štěrk,písek	0-800	0,2	1800-2000	360-390
granit	0-801	0,21	2750	570
beton	0-500	0,24	1900-2300	460-560
cihla	0-1000	0,23	1400-1900	330-440
železo	0-800	0,13	7860	1000
štěrkovodní zásyp (37%vody)	0-100	0,37	2200	810

Voda jako akumulační látka

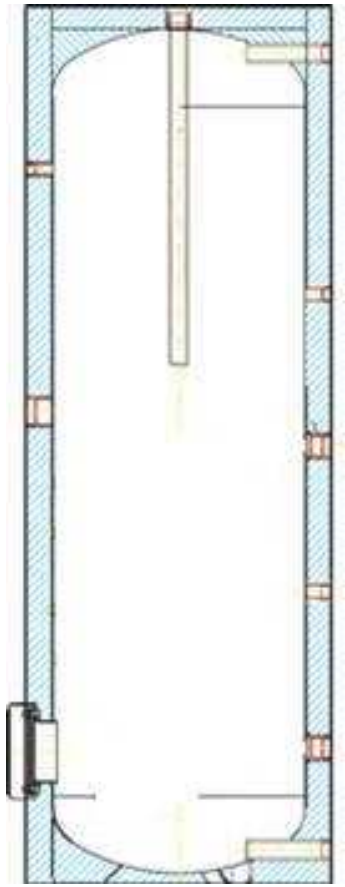
- dostupná
- levná
- netoxická
- nehořlavá
- výborné přenosové vlastnosti (vodivost)
- vysoká tepelná kapacita

- omezený rozsah použití (0 až 100 °C)
- malé povrchové napětí (úniky netěsnostmi)
- korozivita

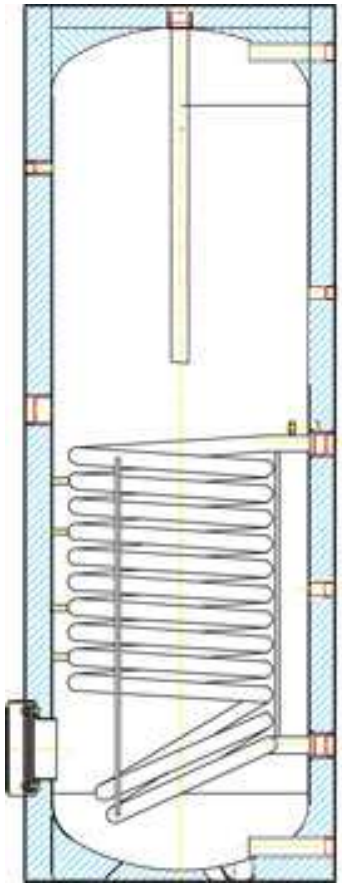
Typy zásobníků

- podle účelu použití
  - zásobníky teplé vody
  - zásobníky otopné vody, zásobníky tepla, kombinované
- podle teplosměnné plochy (počtu)
  - nádrže (0), monovalentní (1), bivalentní (2), trivalentní (3), ...
- podle tlaku
  - tlakové
  - netlakové (volná hladina)
- podle periody akumulace
  - krátkodobé (denní, několikadenní)
  - dlouhodobé (sezónní)

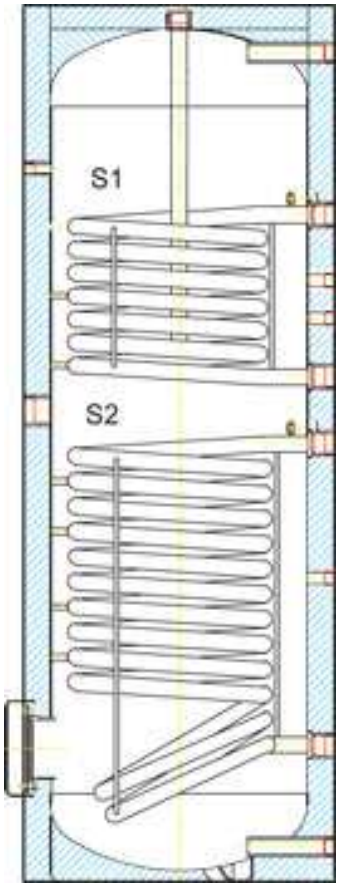
Vodní zásobníky TV – teplosměnné plochy



nádrže

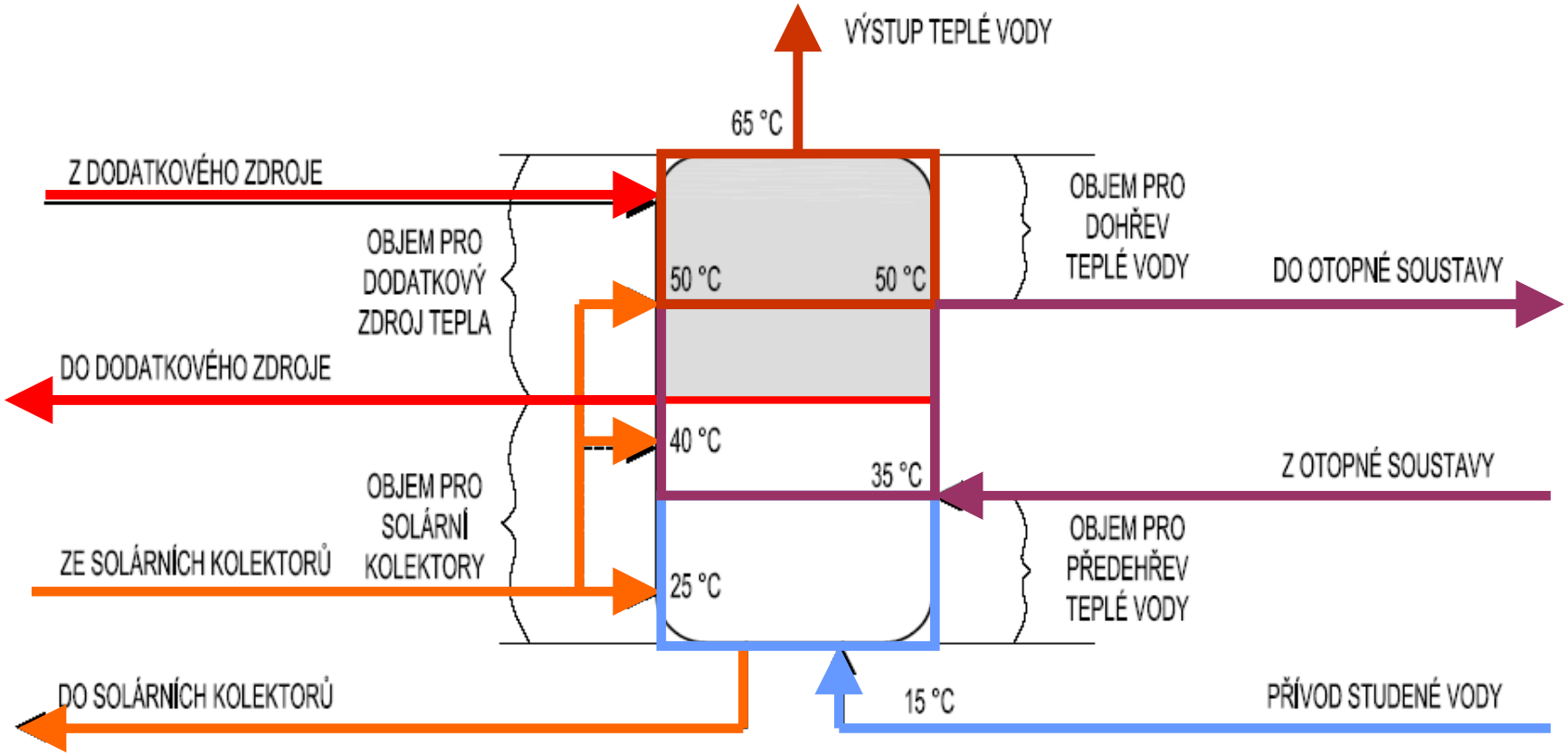


monovalentní



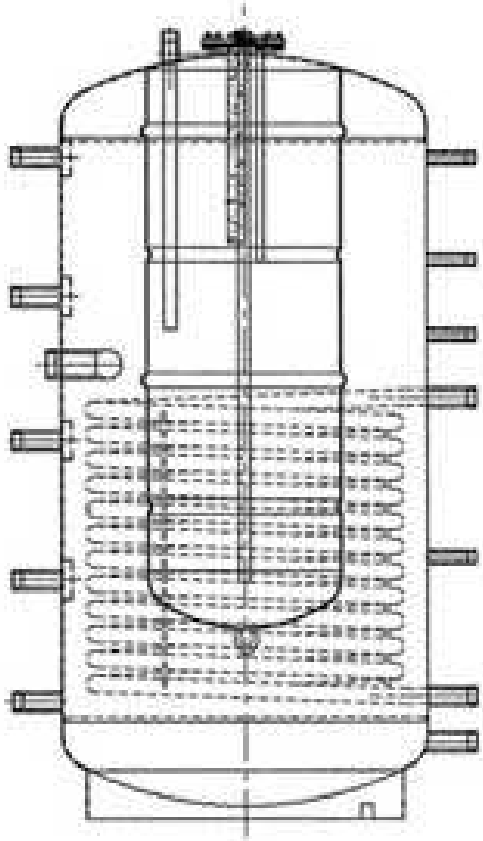
bivalentní

Vodní zásobníky kombinované (TV+VYT)

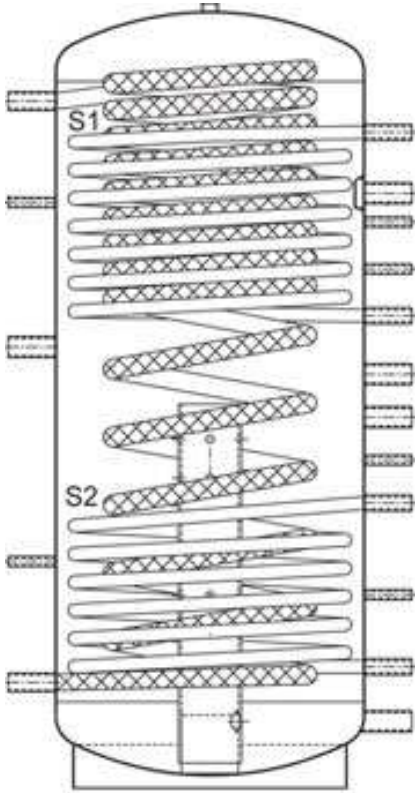


Vodní zásobníky – kombinované (TV+VYT)

s průtočným výměníkem



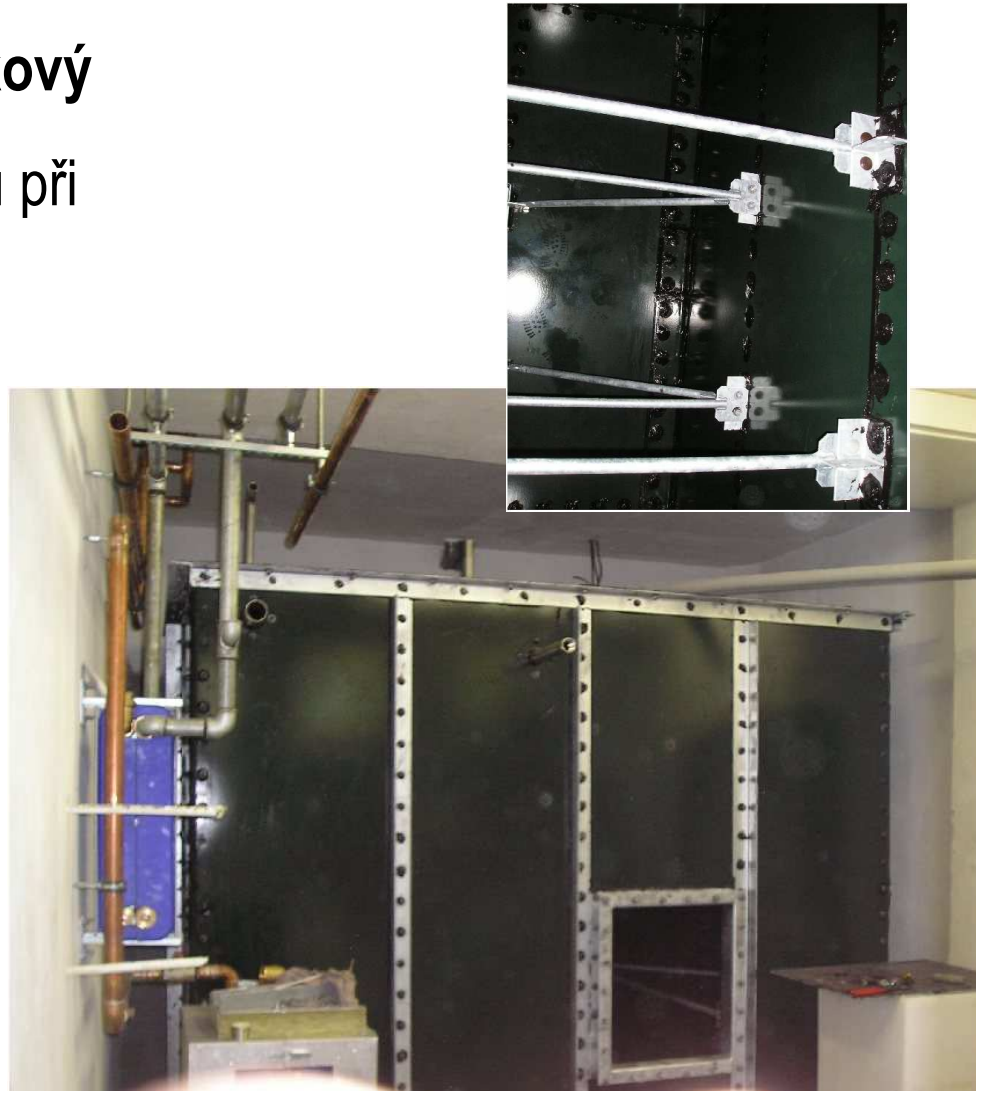
nádrž v nádrži



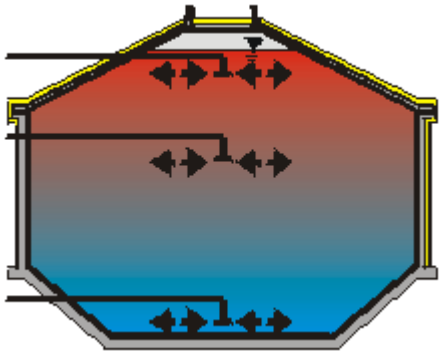
průtočný akumulační výměník

Zásobníky tepla

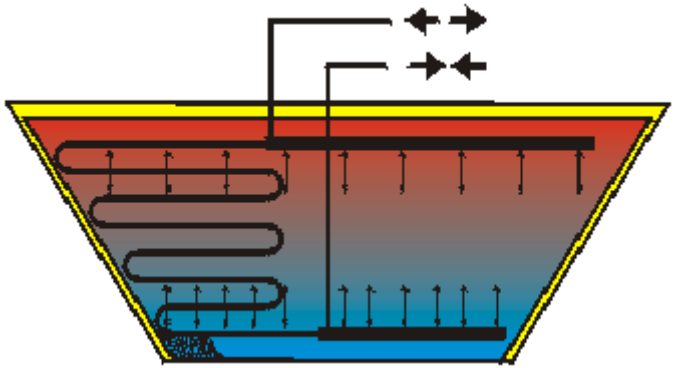
- **tlakový zásobník x netlakový**
  - umístění velkých objemů při rekonstrukcích



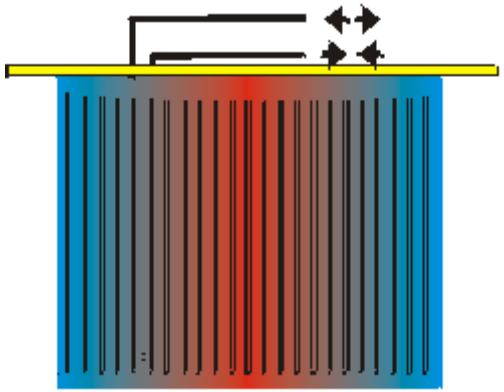
Sezónní zásobníky tepla



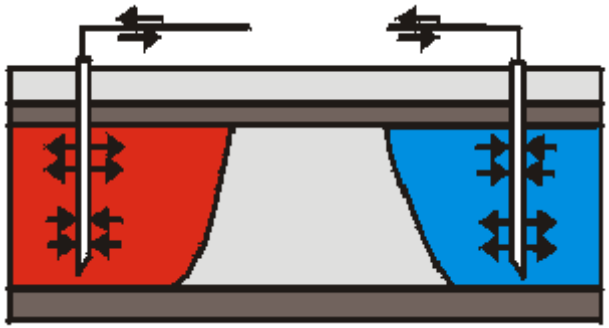
vodní zásobníky



štěrko-vodní zásobníky



zemní sondy



aquifery

Sezónní zásobníky tepla

vodní zásobníky

štěrko-vodní zásobníky

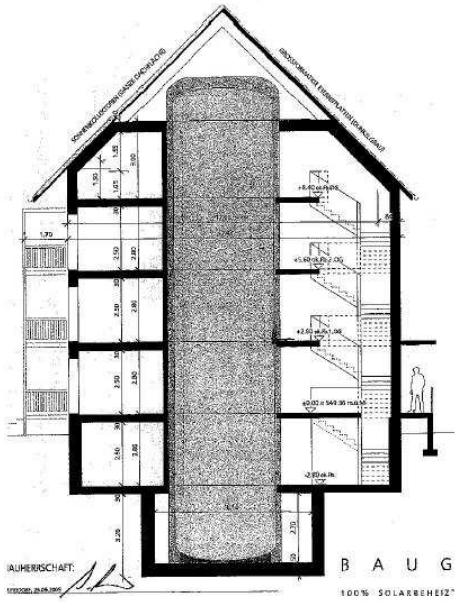
zásobníky

zemní sondy

aquifery

zemský masiv

Sezónní zásobníky tepla (vodní)



Oberburg-Burgdorf, CH

Slatiňany, ČR

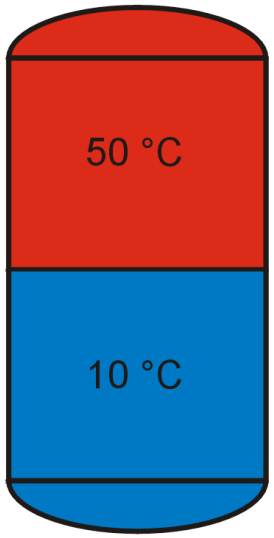
Friedrichshafen, DE

Exergie = využitelná energie (teplota)

využitelnost naakumulované energie ~ využitelné teplotě

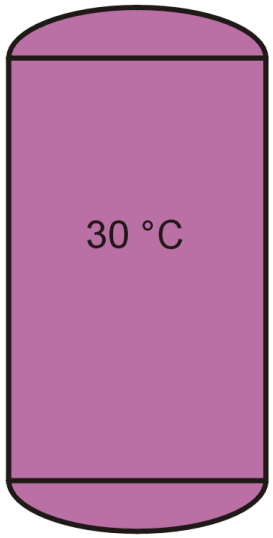
teplotně rozvrstvený

150 l při 50 °C



300 l

zcela promíchaný



150 l při 30 °C

300 l

teplotní vrstvení = vysoká účinnost, vysoké pokrytí

Faktory ovlivňující vrstvení

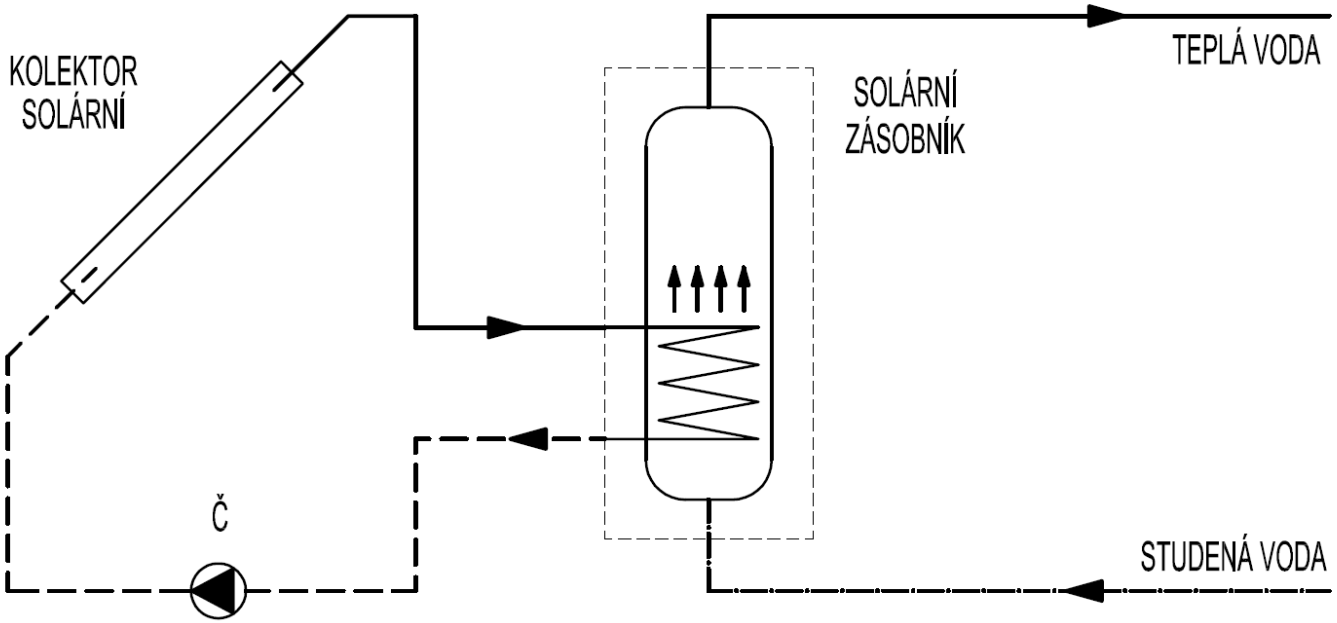
- štíhlost zásobníku: poměr výška / šířka
- přívod teplé vody
- odběr teplé vody
- přívod studené vody
- tepelné ztráty zásobníku
- vertikální vedení tepla ve stěně zásobníku
- vedení pracovní látkou zásobníku

Vliv přívodu a odběru tepla

nepřímé nabíjení – přímé vybíjení

maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody

výměník v dolní chladné části – účinnost kolektoru, využití objemu

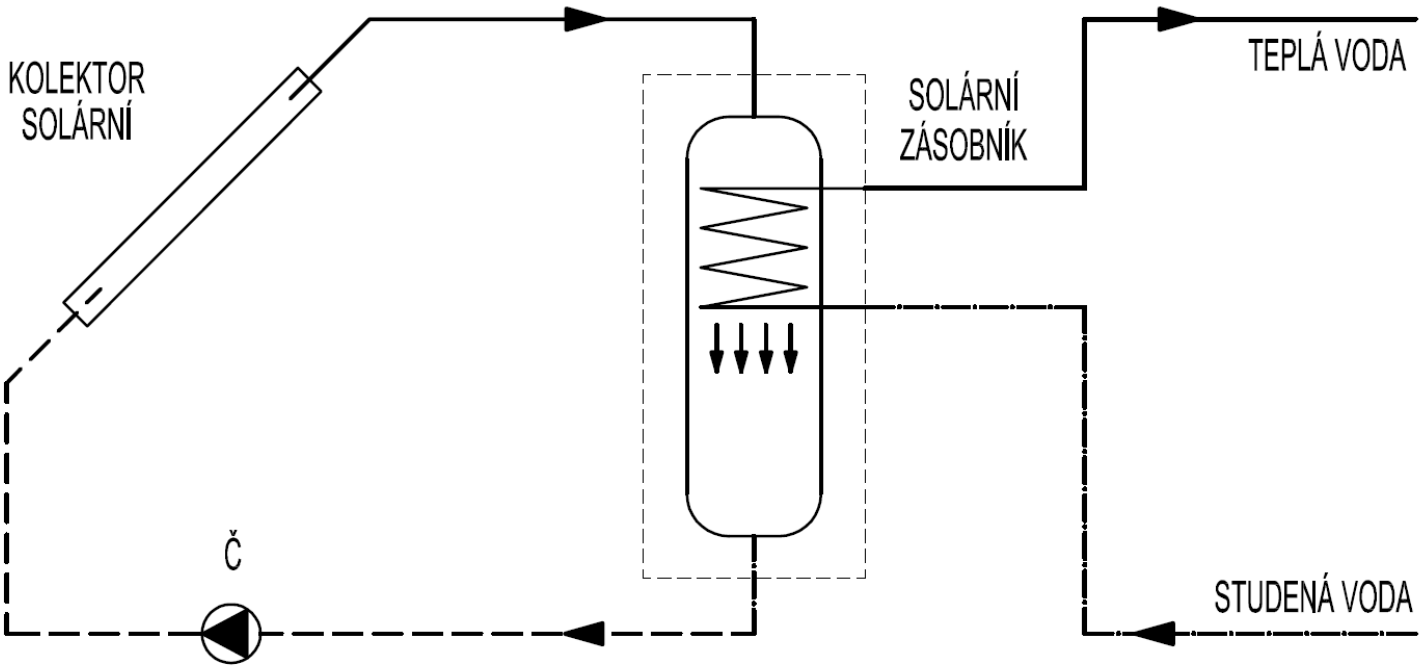


Vliv přívodu a odběru tepla

přímé nabíjení – nepřímé vybíjení

větší solární soustavy s externím výměníkem (kombinované soustavy)

nevhodné umístění výměníku (obr), lépe po celé výšce

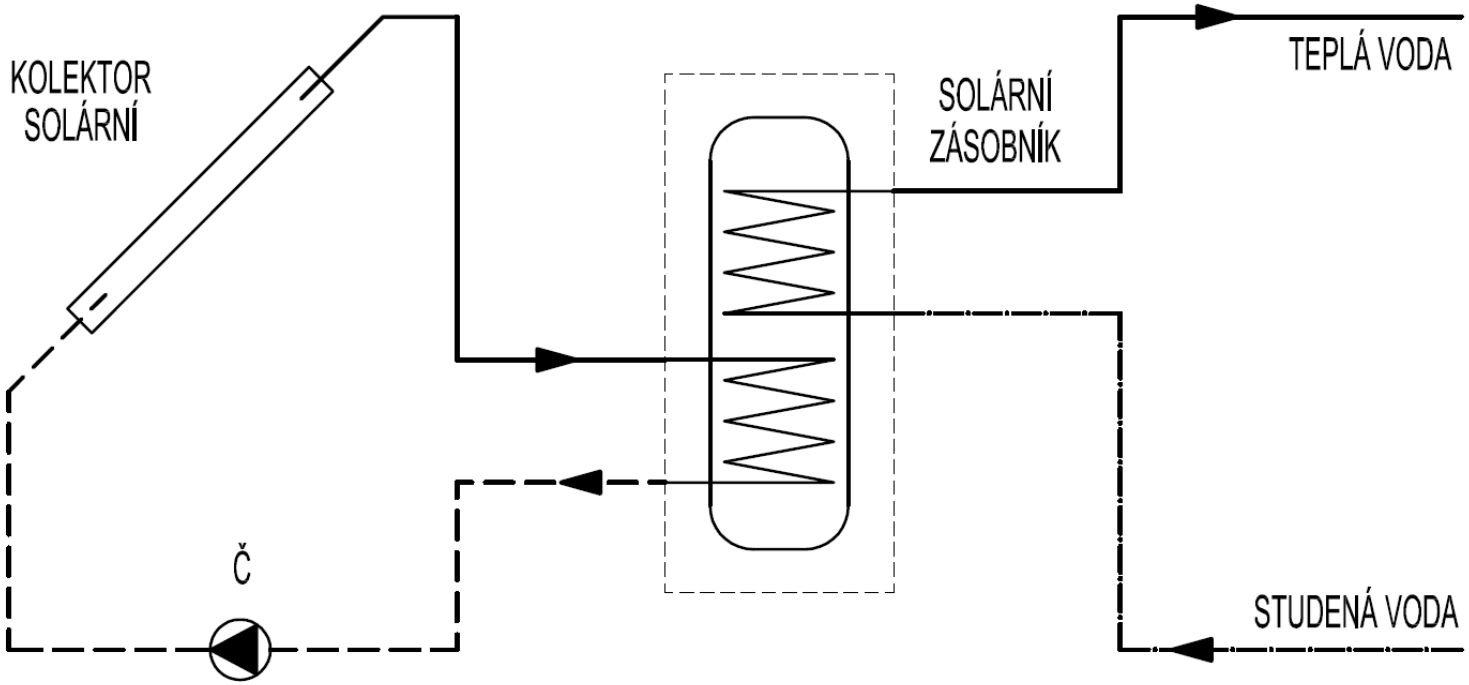


Vliv přívodu a odběru tepla

nepřímé nabíjení – nepřímé vybíjení

jednoduché kombinované solární soustavy soustavy

z hlediska vrstvení je zapojení podle obr nejméně účinné (promíchání)

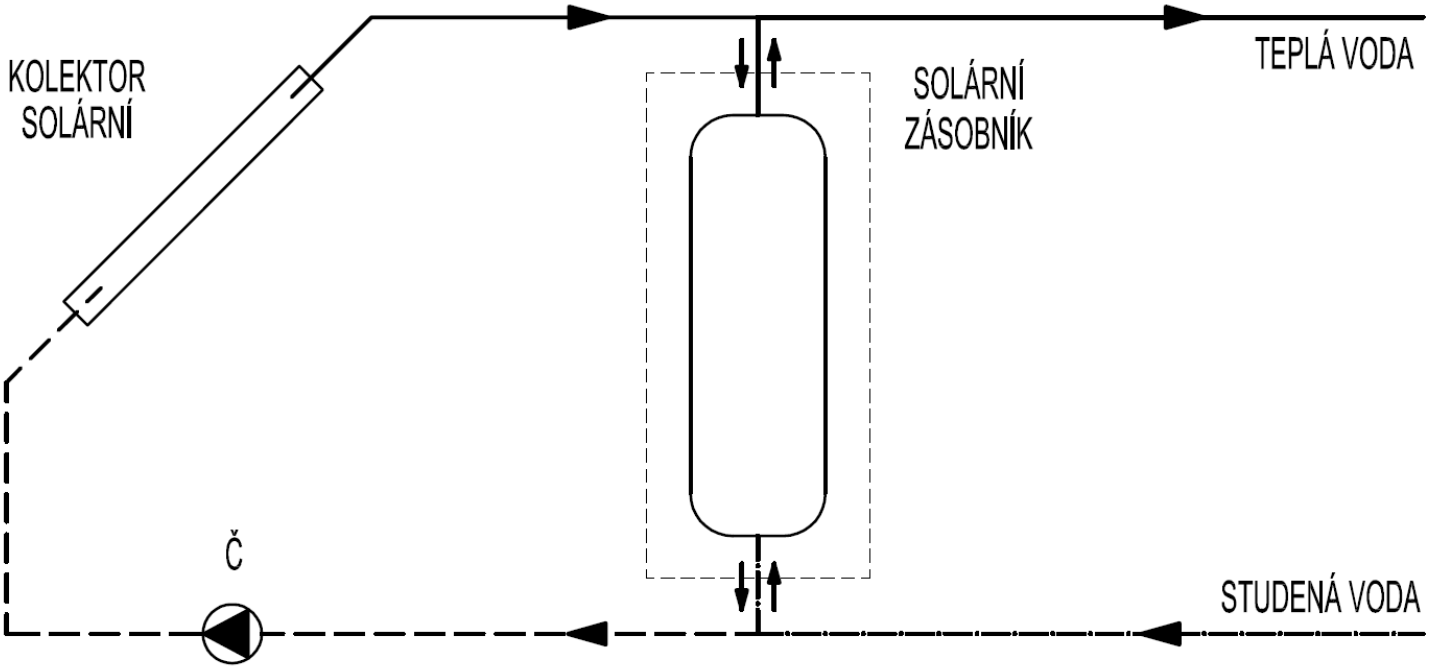


Vliv přívodu a odběru tepla

přímé nabíjení – přímé vybíjení

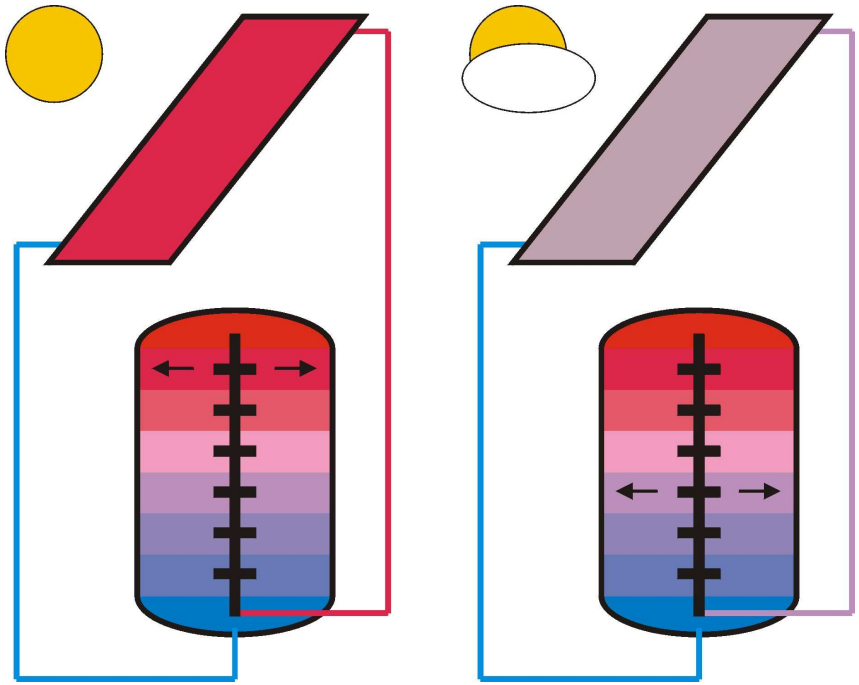
pokročilé zásobníky s teploním vrstvením

nabíjení i vybíjení po vrstvách (pístový efekt)



Zásobníky tepla se řízeným vrstvením

- **stratifikace** (teplotní vrstvení) objemu zásobníku podle teploty – ukládání tepla do vrstev o podobné teplotě
- v horní části je výrazně vyšší teplota než ve spodní části (udržuje se studená)
- snížení potřeby dodatkové energie



- zvýšení využití solárních zisků

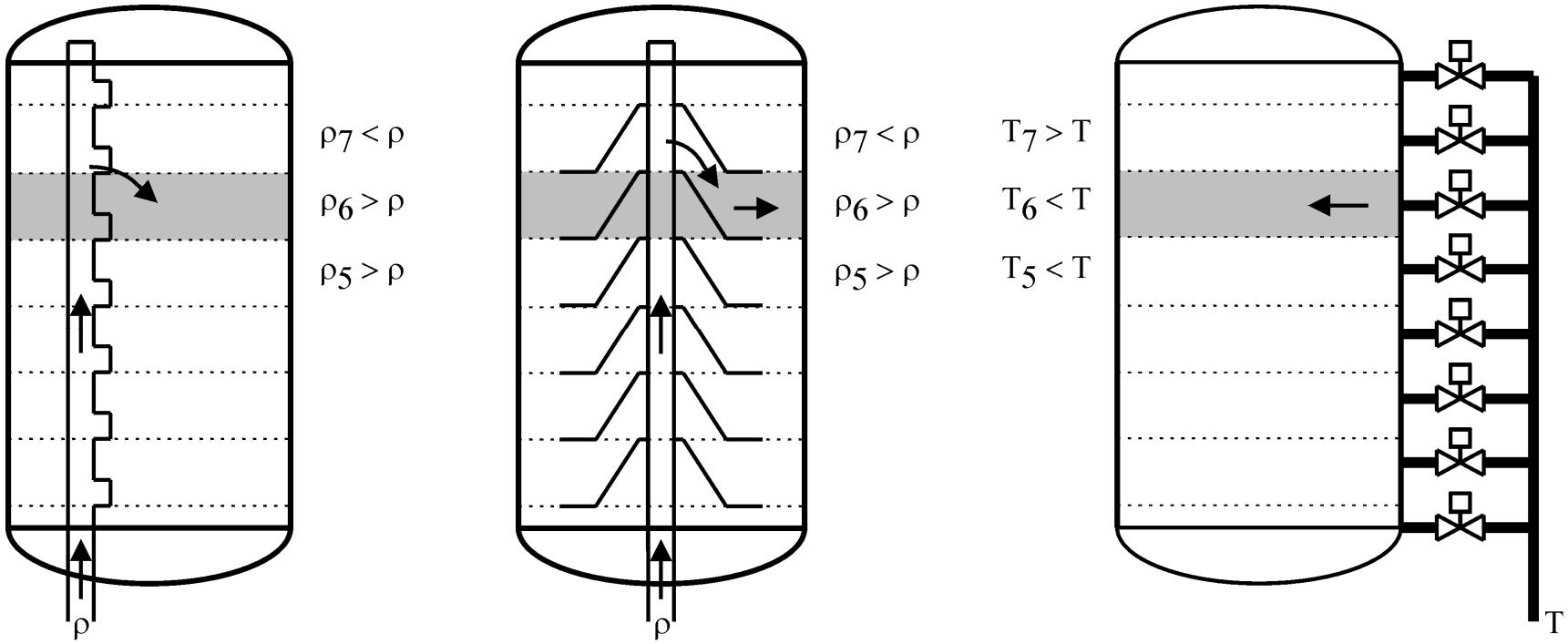
zvýšení solárního podílu

Zásobníky tepla se řízeným vrstvením

- předpokladem je nízký průtok (low flow) dosažení vyššího teplotního rozdílu na kolektoru (30 až 40 K)
- např. řízení soustavy na konstantní výstupní teplotu, „once – through“ režim – ohřev na požadovanou teplotu při jediném průchodu teplonosné kapaliny kolektorem

- stratifikační vestavby
  - aktivní
  - pasivní

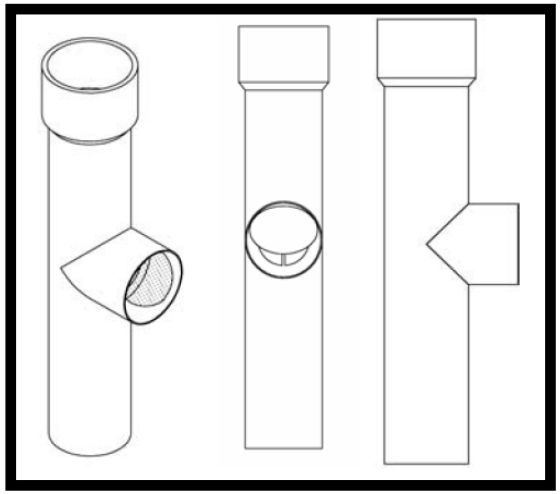
Řízené teplotní vrstvení

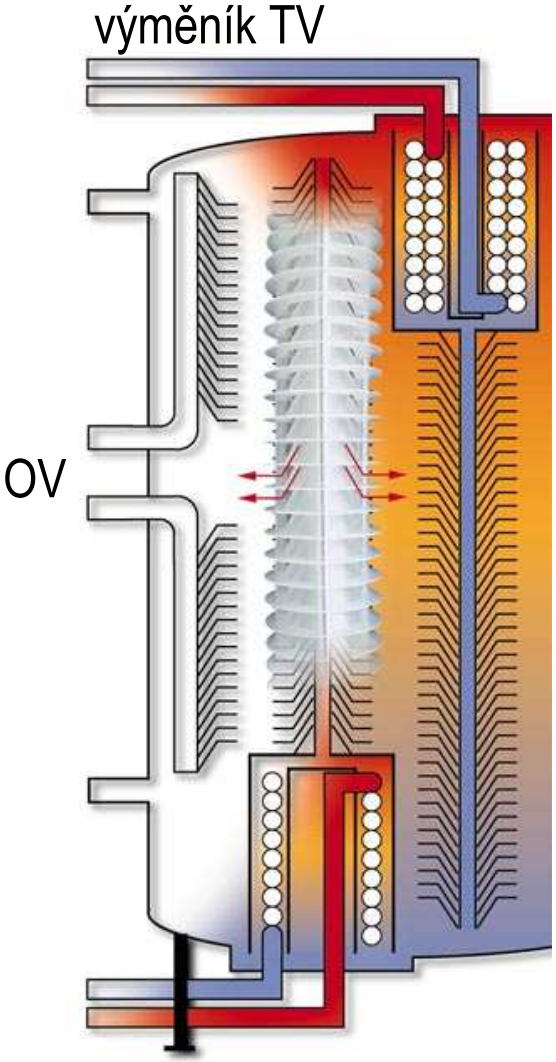


přívod do teplotně podobné vrstvy na základě podobné hustoty (pasivní)

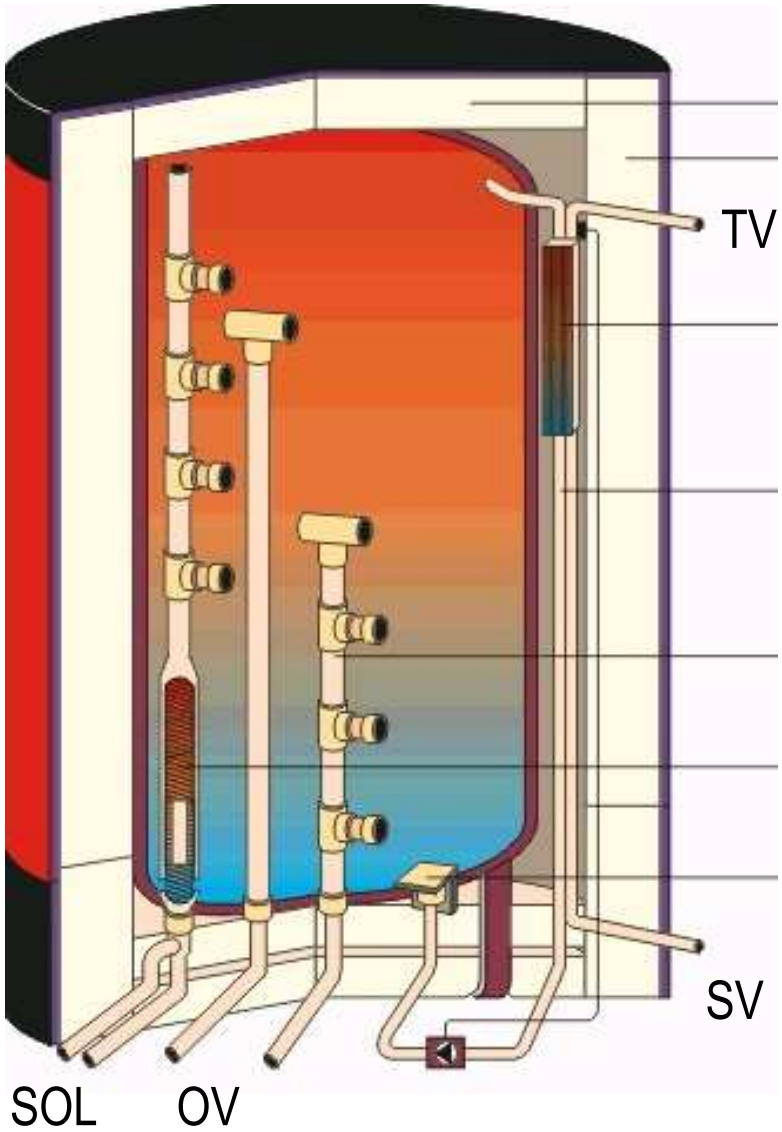
pokročilá regulace aktivní prvky

Stratifikační vestavby





Stratifikační vestavby



izolace

výměník pro přípravu teplé vody (TV)

potrubí

stratifikace zpátečky otopné vody (OV)

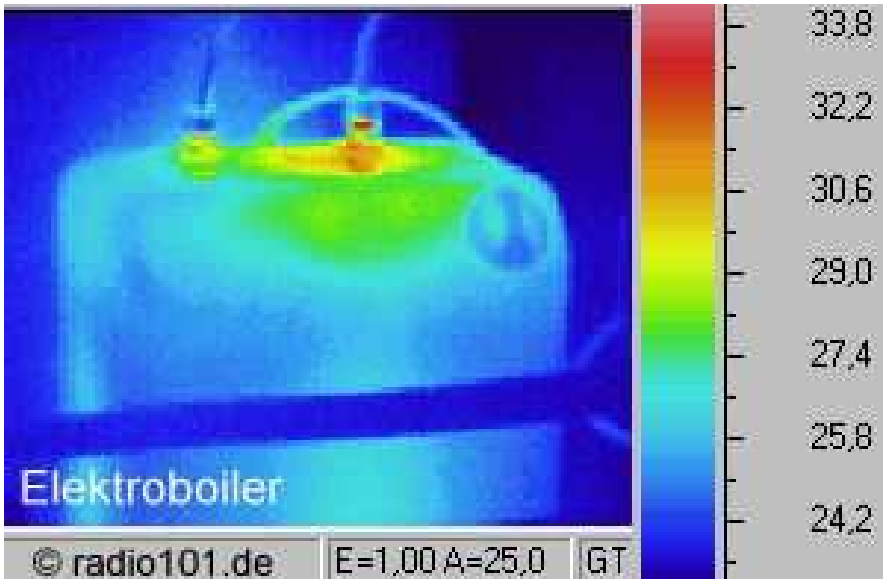
stratifikační vestavba s integrovaným výměníkem

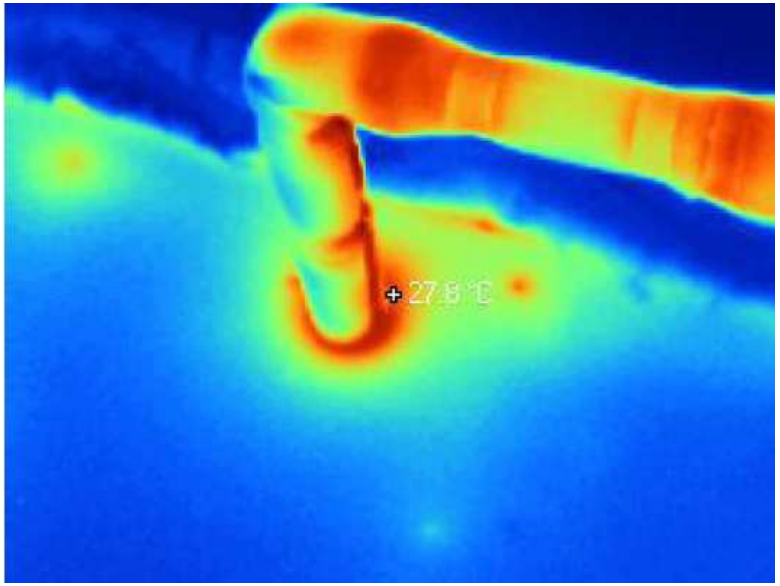
přívod vychlazené vody z výměníku TV

zdroj: Solvis

Tepelné ztráty

- ovlivňují zásadně účinnost akumulace
- tepelná izolace zásobníků
- provedení přípojek – tepelné mosty
- provedení přípojek – degradace teplotního vrstvení





Tepelné ztráty zásobníku

- vyhláška 193/2007 Sb: požadavky na tepelné izolace zařízení

  minimální tloušťka izolace 100 mm při 0,045 W/mK

  součinitel prostupu tepla U < 0,30 W/m^{2}K

  optimalizační výpočet (např. pro dlouhodobé zásobníky)

- vyhláška 442/2004 Sb., příloha 7: štítkování elektrických ohřívačů

  tepelná ztráta za 24 hodin, vztažená k objemu ohřívače [l]

Třída energetické účinnosti	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
Denní tepelná ztráta Q_{24} [Wh/24/l]	< 5	5 – 7	7 – 9	9 – 11	11 – 13	13 – 15	>15

Tepelné ztráty zásobníku

- měrná tepelná ztráta válcového zásobníku *U.A* [W/K]

$$UA = \boxed{\frac{\pi \cdot \left(D_e + 2 \cdot s_{iz,s}\right) \cdot \left(L + 2 \cdot s_{iz,d}\right)}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s_{iz,s}}{\lambda_{iz,s}} + \frac{s_{z,s}}{\lambda_{z,s}} + \frac{1}{\alpha_e}}} + \boxed{2 \cdot \frac{\pi \cdot \left(D_e + 2 \cdot s_{iz,s}\right)^2}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s_{iz,d}}{\lambda_{iz,d}} + \frac{s_{z,d}}{\lambda_{z,d}} + \frac{1}{\alpha_e}}}$$

stěna **2 x dno**

D_e průměr zásobníku (bez izolace); $D_e + 2.s_{iz}$ (s izolací), L výška

s_{iz} tloušťka izolace

λ_{iz} tepelná vodivost izolace

s_z tloušťka stěny zásobníku

λ_z tepelná vodivost stěny

α_i součinitel přestupu tepla na straně kapaliny

α_e součinitel přestupu tepla na straně okolí

Tepelné ztráty zásobníku

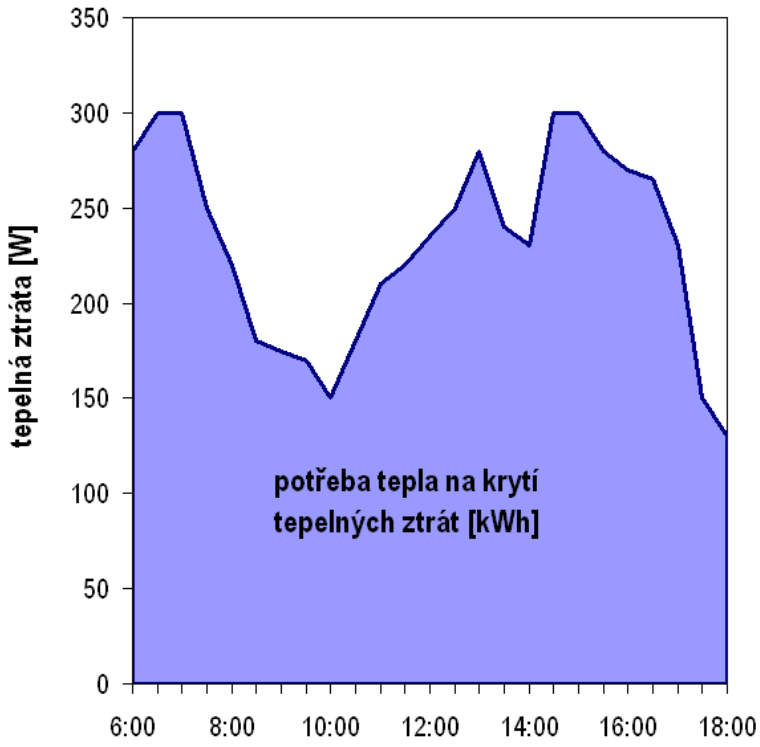
- tepelná ztráta zásobníku (výkon)

$$\dot{Q}_{z,aku} = U \cdot A \cdot \left(t_{aku} - t_{ok}\right) \qquad [W]$$

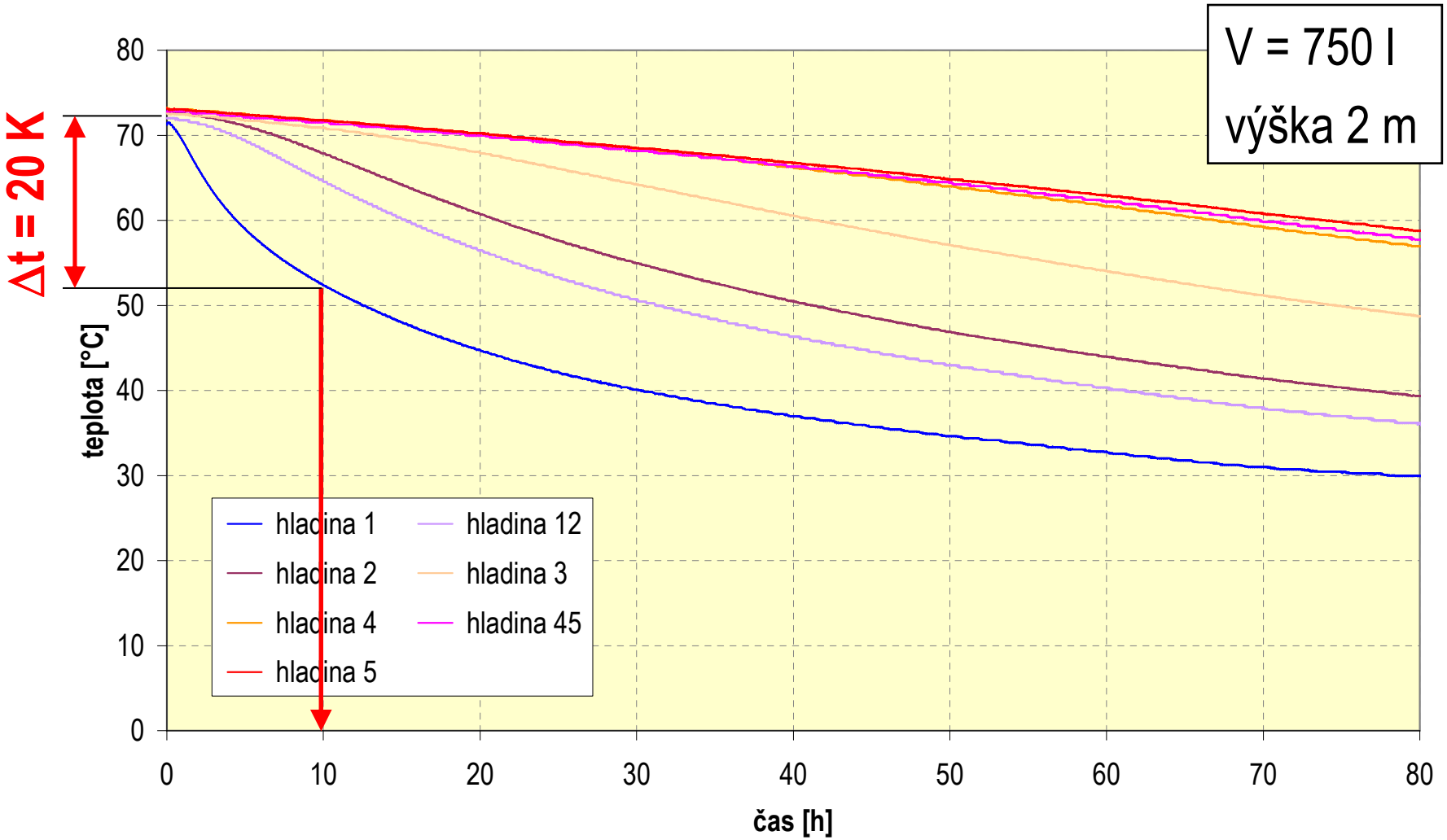
- potřeba tepla na krytí ztrát (energie)

$$Q_{z,aku} = \int \dot{Q}_z d\tau \qquad [MJ, kWh]$$

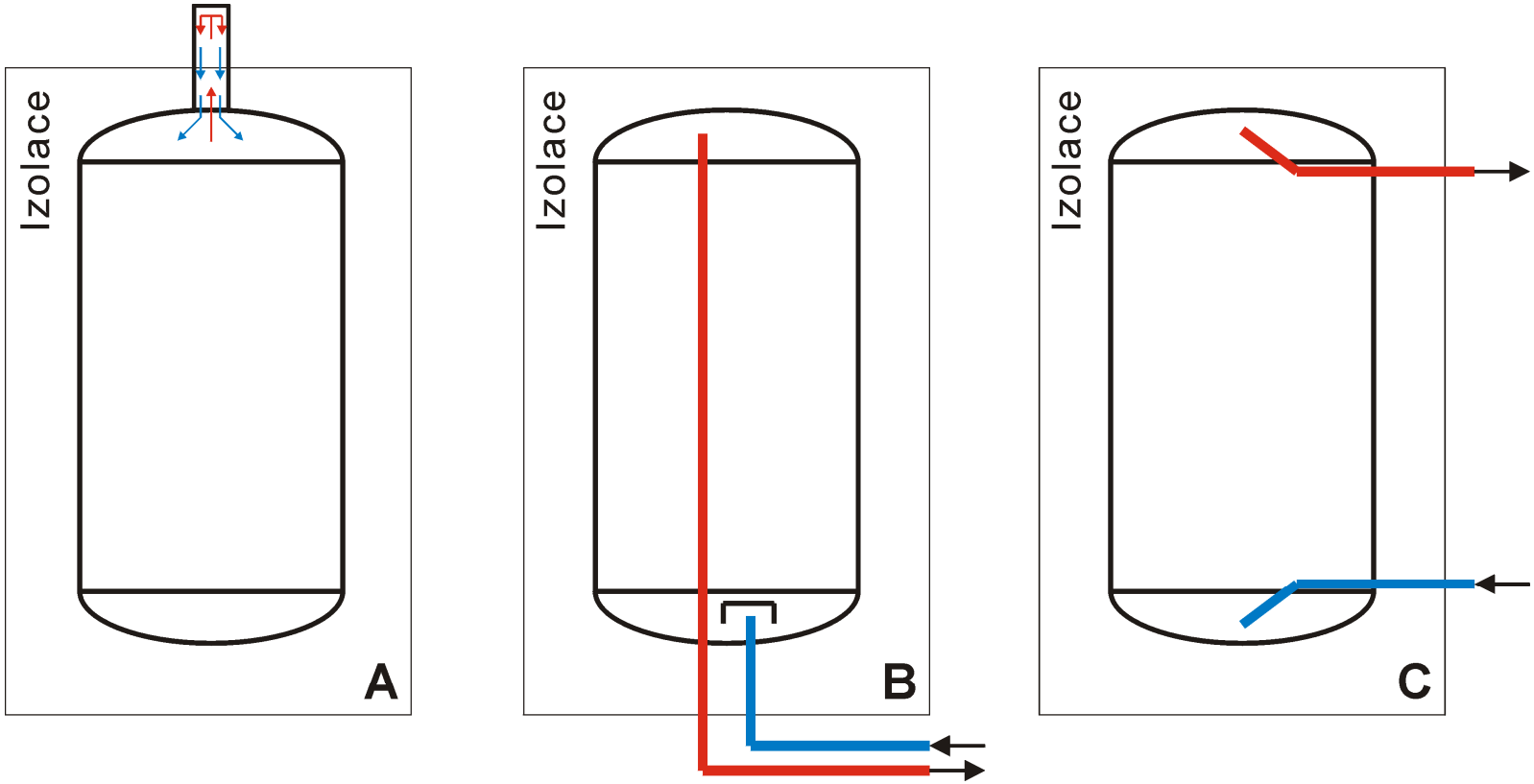
$$Q_{z,aku} = \sum_{i=1}^{n} U \cdot A \cdot \left(t_{aku,i} - t_{ok,i}\right) \cdot \Delta\tau_i$$



Tepelné ztráty zásobníku

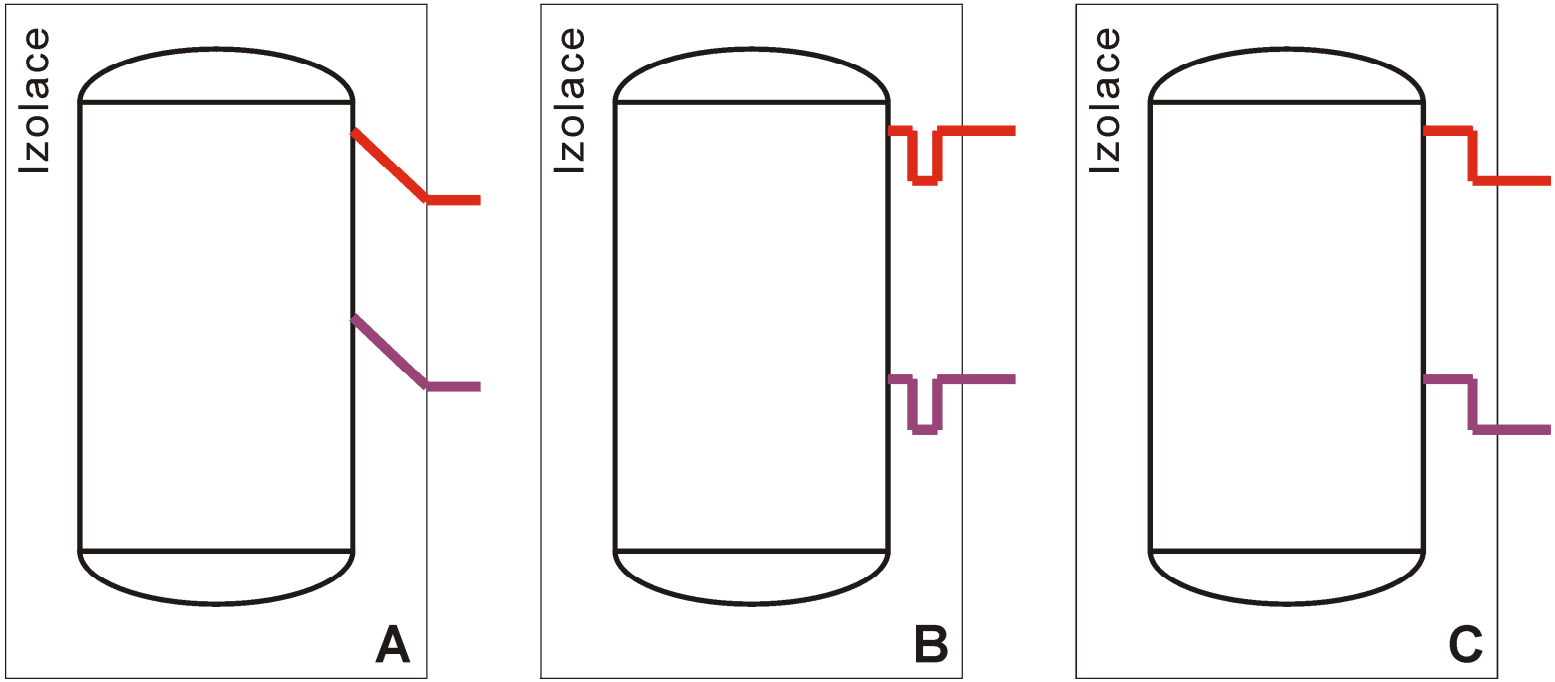


Vliv připojení potrubí

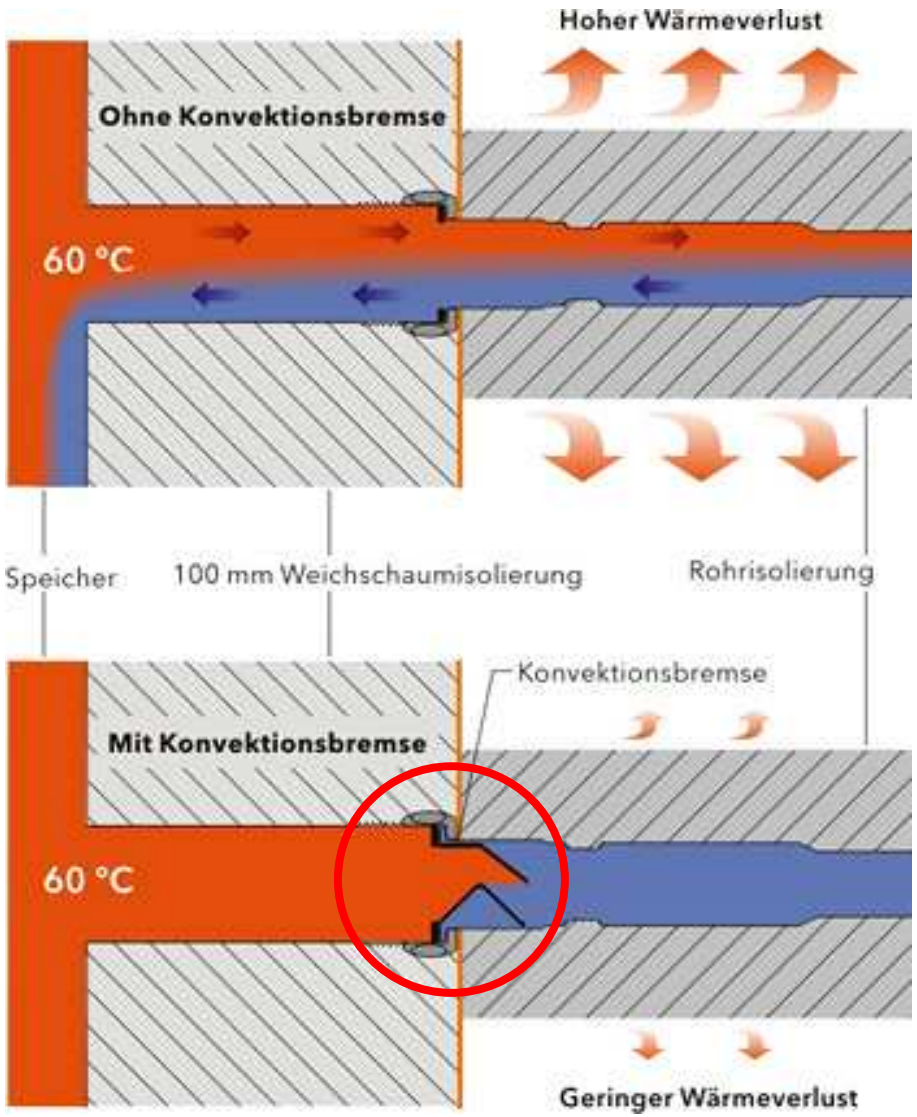


Vliv připojení potrubí

gravitační (konvekční) brzdy - přirozené zpětné klapky pro vychlazování



Vliv připojení potrubí

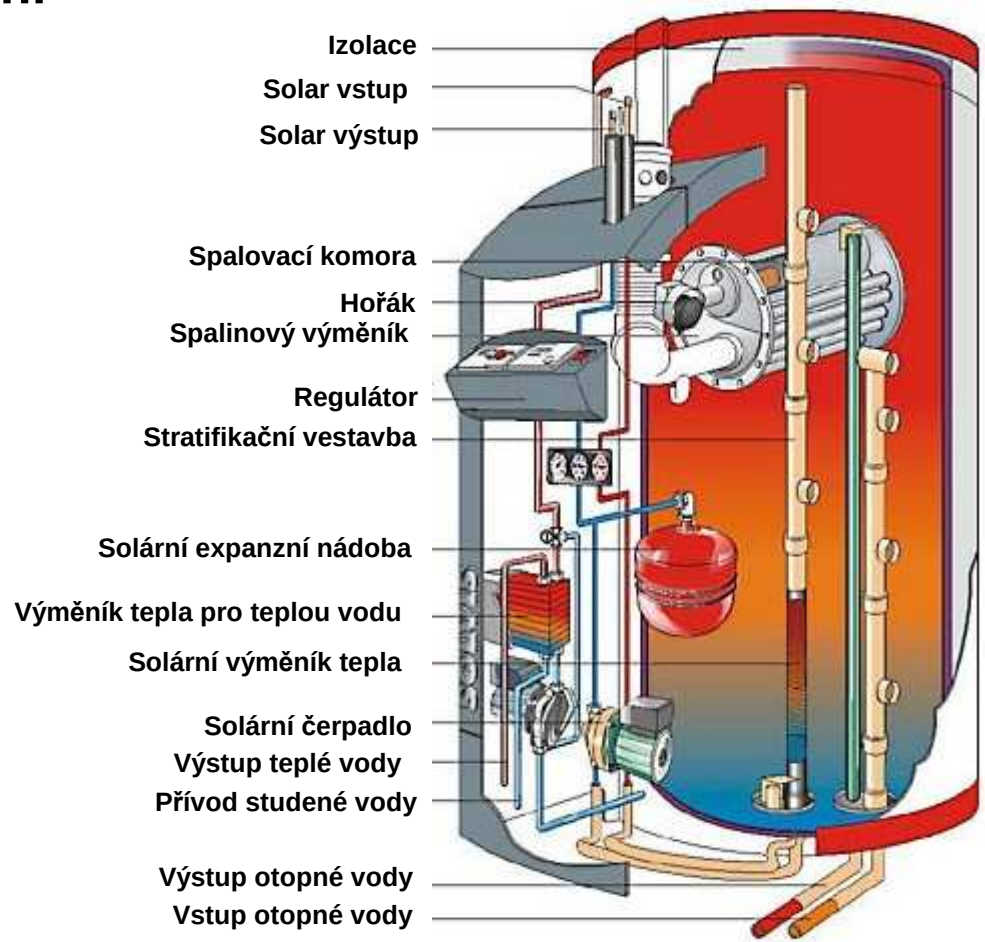


konvekční brzdy

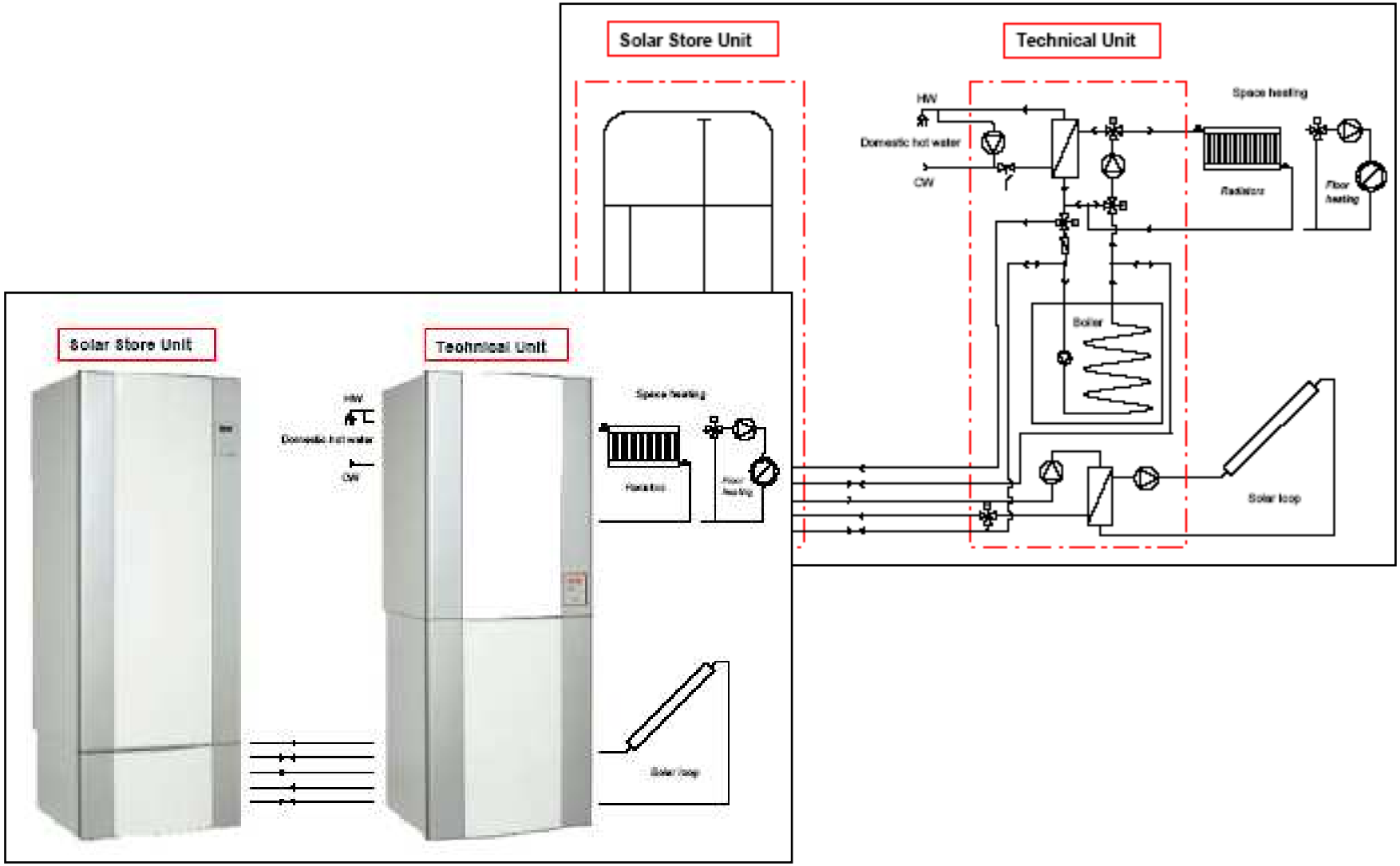
Trendy

kompaktní (integrované) řešení

- minimalizace chyb montáže
- optimalizovaná hydraulika
- vysoká účinnost soustavy
- úspora místa
- umístění do pobytových prostor



Trendy


Solar Store Unit
Technical Unit
HW
Domestic hot water
CW
Space heating
Radiators
Floor heating
Boiler
Solar loop
Solar Store Unit
Technical Unit
HW
Domestic hot water
CW
Space heating
Radiators
Floor heating
Solar loop

Akumulace s využitím změny skupenství

- změna skupenství doprovázená jímáním / uvolňováním tepla
- kapalina – plyn: nevhodná změna objemu
- **kapalina – tuhá látka:** vhodné (tání – tuhnutí)

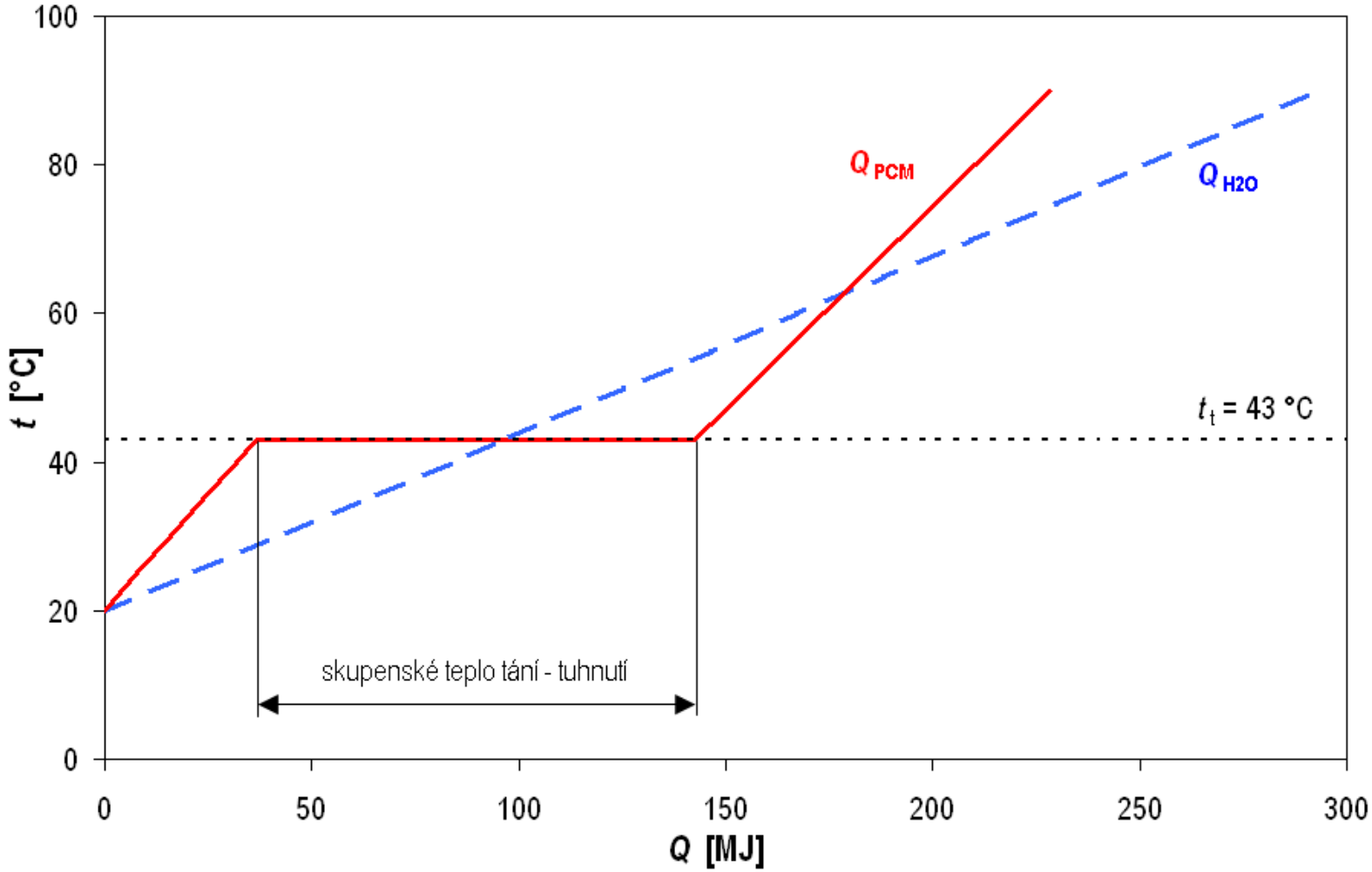
$$Q = V \cdot \left[\boxed{\rho_p \cdot c_p (t_t - t_1)} + \boxed{\rho_t \cdot l_t} + \boxed{\rho_k \cdot c_k (t_2 - t_t)} \right]$$

citelné teplo pevné skupenství — **skupenské teplo** — **citelné teplo kapalné skupenství**

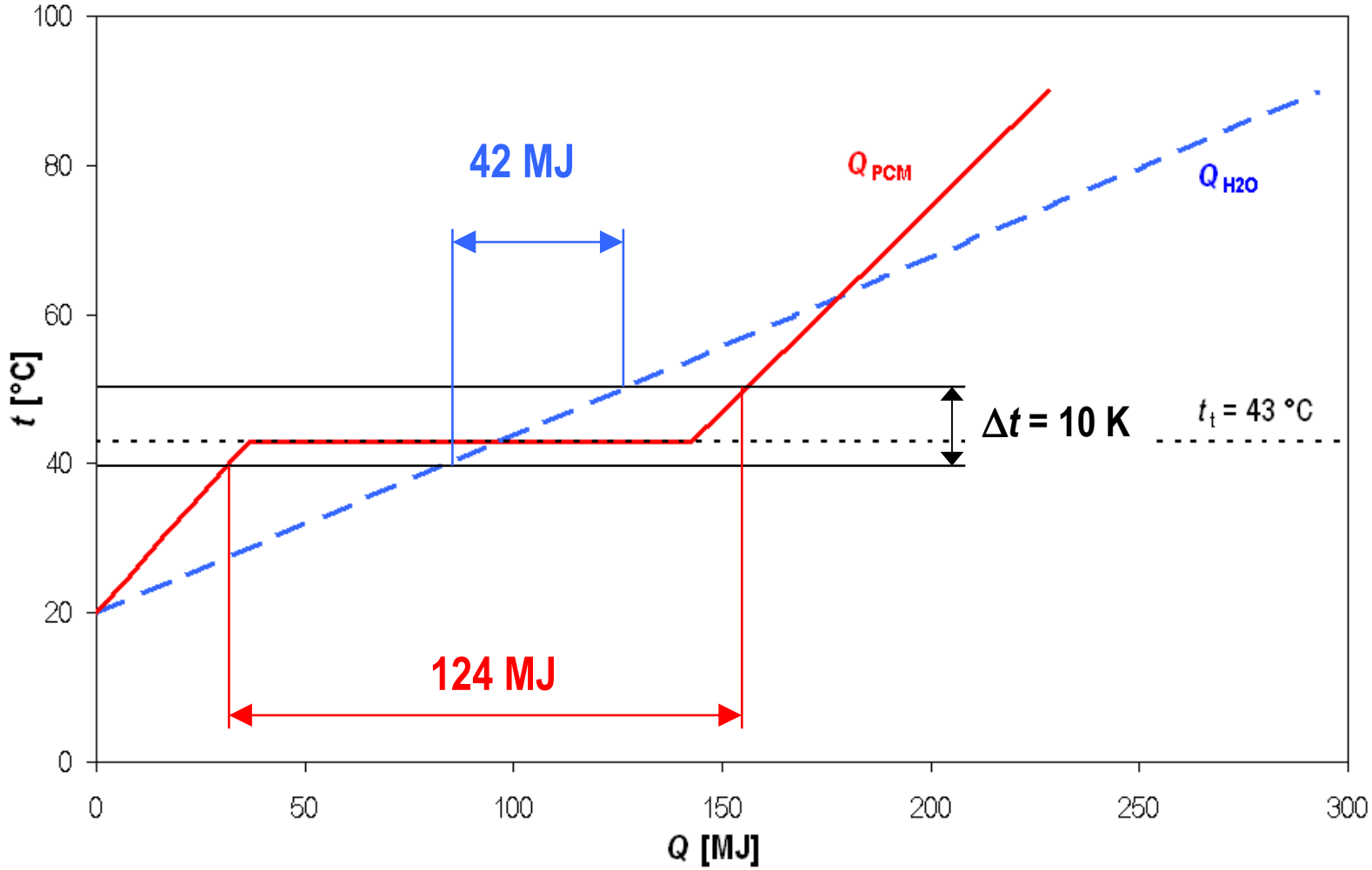
kde t_t ... teplota změny skupenství $t_1 < t_t < t_2$

l_t ... skupenské teplo tání - tuhnutí

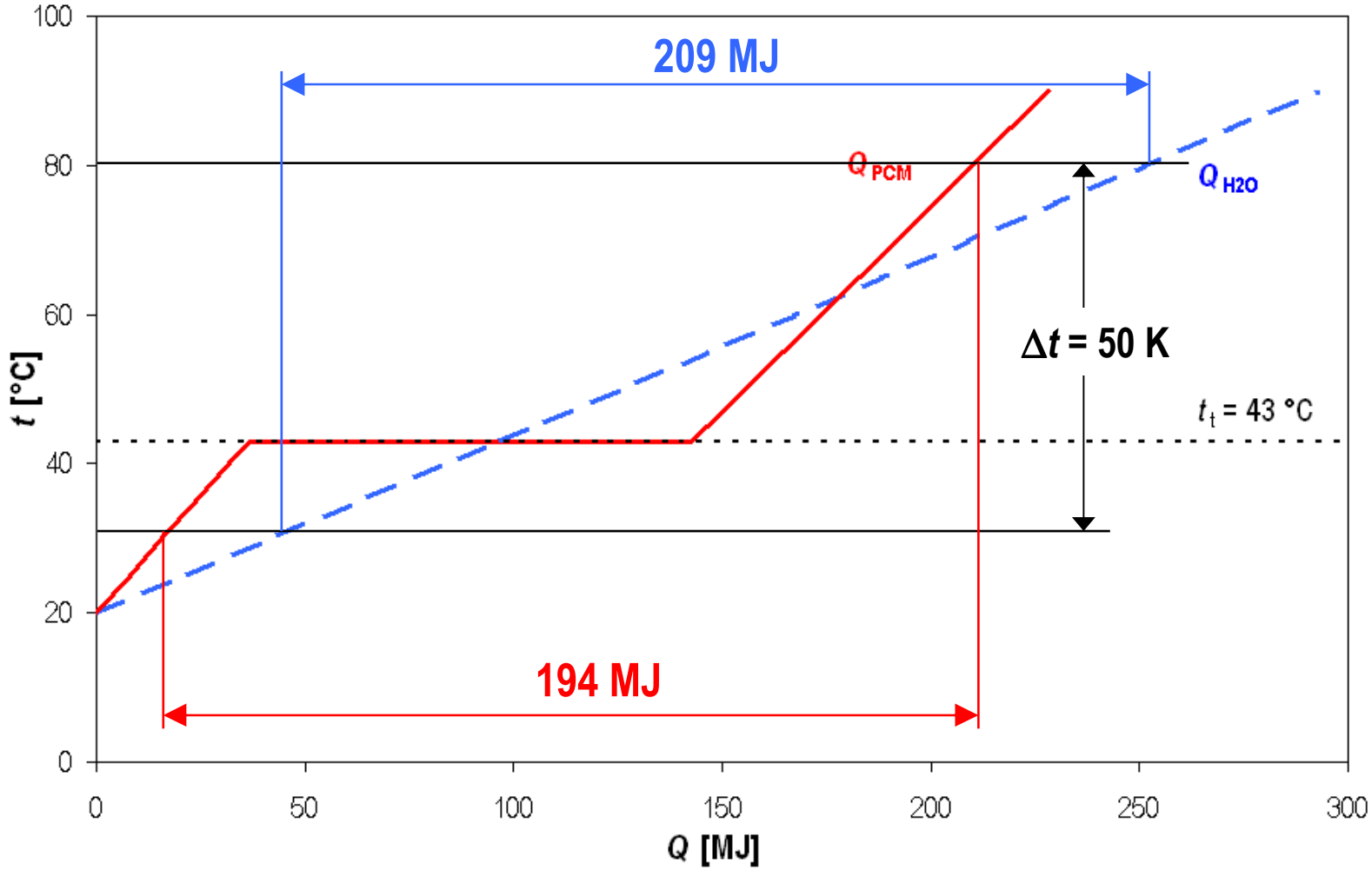
Akumulace s využitím změny skupenství



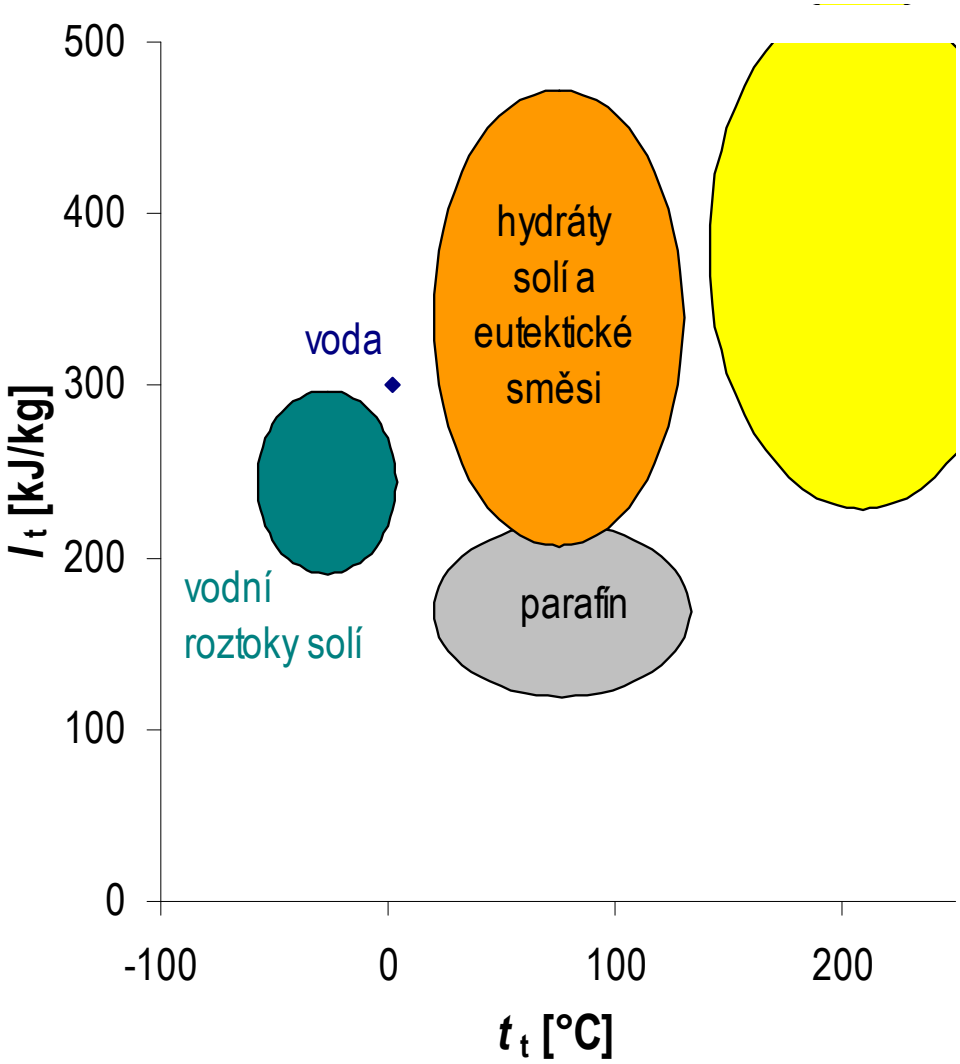
Akumulace s využitím změny skupenství



Akumulace s využitím změny skupenství



Látky se změnou skupenství (PCM)



anorganické PCM:

hydráty solí (Glauberova)

+ vysoké teplo tání
+ vysoká tepelná vodivost
- korozivní
- podchlazování
- segregace fází

organické PCM:

vosky, parafíny, mastné kys.

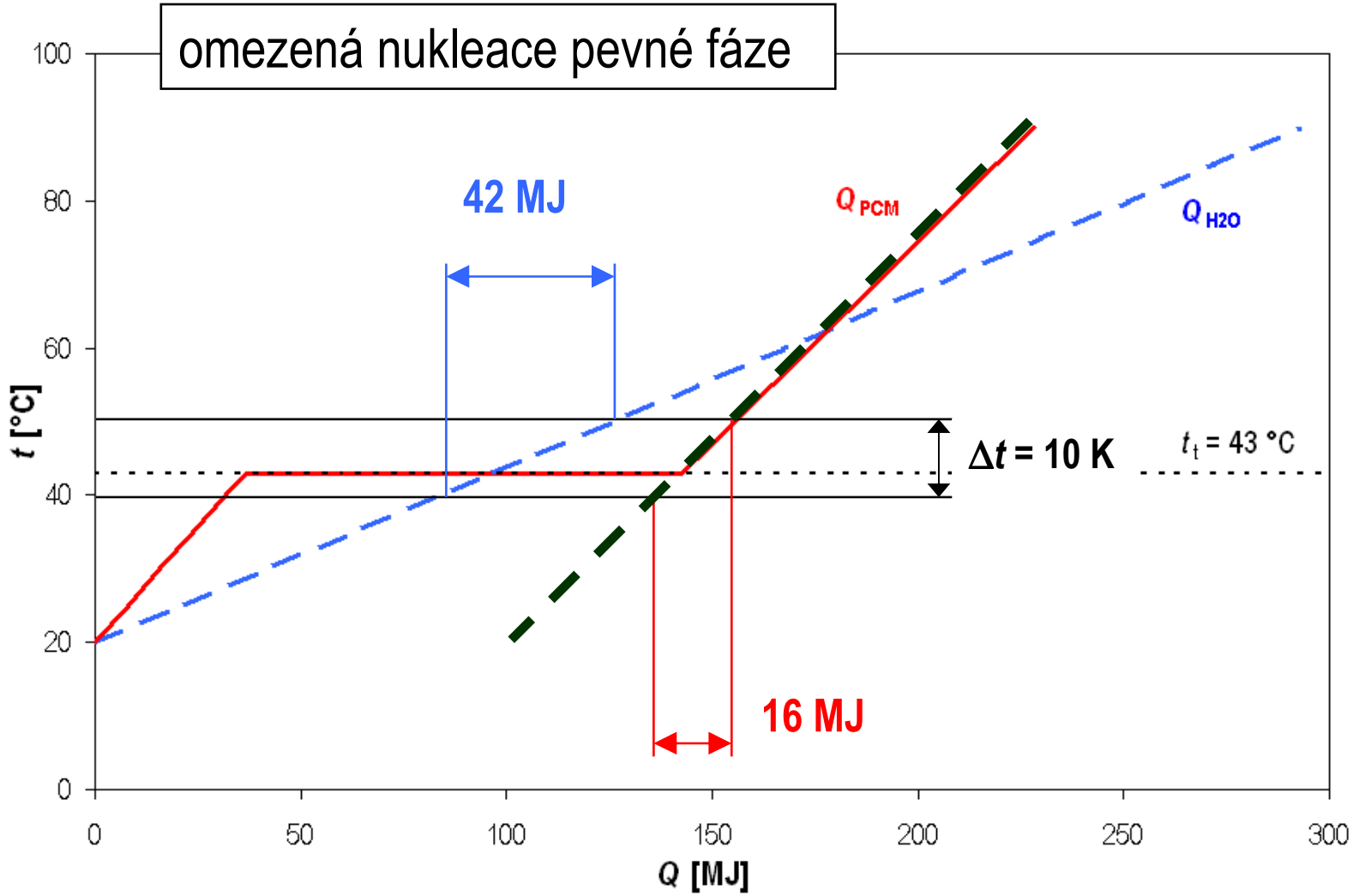
+ chemický a tepelně stabilní
+ nekorozivní
- nízká tepelná vodivost
- nízké teplo tání

Látky se změnou skupenství (PCM)

vlastnosti

- vhodná teplota tání / tuhnutí
  - pro solární soustavy: 35 – 70 °C, možnost volby teploty „na míru“
- nízká tepelná vodivost - nerovnoměrné tání, snížení akumulační schopnosti
  - použití vodivých matric, kompozitní materiály (grafit)
- změna objemu při změně fáze – není kritické (do 15%)
- koroze – především soli
- dlouhodobá stabilita vlastností – cyklická změna skupenství

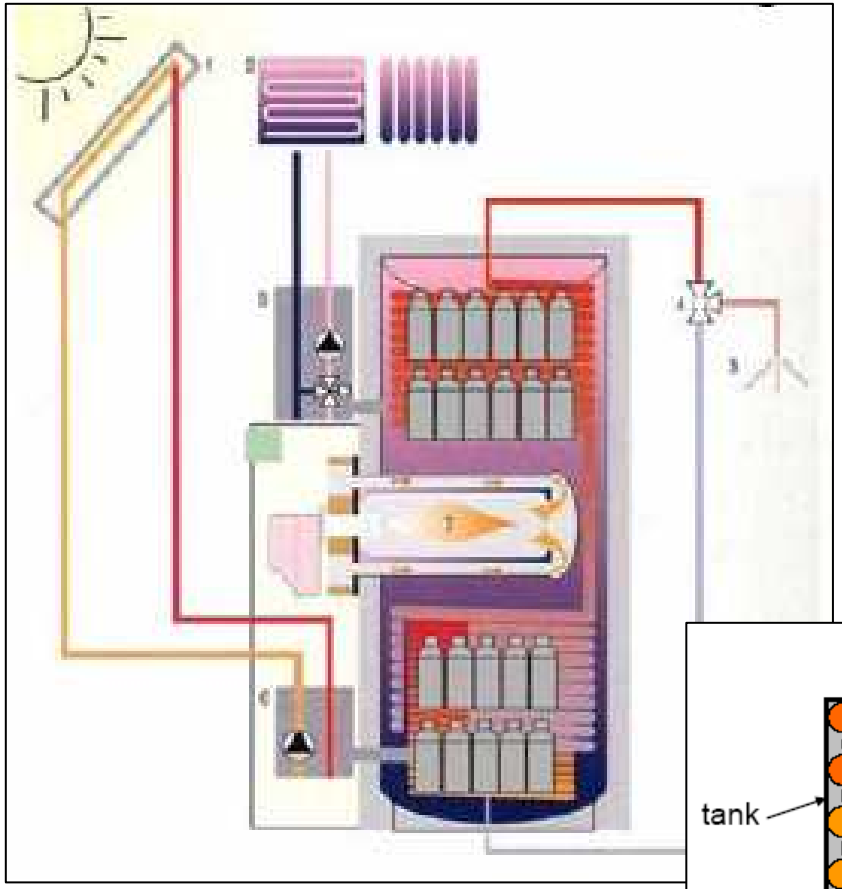
Podchlazování

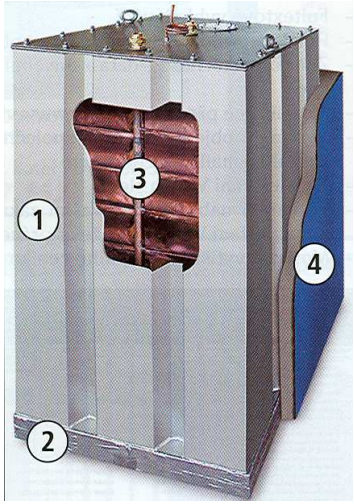


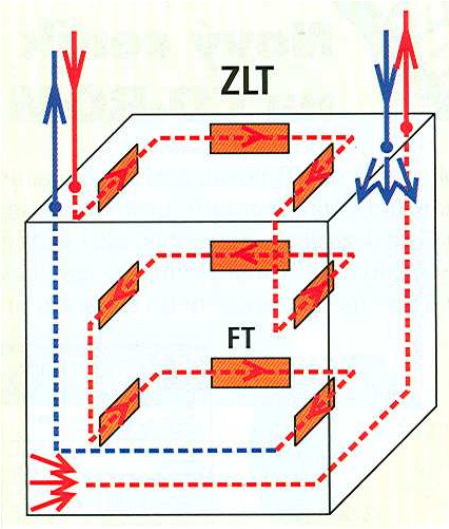
Látky se změnou skupenství (PCM)

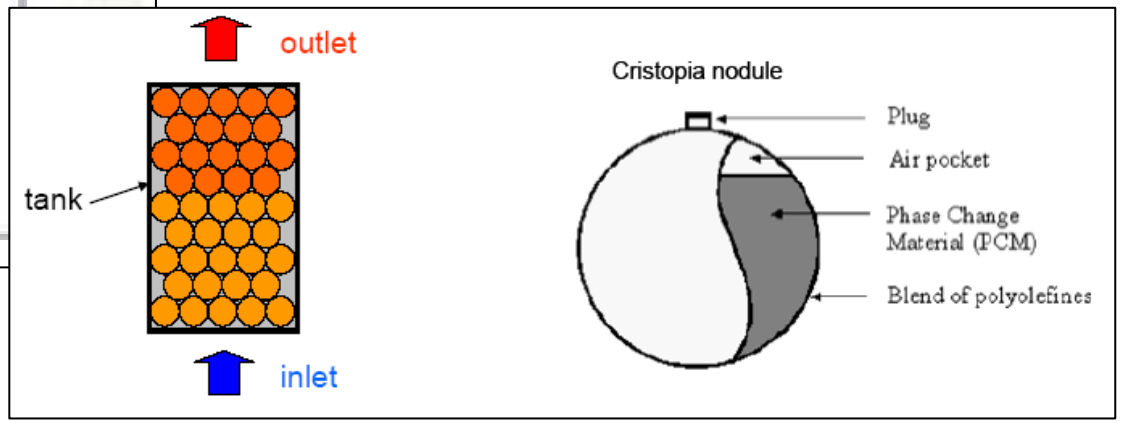
Product	Melting point[1]	Heat storage capacity[2]
	[°C]	[kJ/kg]
RT -4	-4	179
RT 3	4	198
RT 4	4	182
RT 5	5	198
RT 6	6	175
RT 21	21	134
RT 27	27	179
RT 31	29	169
RT 42	41	174
RT 50	49	168
RT 52	52	173
RT 55	55	172
RT 58	58	178
RT 60	60	144
RT 62	61	146
RT 65	65	152
RT 82	82	176
RT 100	100	124

Aplikace - makropouzdra

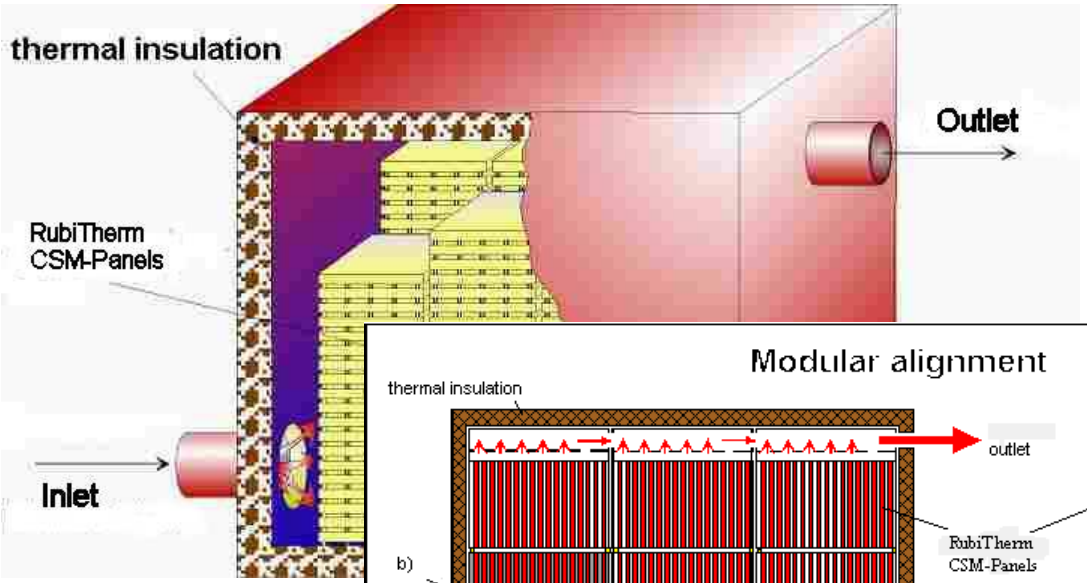


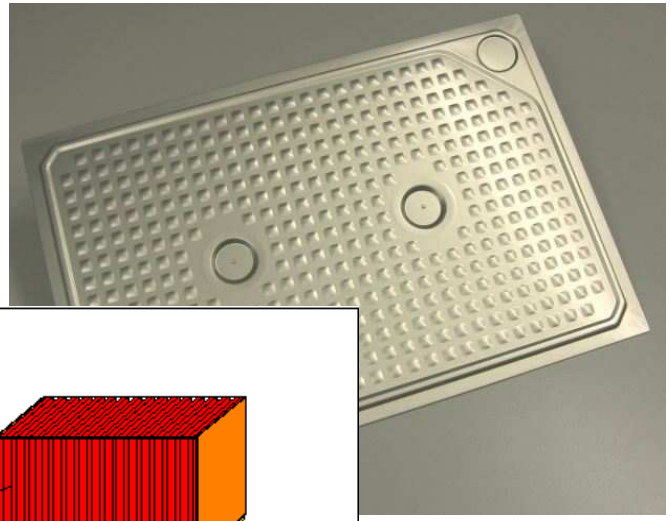


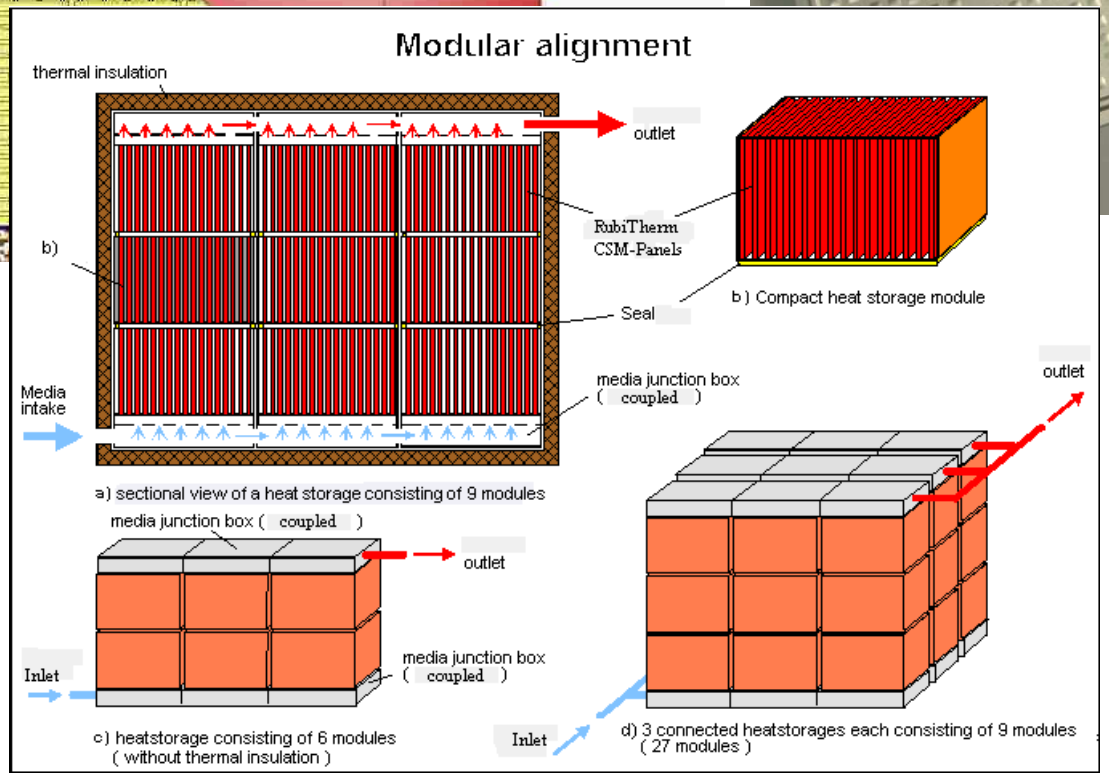




Aplikace - makropouzdra

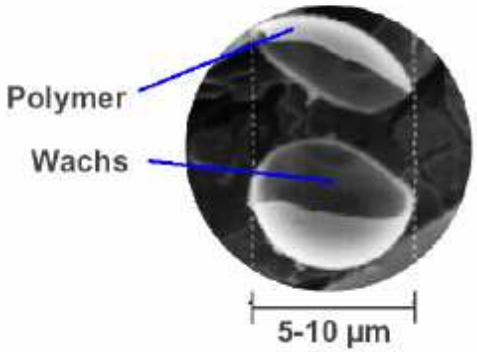


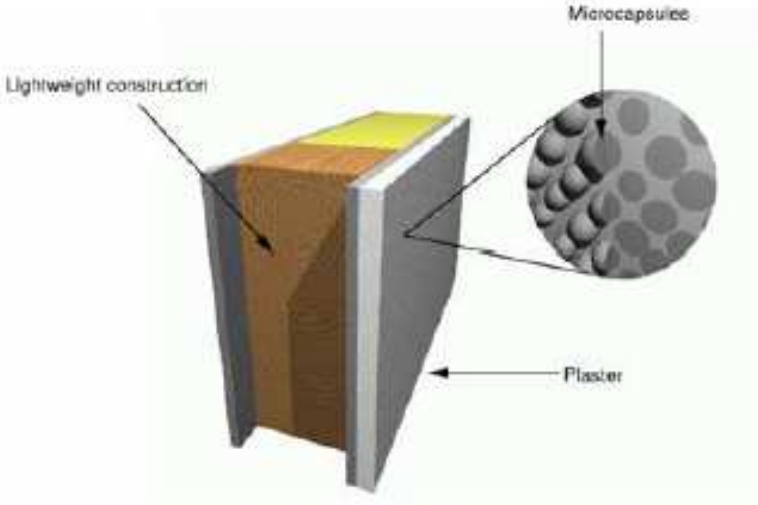


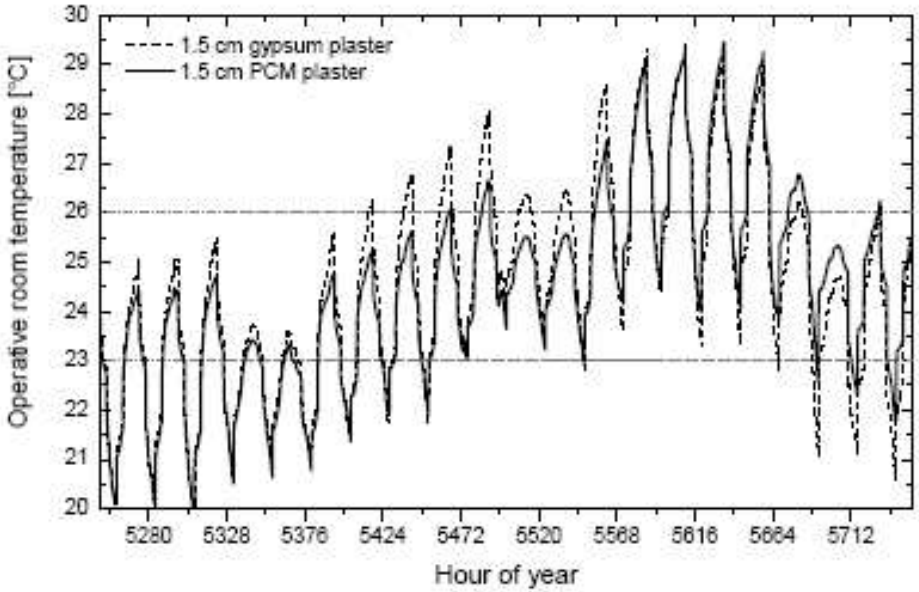


Aplikace - mikropouzdra

PCM kaly

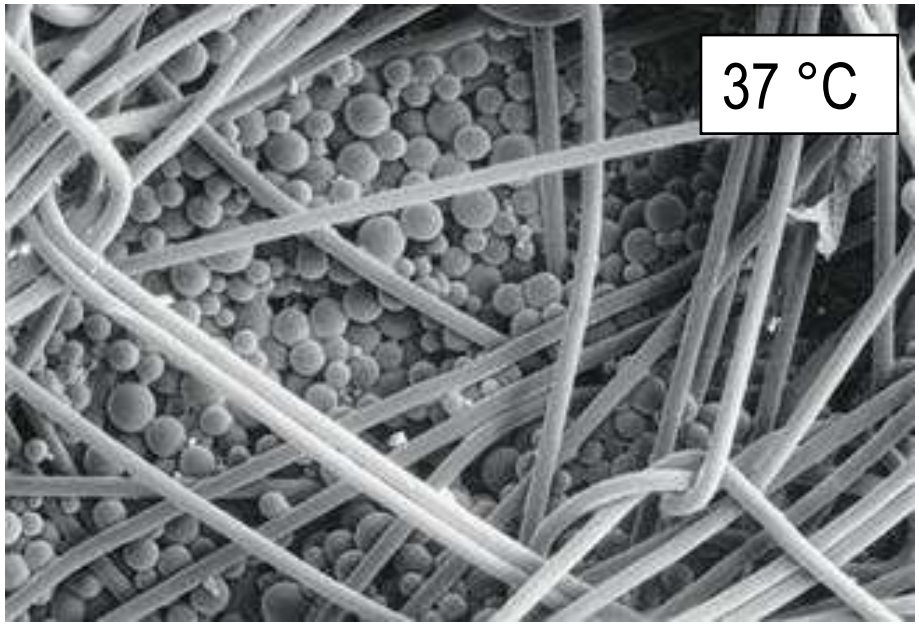






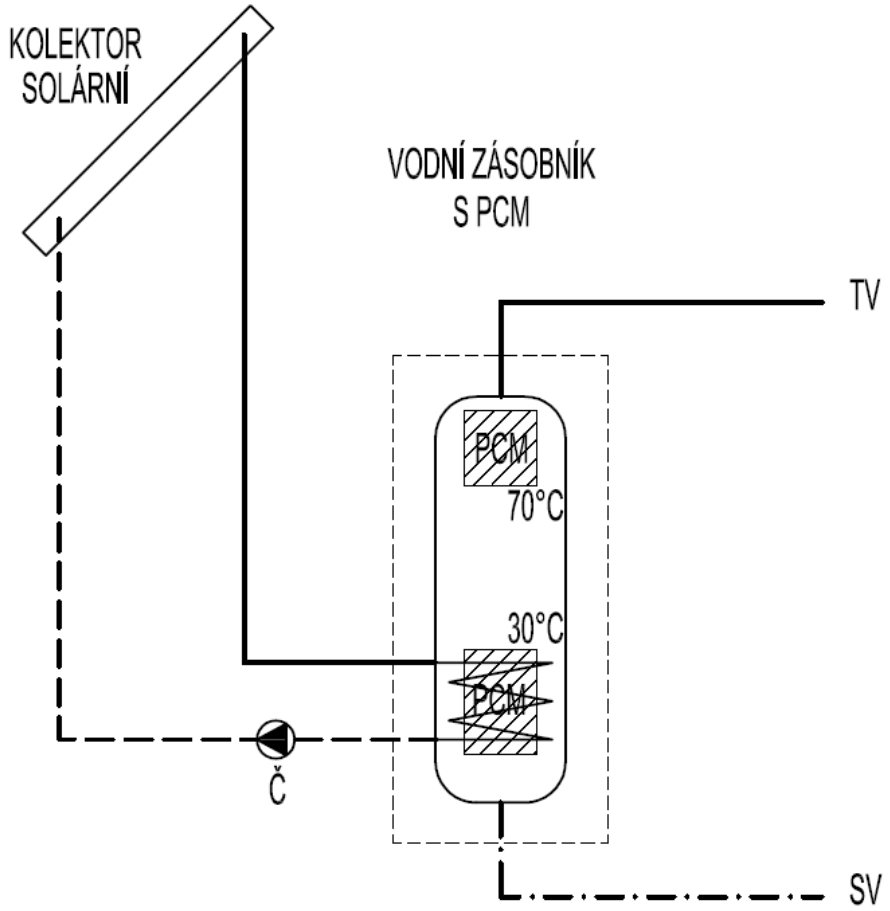
finální vrstva stěn lehkých konstrukcí

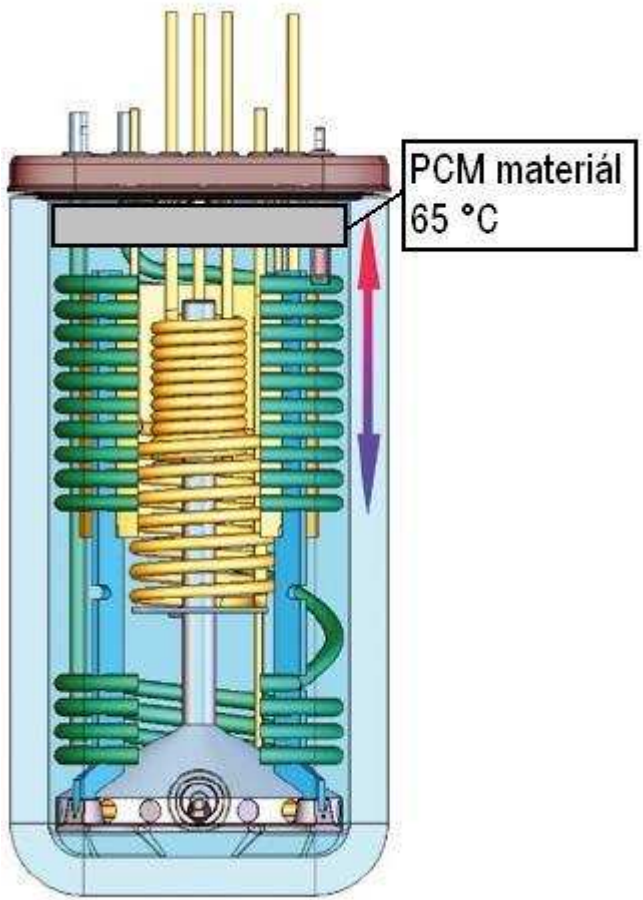
Aplikace - mikropouzdra



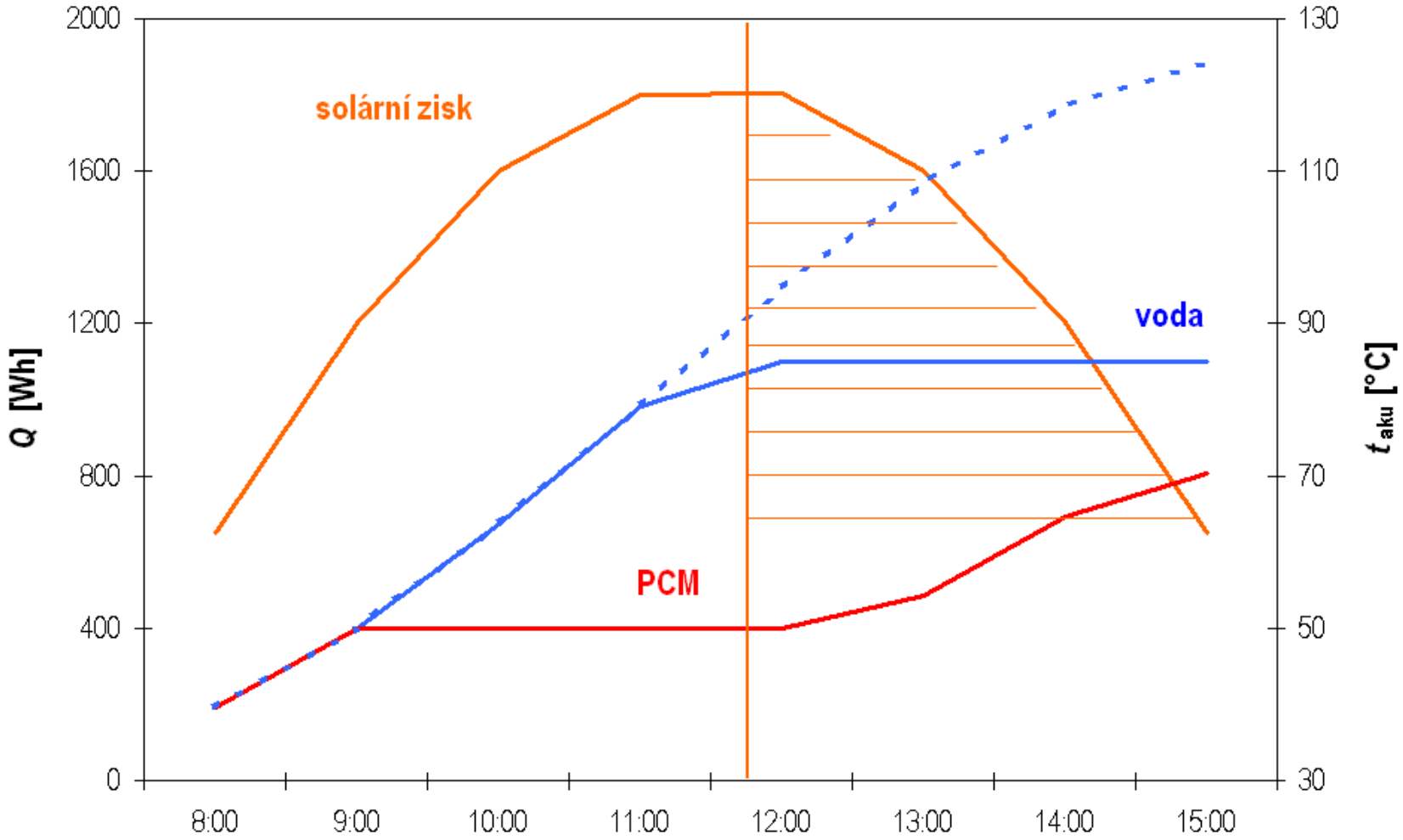
1000 mikrokapslí / špendlíkovou hlavičku

Využití PCM pro solární soustavy





Využití PCM pro solární soustavy

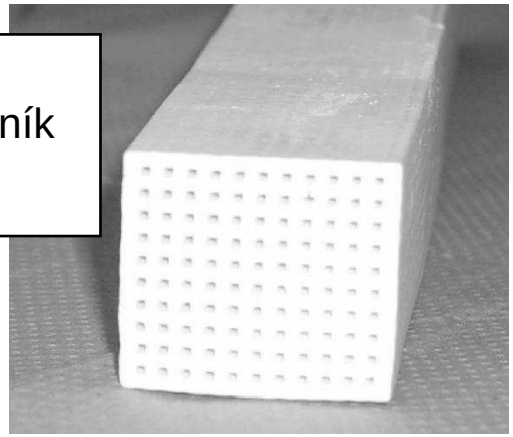


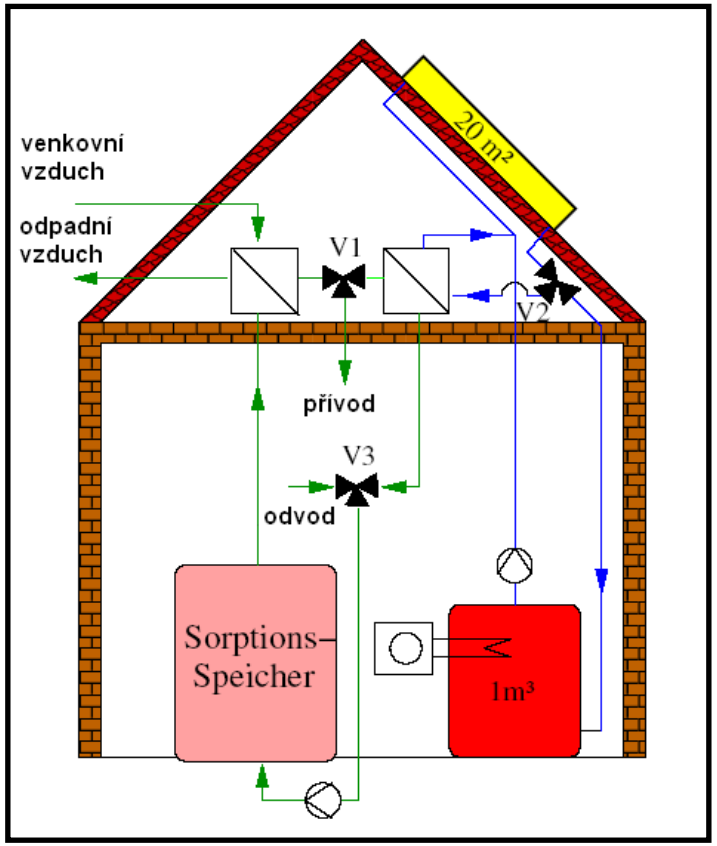
Akumulace s využitím adsorpčního tepla

- využití adsorpce vlhkosti z vnitřního vzduchu - uvolnění adsorpčního tepla, zvýšení teploty o 15-25 °C
  - teplovzdušné vytápění/větrání
  - saturace zásobníku vodní parou
  - regenerace v letním období desorpce zásobníku solárním teplem

voštinový zásobník/výměník

zeolit





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.fs.cvut.cz

Solární soustavy a jejich hydraulická zapojení

Bořivoj Šourek
Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní
ČVUT v Praze

Typy solárních tepelných soustav formální členění

Definice podle ČSN EN ISO 9488 – Solární energie – Slovník

***solární tepelná soustava*:** soustava složená ze slunečních kolektorů a ostatních součástí, která dodává tepelnou energii

monovalentní solární soustava: solární tepelná soustava bez dodatkového zdroje tepla

vícenásobná (vícevalentní) solární soustava: solární tepelná soustava, využívající jak sluneční, tak další energetické zdroje v jednom celku, která je schopna zajistit požadované dodávky tepla nezávisle na momentálně dostupné sluneční energii

solární předehřívací soustava: solární tepelná soustava, určená k předehřívání vody nebo vzduchu před jejich vstupem do dalšího zařízení k ohřívání vody nebo vzduchu

Typy solárních tepelných soustav formální členění

sériově zapojená soustava: solární tepelná soustava, v níž se teplonosná látka vrací z místa odběru tepla do kolektorů a pak do akumulátoru nebo do dodatkového zdroje tepla nebo přímo do odběru tepla

akumulační kolektorová soustava: solární tepelná soustava, v níž sluneční kolektor funguje také jako tepelný (vodní) akumulátor

oběhová soustava: soustava, v níž teplonosná látka cirkuluje mezi kolektorem a zásobníkem nebo výměníkem tepla v době funkce

soustava s nuceným oběhem: soustava, v níž se využívá čerpadlo nebo ventilátor pro oběh teplonosné látky soustavou kolektorů

soustava s přirozeným oběhem: soustava, v níž cirkulace vzniká pouze v důsledku rozdílných hustot teplonosné látky mezi výstupem z kolektorů a zásobníkem nebo mezi kolektory a výměníkem tepla

Typy solárních tepelných soustav formální členění

soustava s přímým průtokem: solární tepelná soustava, v níž je ohřátá voda okamžitě spotřebována nebo po průtoku kolektorem je dopravována přímo k uživateli

soustava s nepřímým průtokem: solární tepelná soustava, v níž kolektory protéká jiná teplonosná látka než ohřátá voda, která je dopravována ke spotřebiteli nebo obíhá jeho soustavou

uzavřená soustava: soustava, v níž je okruh teplonosné látky zcela utěsněn od atmosféry

otevřená soustava: soustava, v níž je teplonosná látka ve značném styku s atmosférou

kompaktní soustava: soustava, v níž je zásobník spojen přímo s kolektorem

soustava s odděleným zásobníkem: soustava se zásobníkem odděleně umístěným v potřebné vzdálenosti od kolektoru

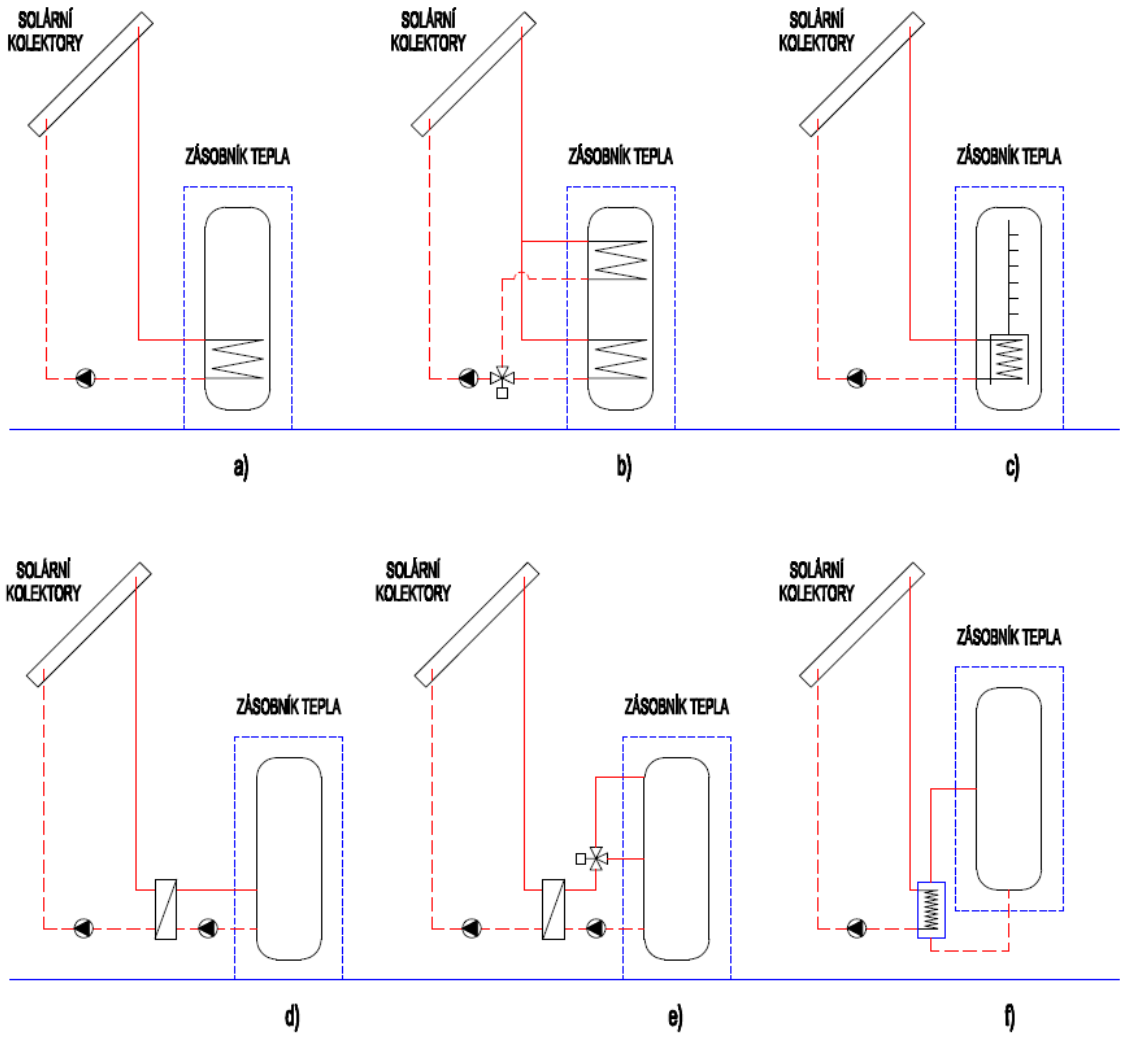
Typy solárních tepelných soustav formální členění

plná soustava: soustava, v níž kolektory zůstávají naplněné teplonosnou látkou

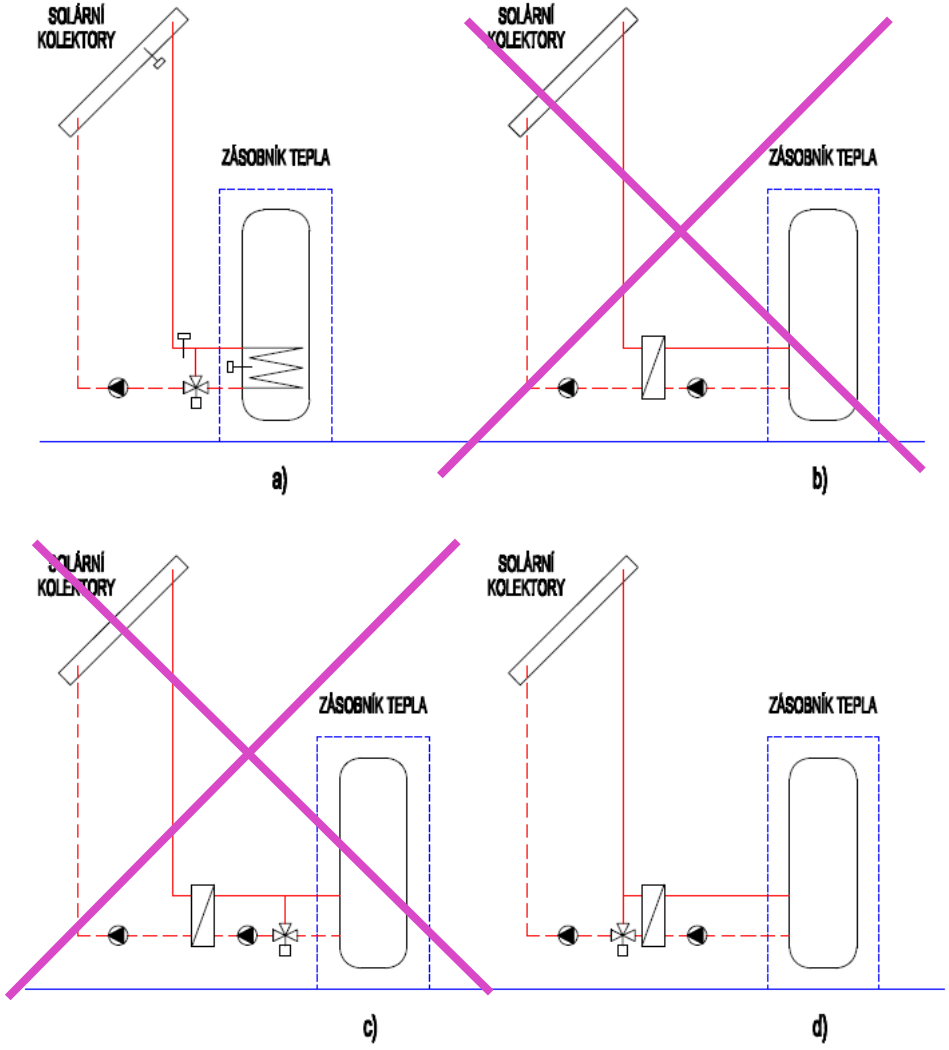
vyprazdňující se soustava: solární tepelná soustava ve které se pravidelně, jako část pracovního cyklu, teplonosná látka vyprázdní ze slunečního kolektoru do zásobníku po vypnutí oběhového čerpadla a po jeho zapnutí se kolektory teplonosnou látkou znovu zaplní

vypouštěcí soustava: soustava s přímým průtokem, ze které může být voda z kolektorů vypouštěna do odpadu, obyčejně jako ochrana před zamrznutím

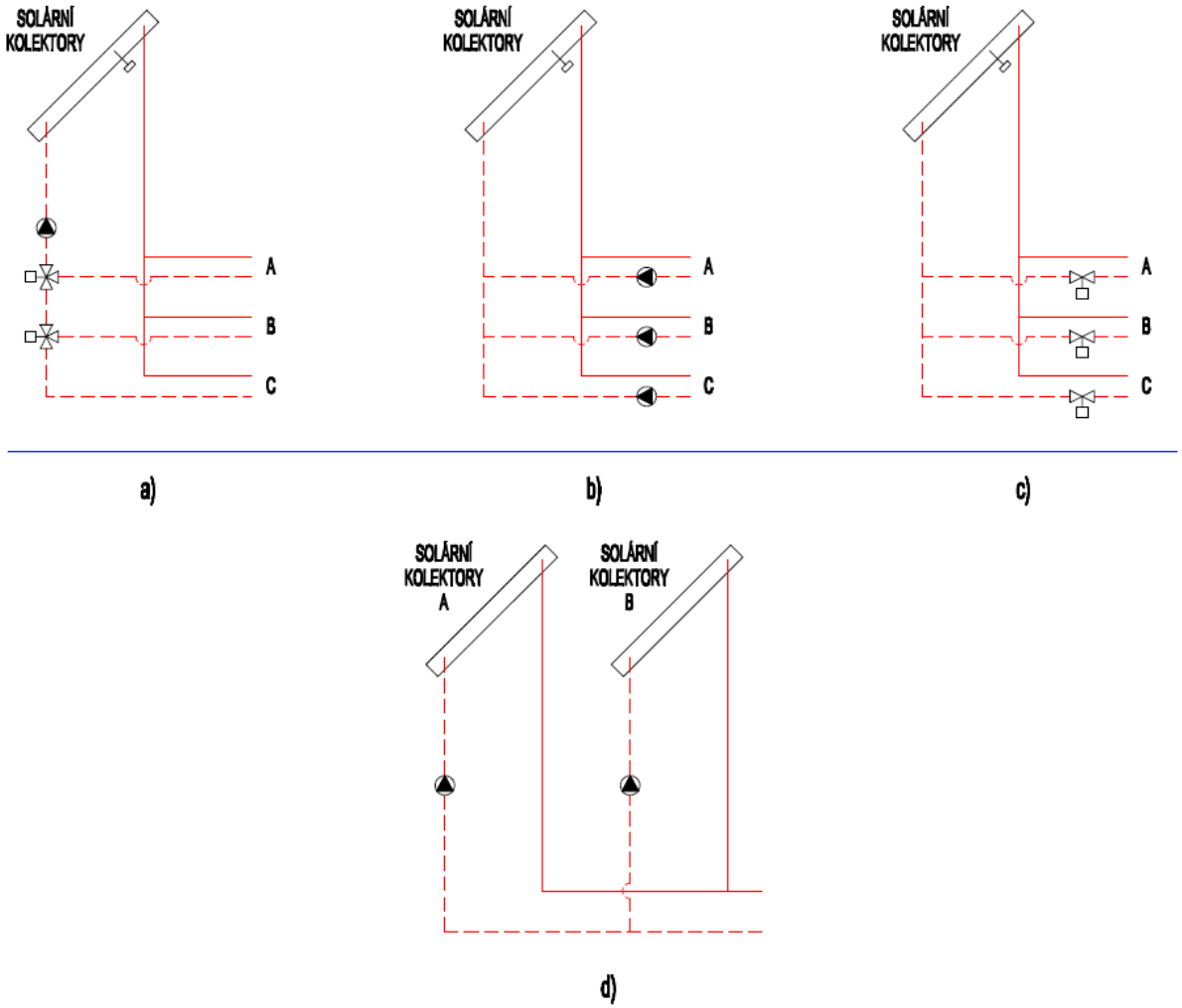
Zapojení kolektorů slunečního záření



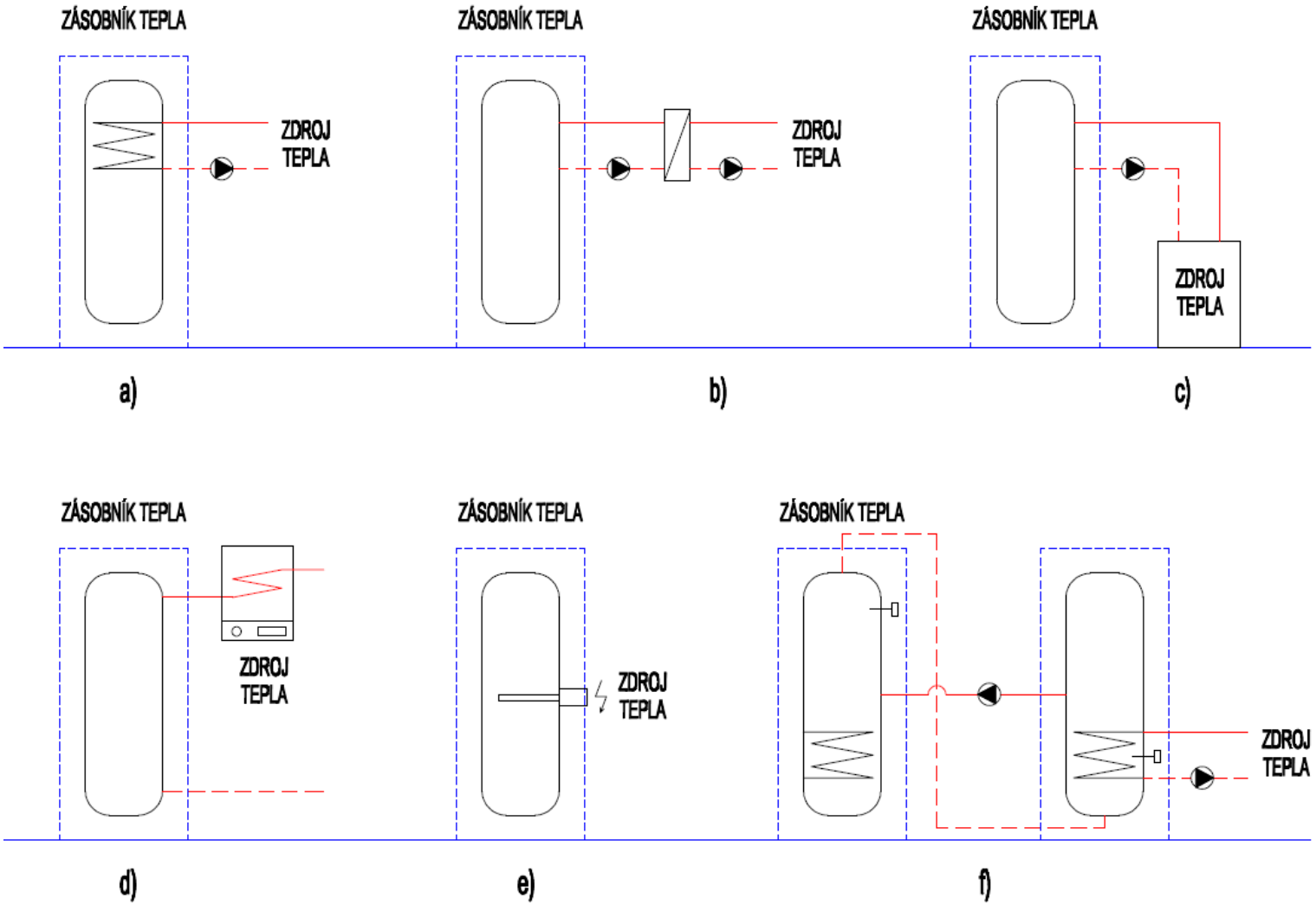
Zapojení kolektorů slunečního záření



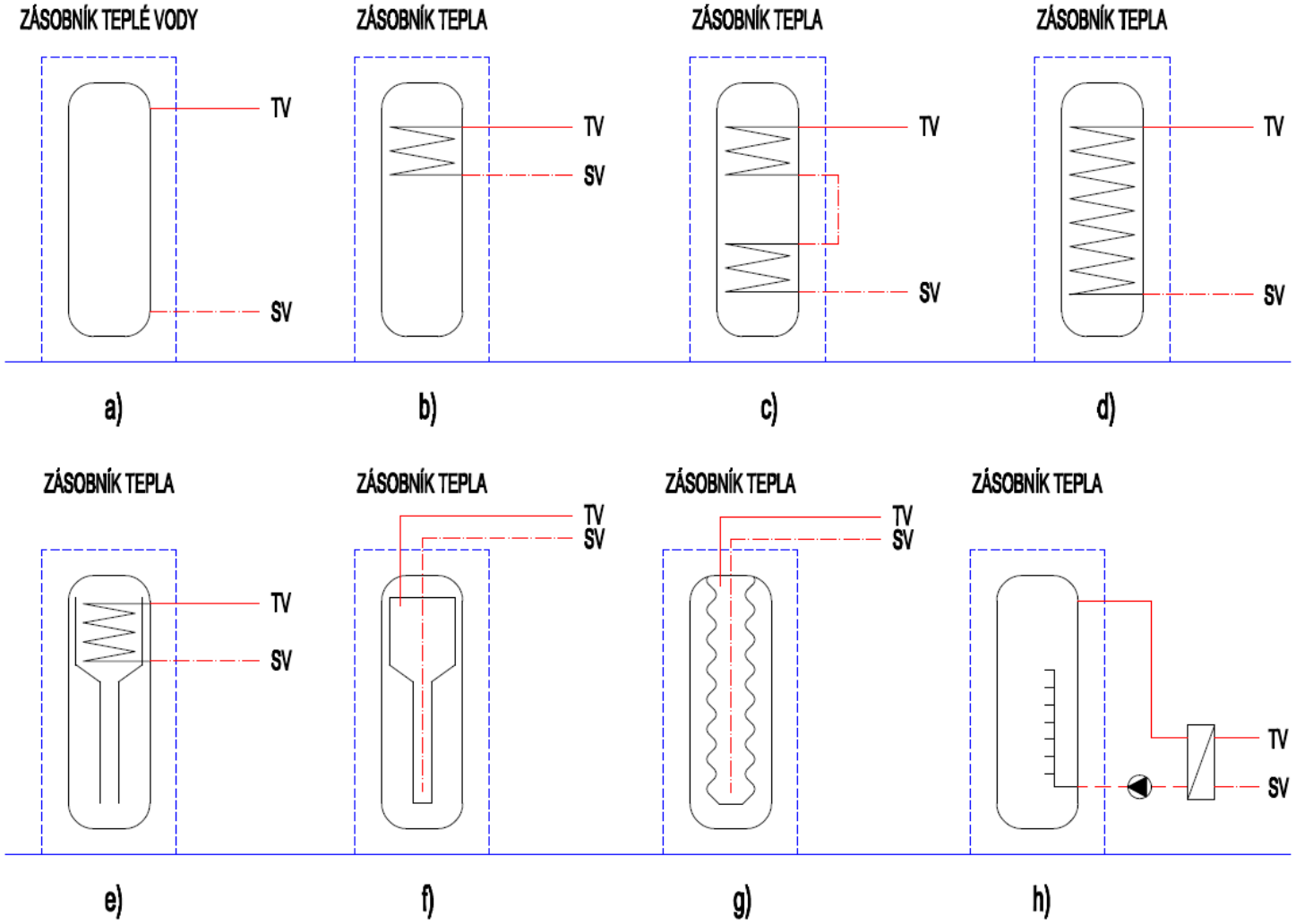
Zapojení kolektorů slunečního záření



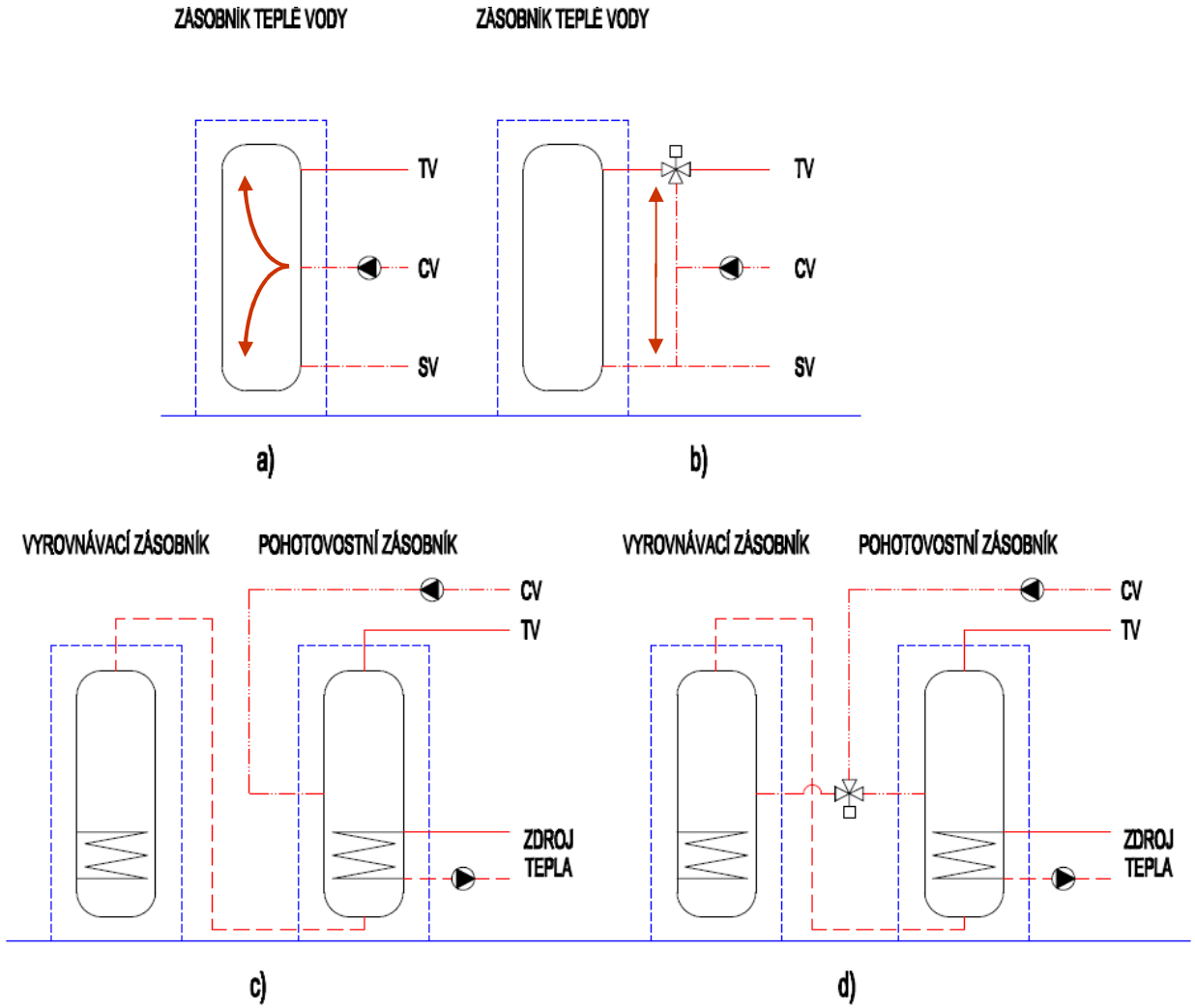
Zapojení dodatkového zdroje tepla



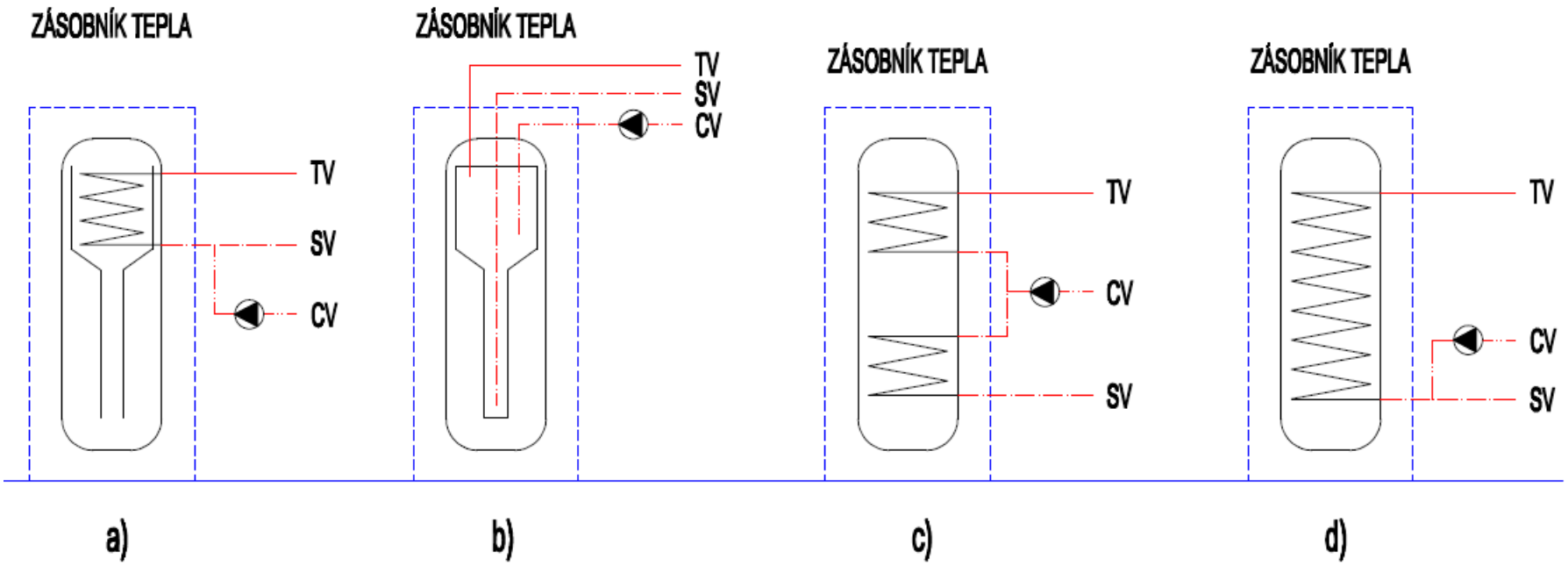
Zapojení odběru tepla



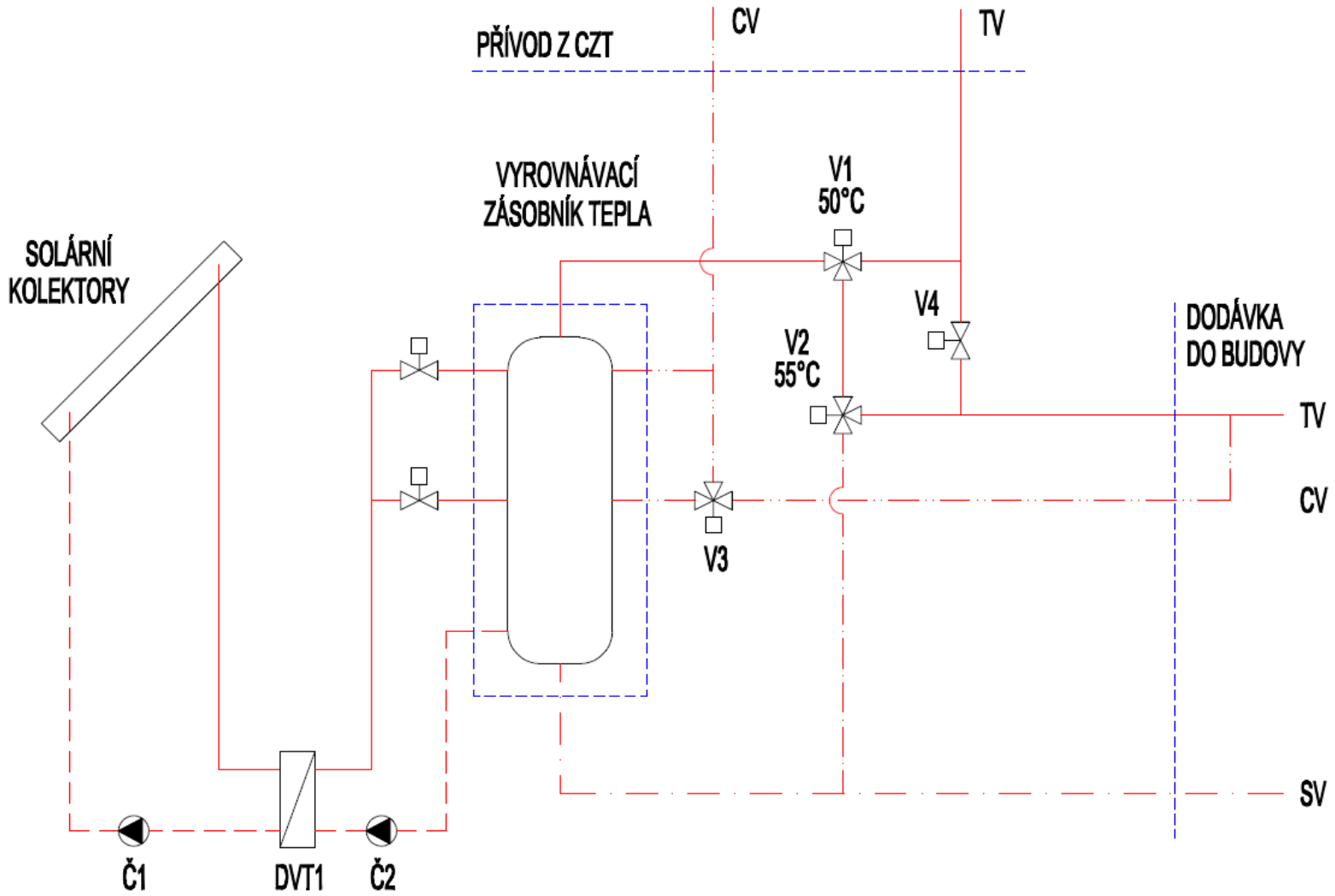
Řešení cirkulace standardní AN



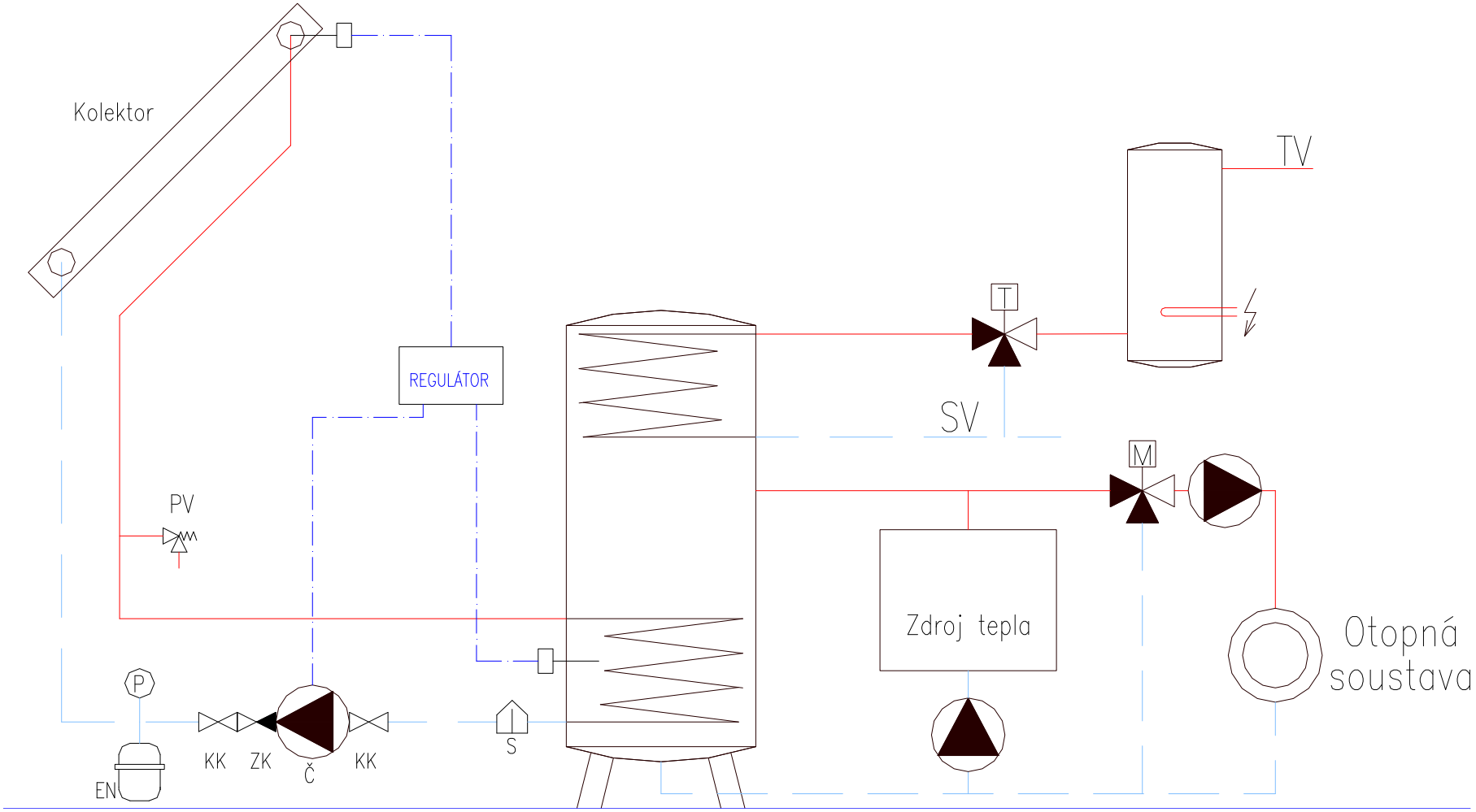
Řešení cirkulace kombi systém



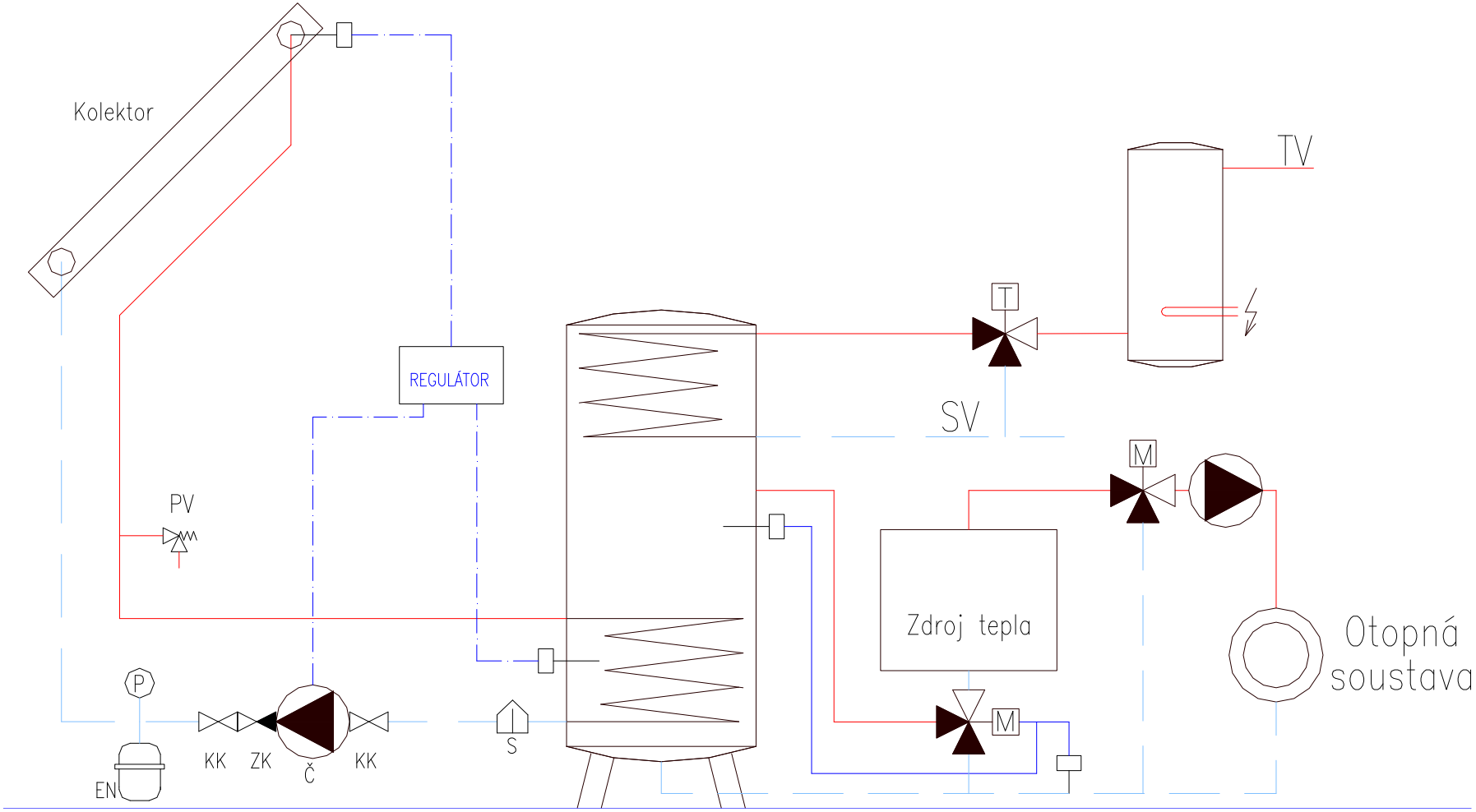
Napojení na CZT



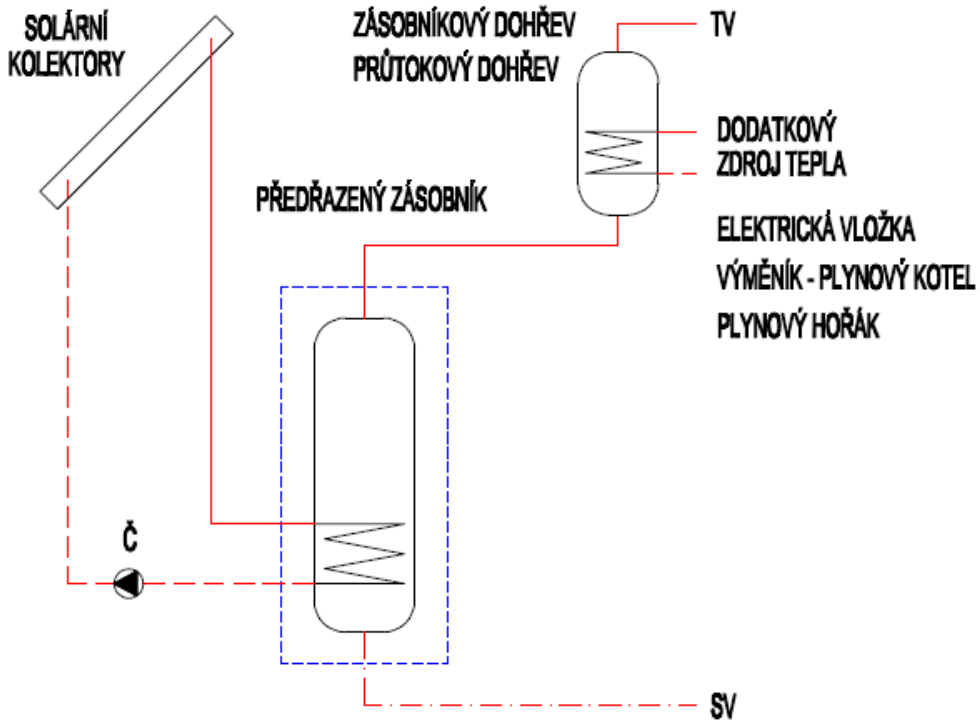
Různé zdroje tepla
- bez modulace výkonu

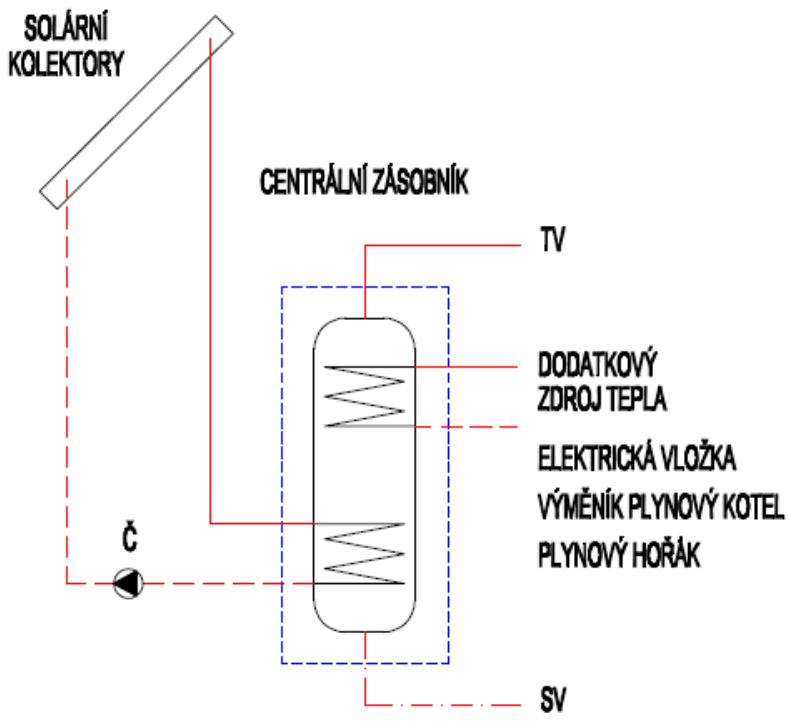


Různé zdroje tepla
- s modulací výkonu

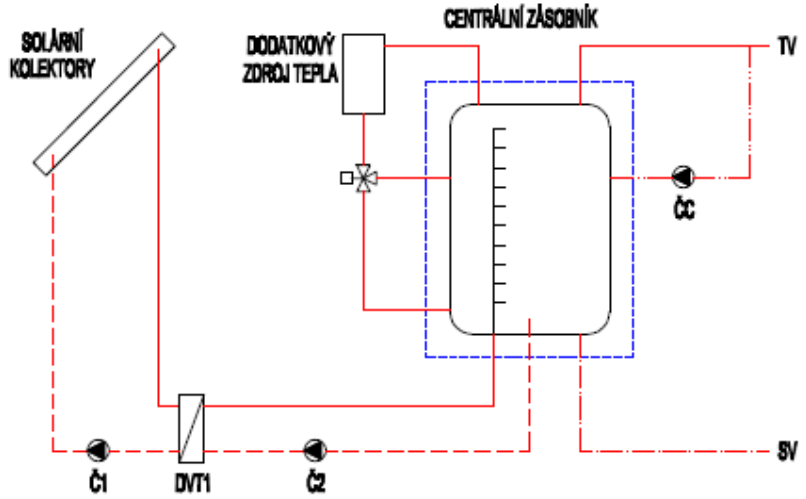


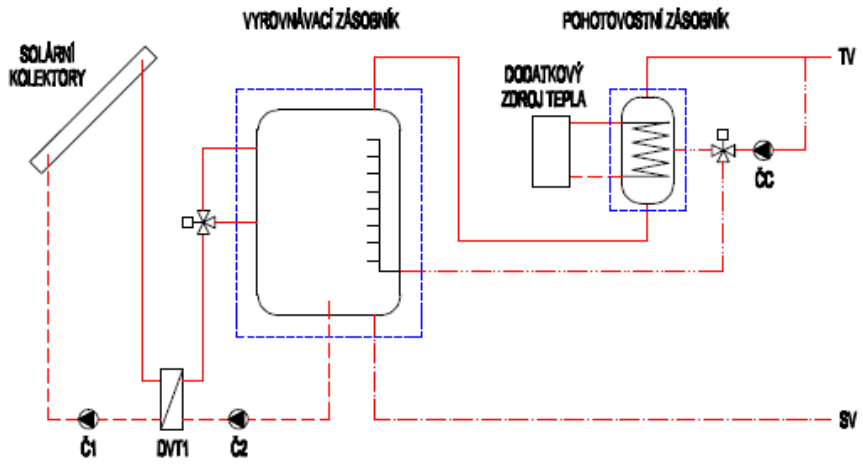
Maloplošné solární soustavy

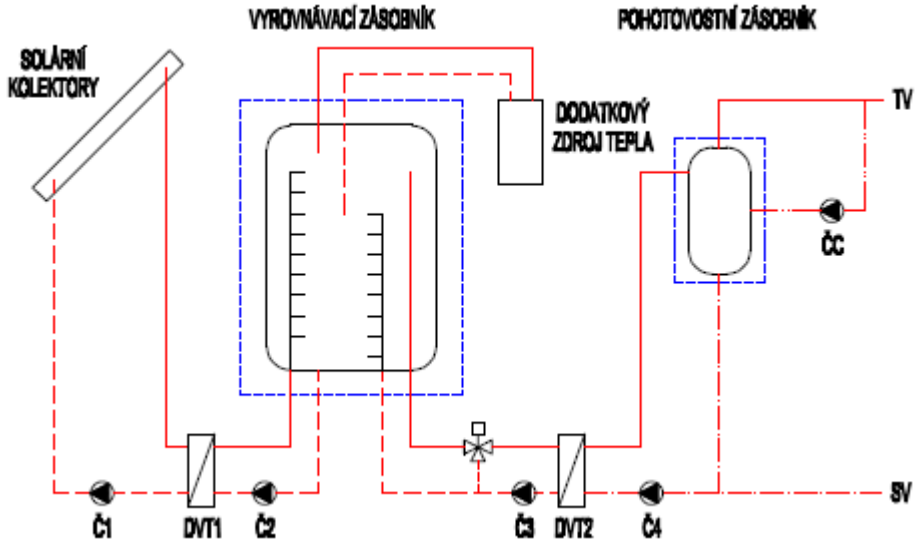




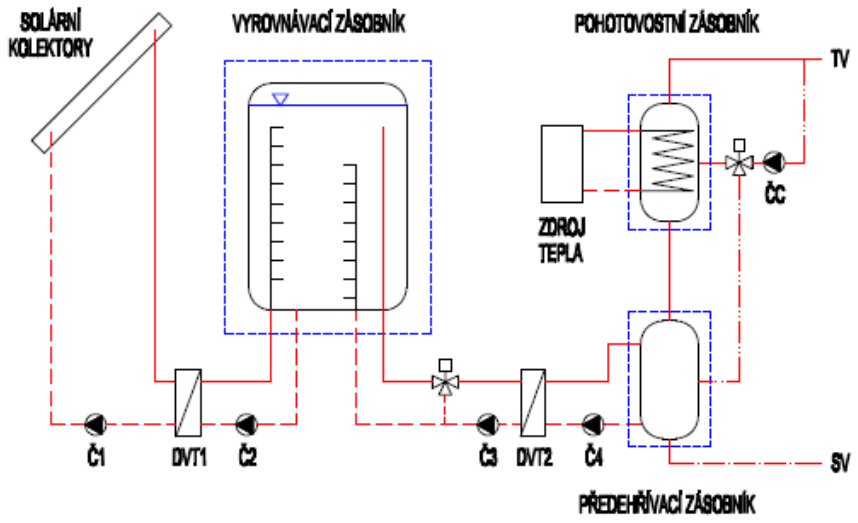
Středněplošné a velkoplošné solární soustavy

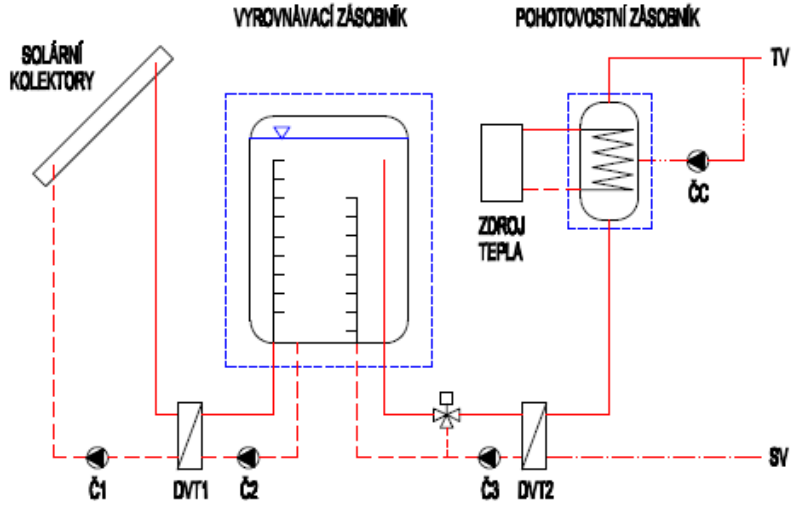




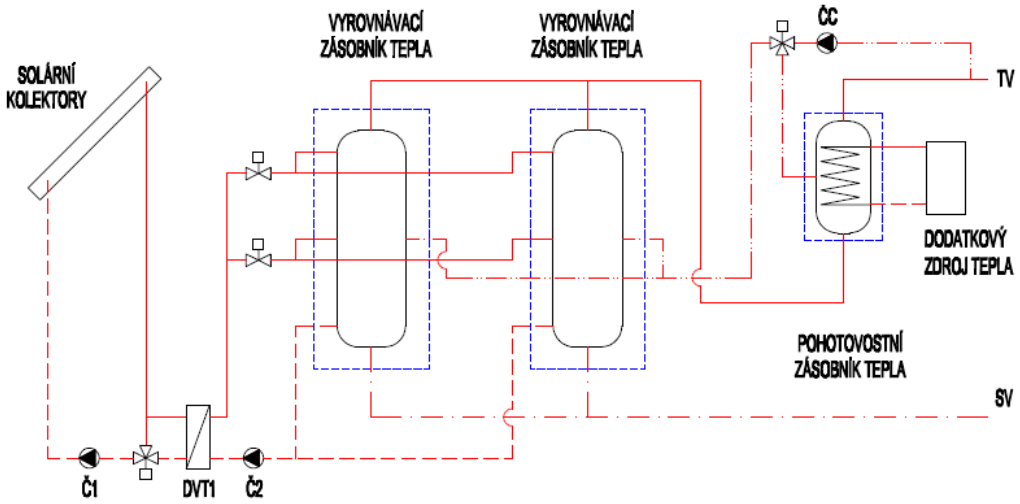


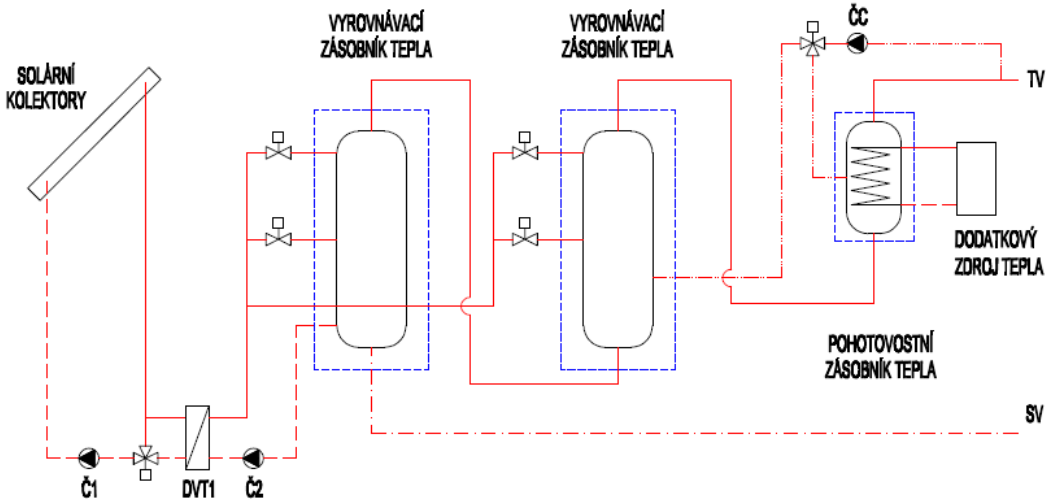
Středněplošné a velkoplošné solární soustavy



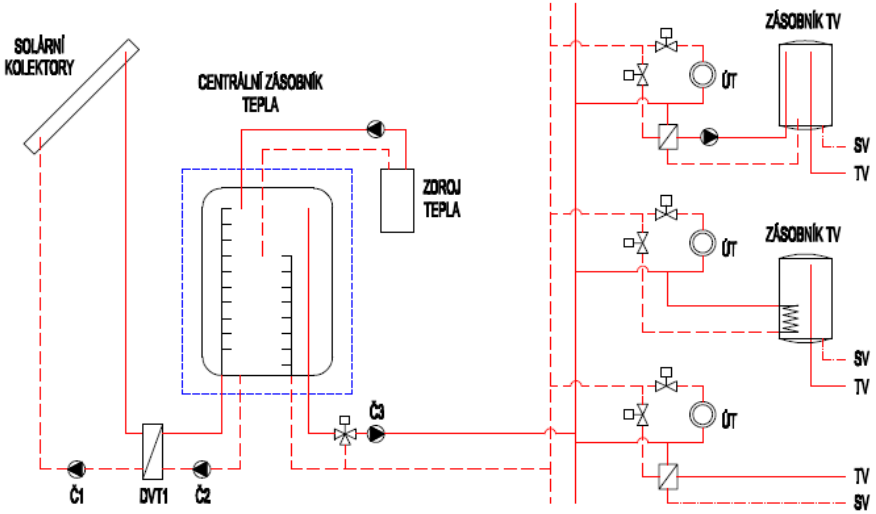


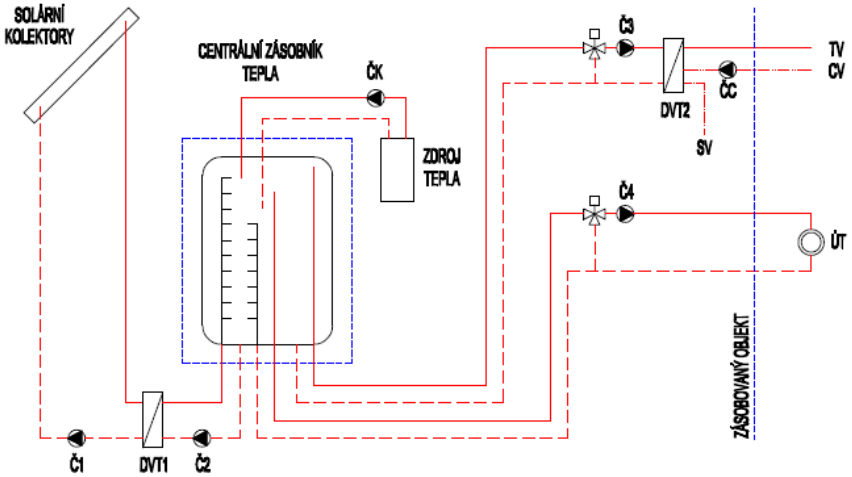
Středněplošné a velkoplošné solární soustavy



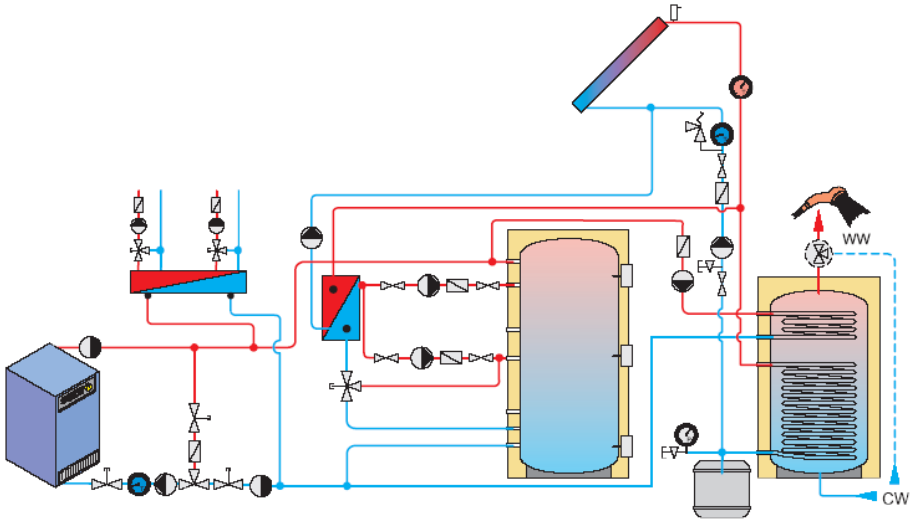


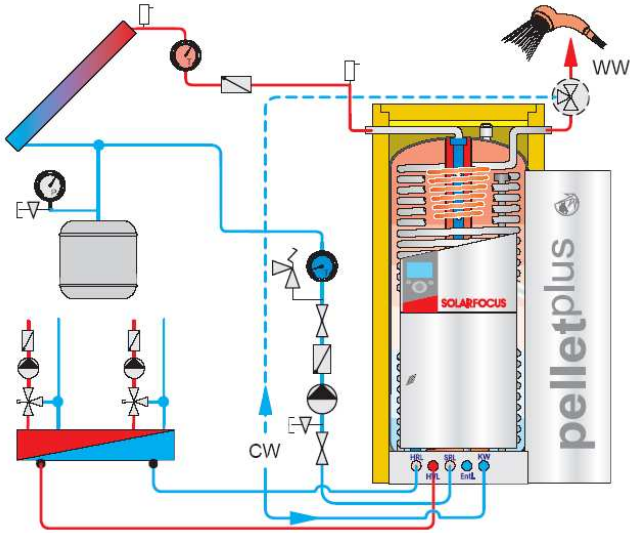
Středněplošné a velkoplošné solární soustavy



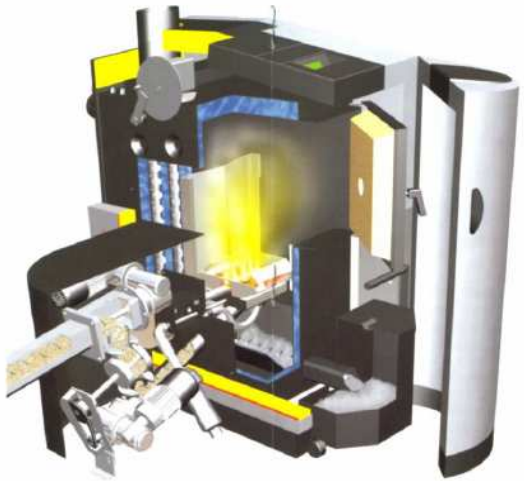


Snaha o integraci

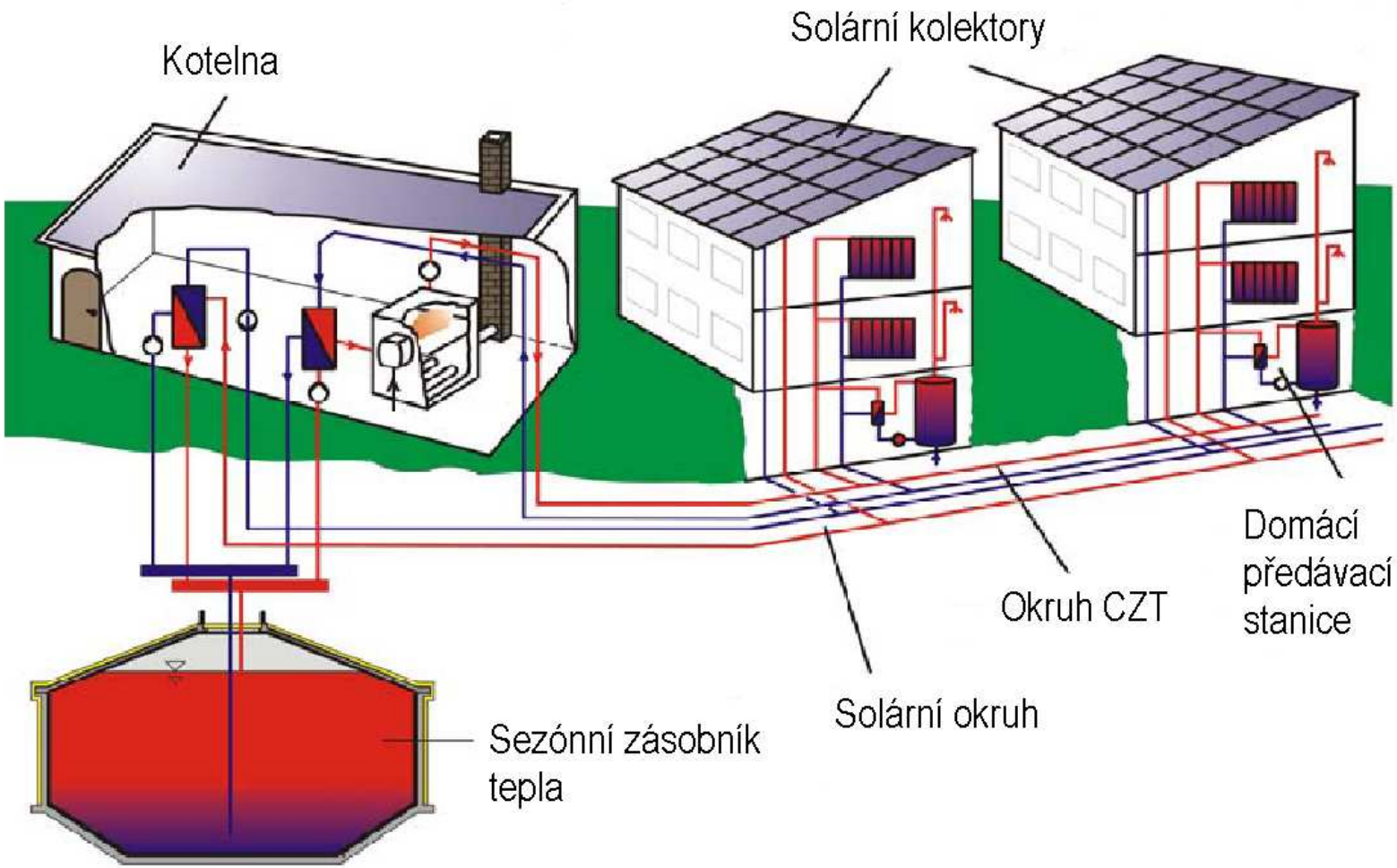




- kotel a akumulátor jsou integrovány a nelze je rozdělit
- plně automatický provoz, integrovaná regulace
- snížení tepelných ztrát

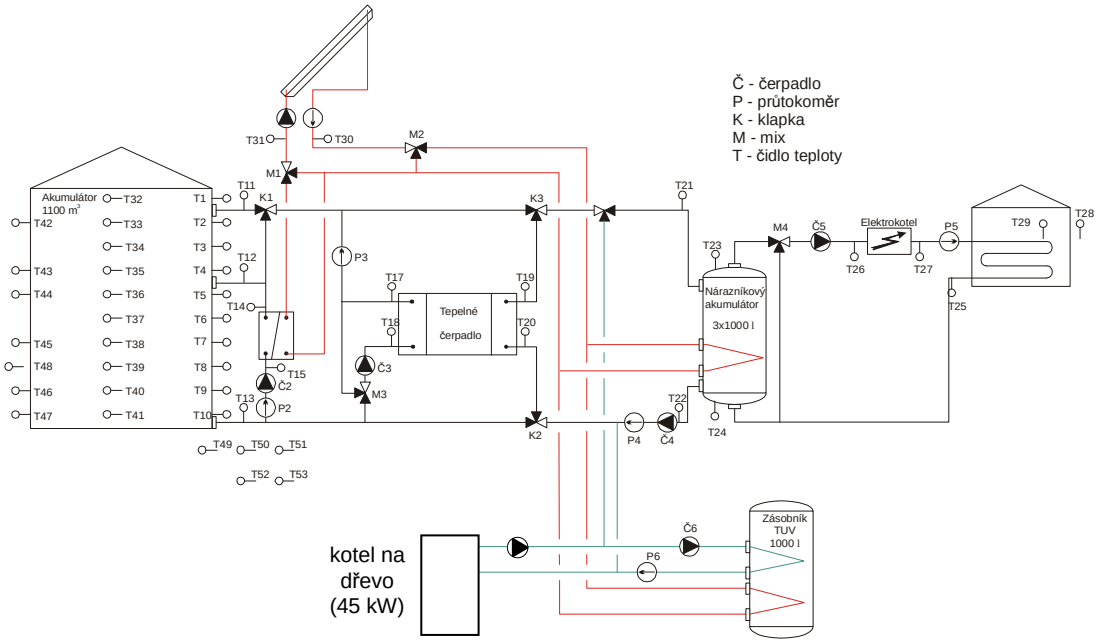


Velkoplošné systémy - decentrální

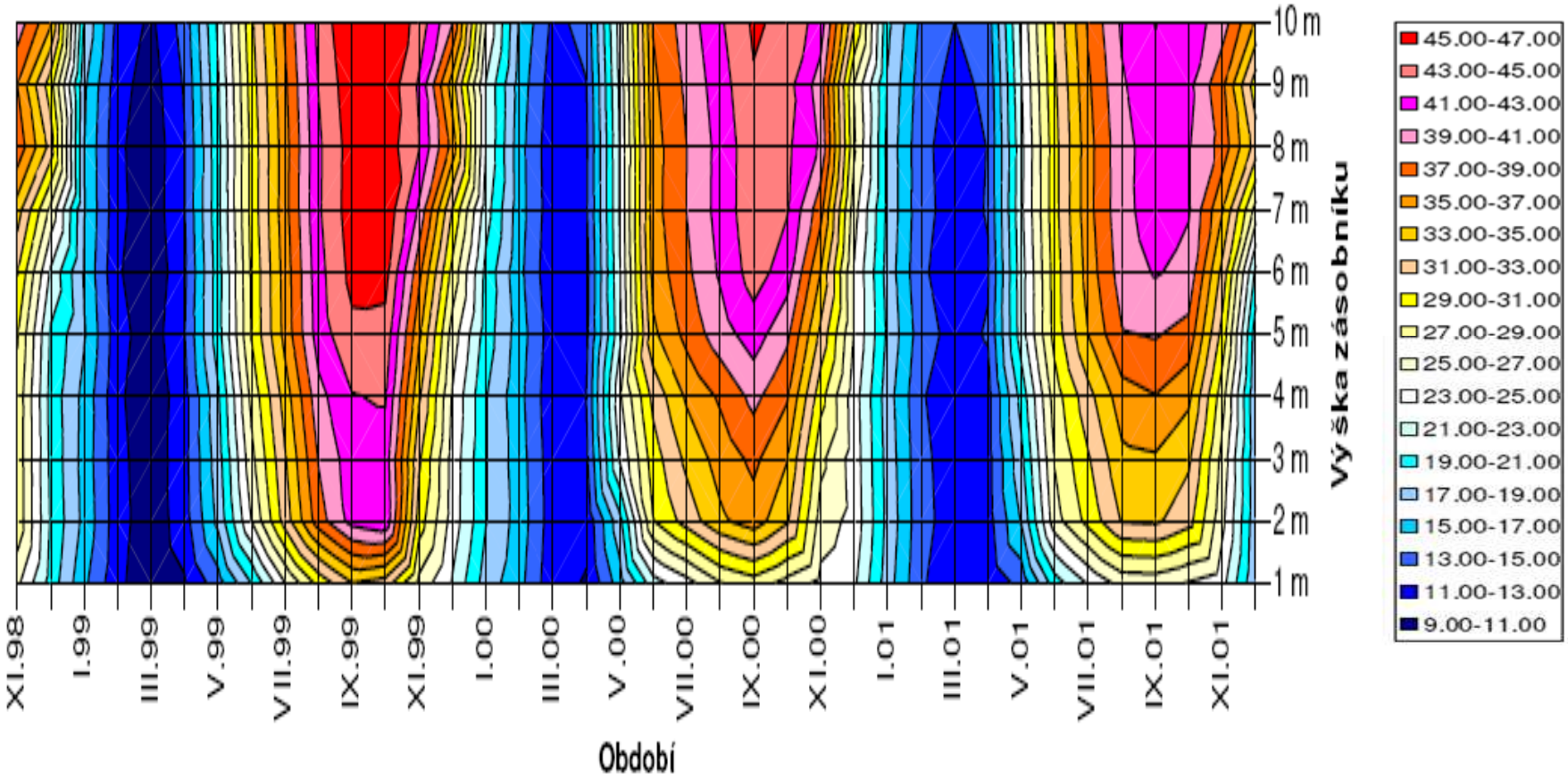


Velkoplošné systémy - centrální

- **Dům sociální péče Slatiňany**
- solární kolektory: **148 m²**
- sezónní zásobník: **1100 m³**
- tepelné čerpadlo **37 kW**, záloha **5 x 7,5 kW**
- kotel na dřevo **45 kW**

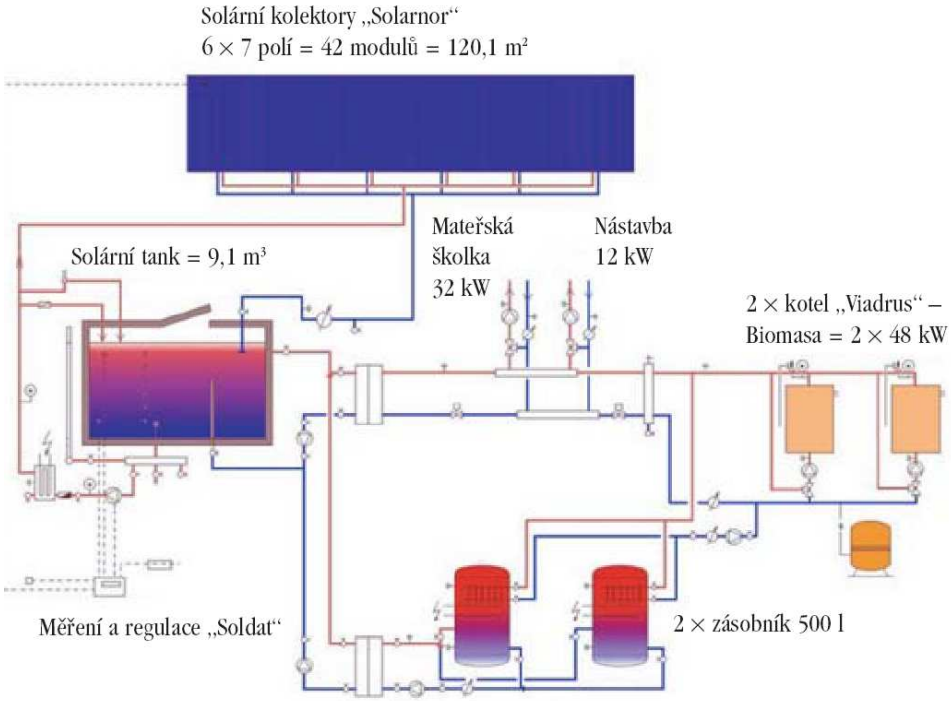


Rozložení teplot v zásobníku



Velkoplošné systémy - centrální

- **Ostrava – MŠ Proskovice**
- plocha kolektorů: **120 m²**, drain-back soustava (SOLARNOR)
- netlakový akumulační zásobník: **12 m³**
- zásobníky TUV: **2 x 500 l**

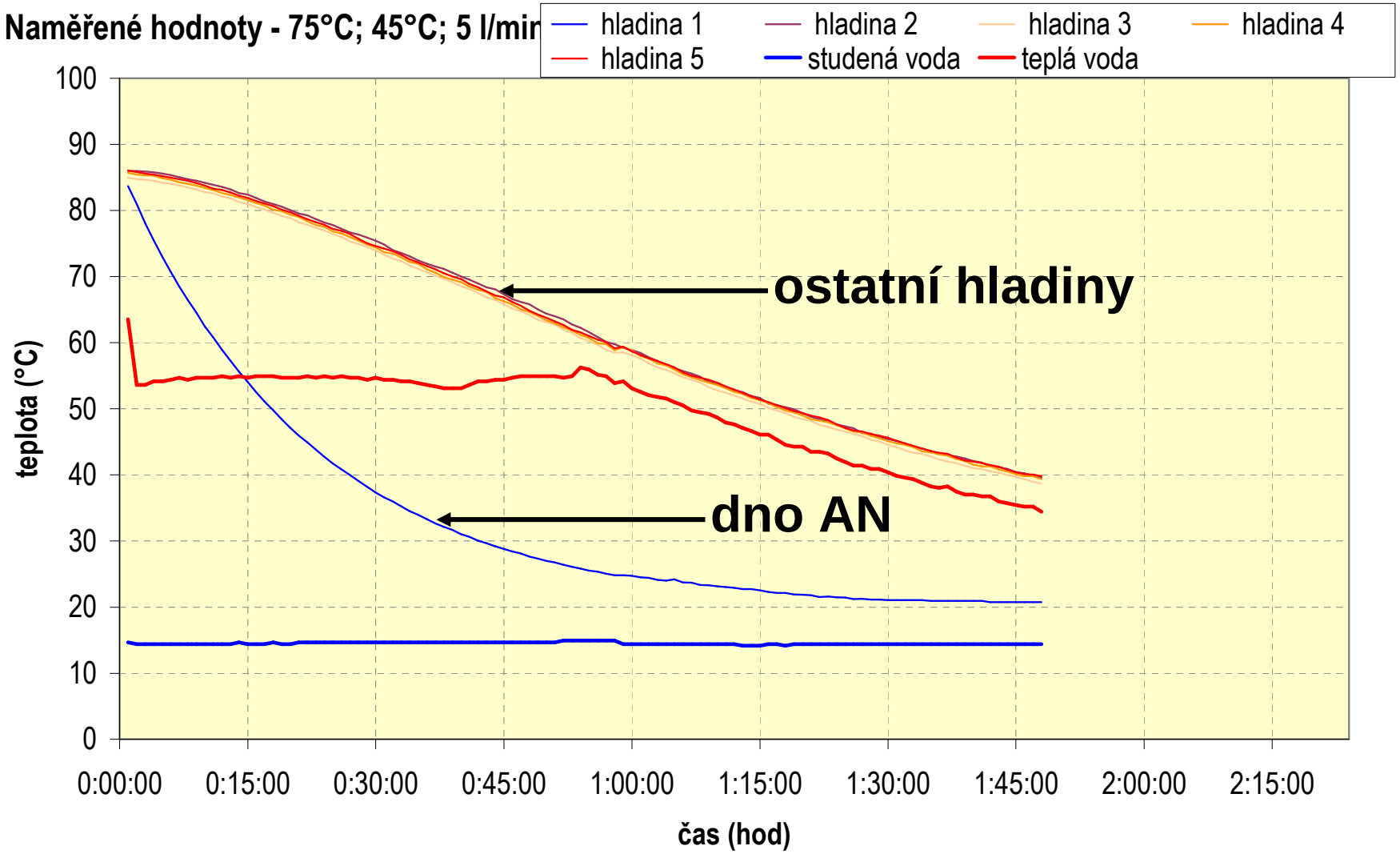


Děkuji za pozornost

a nashledanou v 9.patře

(7. patro páter-noster, v 8. patře projít katedrou až na konec chodby a po schodech do 9. patra)

Chladnutí AN



Navrhování a bilancování solárních soustav

Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze

Solární soustavy

Typy aplikací:

- **příprava teplé vody**
- **příprava teplé vody a vytápění**
- **ohřev bazénové vody**
- průmyslové aplikace (technologické teplo)
- solární chlazení a klimatizace
- sezónní akumulace tepla

Návrh plochy a bilancování zisků

Návrh plochy solárních kolektorů A_k

- pro zajištění určitého stupně pokrytí *f*
- pro daný **návrhový den** v návrhovém měsíci (okrajové podmínky)
- stanovení potřeby tepla v dané aplikaci
- stanovení využitelných zisků ze solárních kolektorů
- z porovnání vyplývá potřebná plocha kolektorů $\boldsymbol{A_k}$ pro zvolené pokrytí potřeby tepla (nejčastěji 100 % v návrhovém měsíci)

Návrh plochy a bilancování zisků

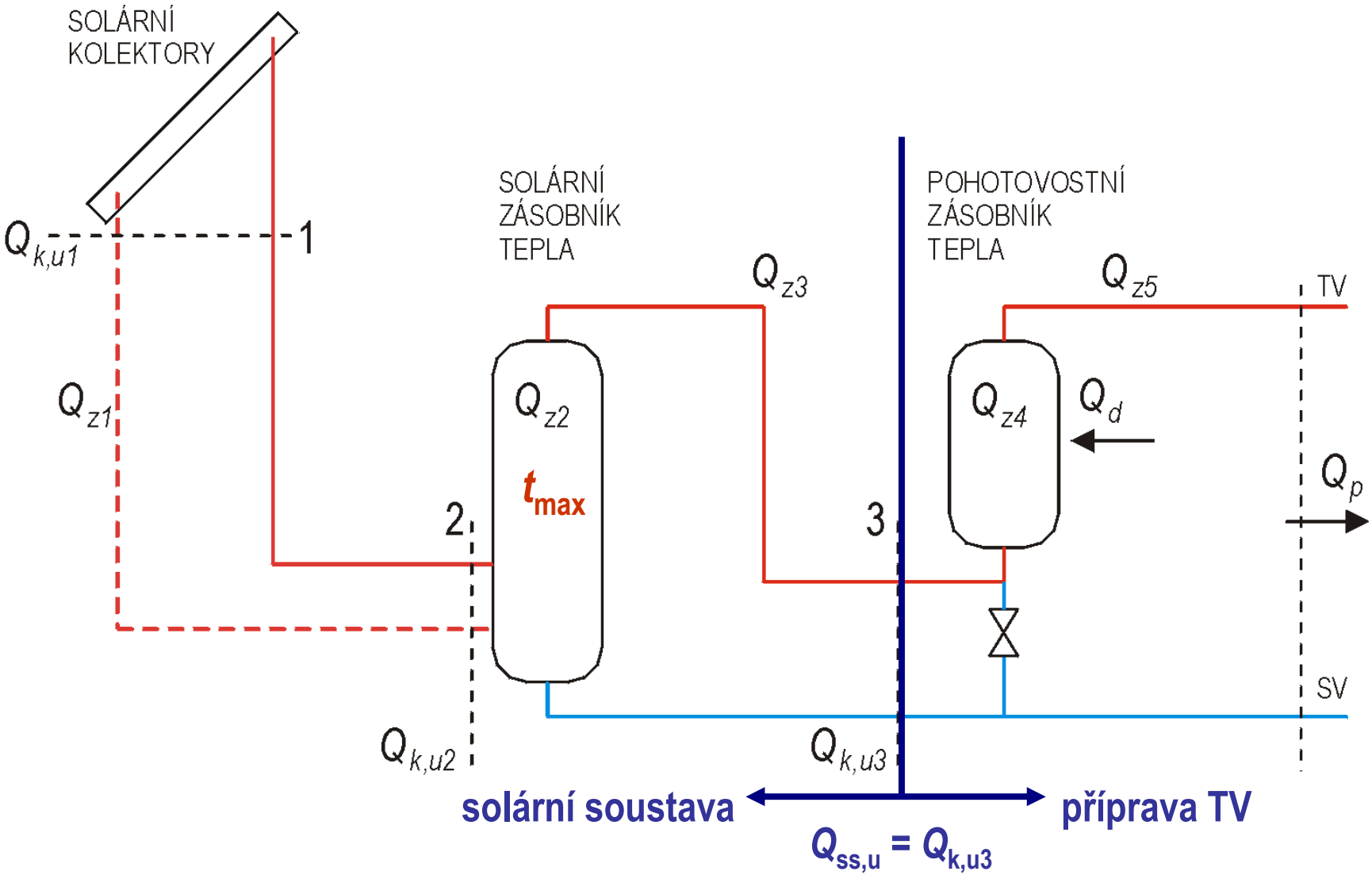
Bilancování solární soustavy

- pro danou plochu solárních kolektorů A_k
- pro **všechny měsíce roku** (referenční dny, okrajové podmínky roku)
- stanovení potřeby tepla v dané aplikaci
- stanovení využitelných zisků ze solárních kolektorů
- z porovnání vyplývá využitelnost zisků z kolektorů pro krytí potřeby tepla, **přebytky nelze započítat**

Kritéria návrhu plochy kolektorů

- **rozhodovací kritéria**
  - maximalizace měrných zisků solární soustavy $q_{ss,u}$ [kWh/m^{2}rok]
  - maximalizace solárního pokrytí f [%] - maximální nahrazení primárních paliv
  - požadovaný solární podíl f (optimalizace návrhu)
  - podmínky struktury budovy, omezující parametry (velikost střechy, možný sklon kolektorů, architektonické souvislosti)

Základní veličiny



Obecný postup návrhu plochy SK

- celková potřeba tepla $\boldsymbol{Q_{p,c}}$ v daném období (den, měsíc), která má být kryta (nebo její část $\boldsymbol{f} \cdot \boldsymbol{Q_{pc}}$)
  - vlastní potřeba tepla v dané aplikaci Q_p (denní potřeba)
  - tepelné ztráty soustavy (rozvody, zásobník) v daném období Q_z
    - detailní výpočet
    - paušální přirážka

- potřeba tepla na přípravu teplé vody
- potřeba tepla na vytápění
- potřeba tepla na krytí tepelných ztrát bazénu a ohřev přiváděné vody

Obecný postup návrhu plochy SK

- využitelný tepelný zisk $\boldsymbol{Q_{k,u}}$ [kWh/m^2] solárních kolektorů v daném období (den, měsíc)
  - skutečná denní dávka slunečního ozáření plochy kolektoru $\boldsymbol{H_{T,den}}$
  - účinnost solárního kolektoru v dané aplikaci $\boldsymbol{\eta_k}$
  - tepelné ztráty solární soustavy $\boldsymbol{Q_{z,ss}}$
    - detailní výpočet
    - paušální přirážka $\boldsymbol{p}$

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

Příprava teplé vody

- **zásadně:** úsporná opatření provést před návrhem solární soustavy
  - úsporné výtokové armatury
  - individuální měření spotřeby teplé vody
  - minimalizace délky rozvodů teplé vody
  - omezení tepelných ztrát rozvodů teplé vody a cirkulace
  - omezení běhu cirkulace teplé vody na nezbytné minimum
    časové spínání, spínání podle teploty
  - hydraulické vyvážení dlouhých a větvených tras

Potřeba teplé vody

- **stávající budovy:**
  - nutné vycházet ze skutečné spotřeby TV v objektu
  - dlouhodobé měření na patě objektu
  - zohlednění teplotní úrovně
  - měření skutečné spotřeby tepla
  - souhrnné údaje za delší časové období (poslední rok)

  - několik celodenních měření příložnými průtokoměry na patě objektu

Potřeba teplé vody

- **novostavby:**
  - nejsou k dispozici reálná data
  - směrné hodnoty z literatury

bytové objekty (60 / 15 °C)	
nízký standard	10 až 20 l/os.den
střední standard	20 až 40 l/os.den
vysoký standard	40 až 80 l/os.den

ENERGO 2004:

49 l/os.den, vč. ztrát

další údaje lze nalézt v ČSN EN 15316-3-1, VDI 2067-4, Sešit projektanta Solární tepelné soustavy

Potřeba teplé vody

- **přepočet pro jiné t_{SV}, t_{TV}**

normalizovaná potřeba TV $$V_{TV(60/15)} = V_{TV(t2/t1)} \frac{t_2 - t_1}{60 - 15}$$

t_2 skutečná teplota teplé vody

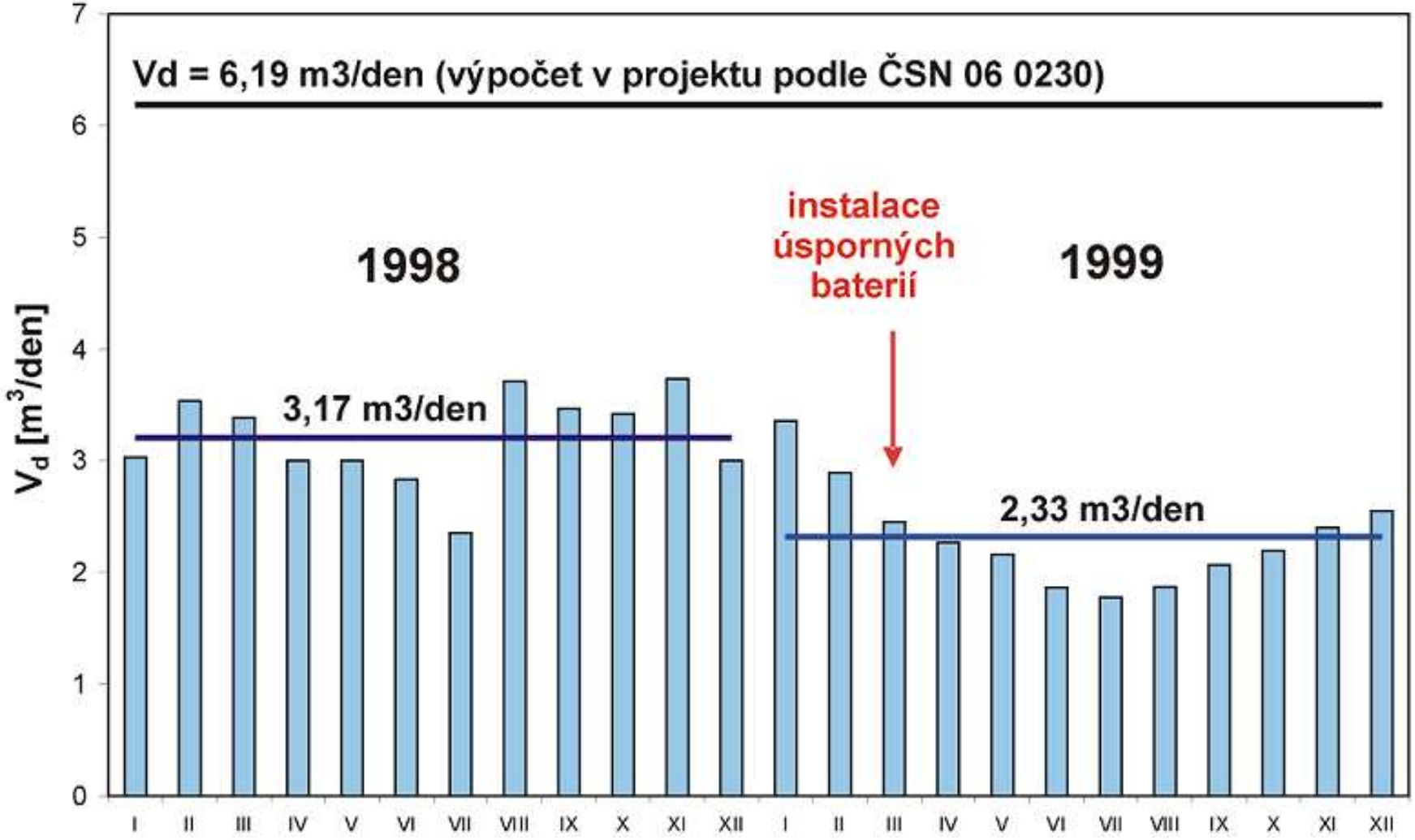
t_1 skutečná teplota studené vody

Příklad: 50 litrů při 35 °C ~ 22 litrů při 60 °C

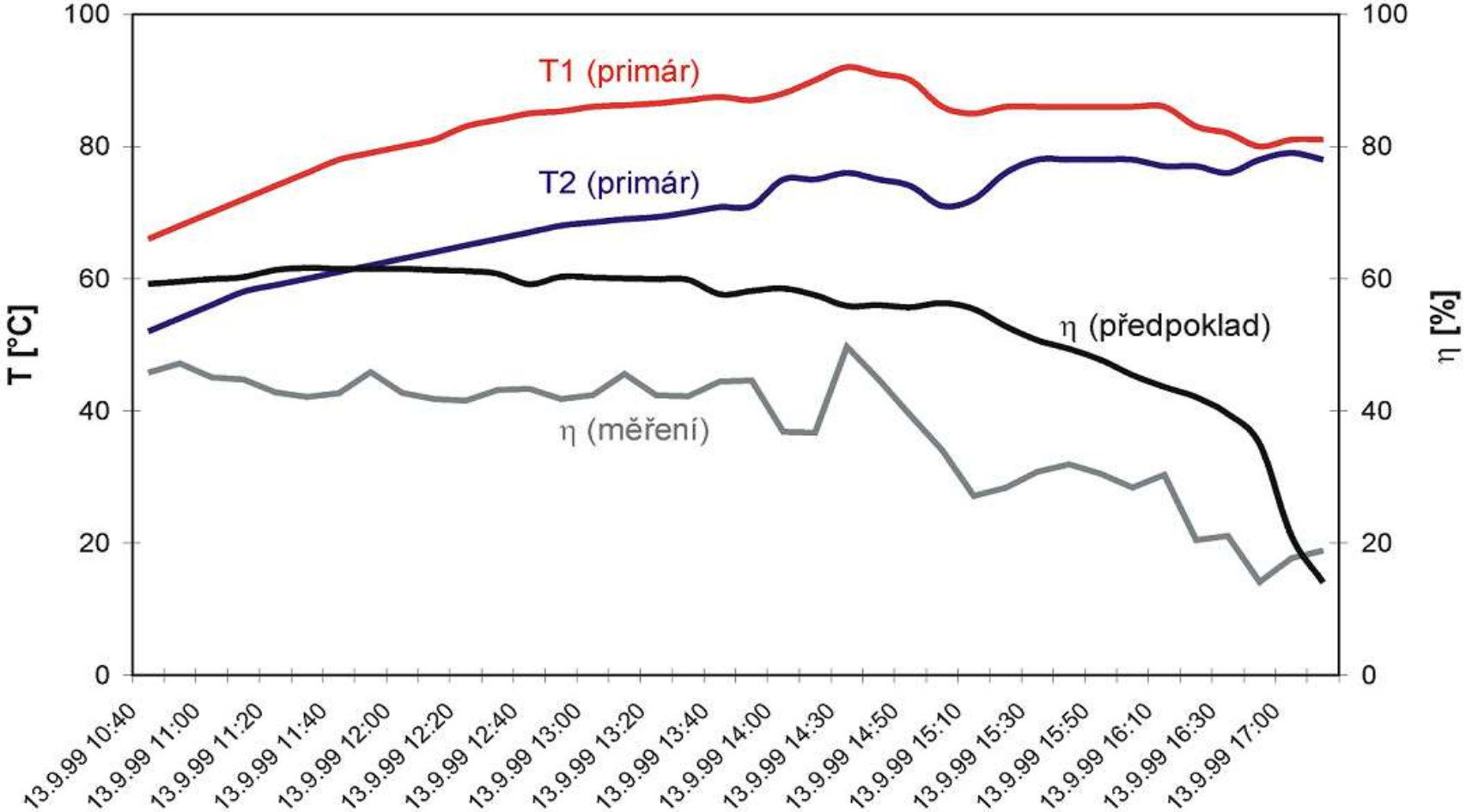
Potřeba teplé vody (ČSN 06 0320)

- **zásadně nepoužívat** údaje o potřebě TV z normy ČSN 06 0320 – Ohřívání užitkové vody – Navrhování a projektování
- **82 l/os.den (55 / 10 °C); 4,3 kWh/os.den**
- norma je určena pro návrh objemu a tepelného příkonu ohřívače (vyhovět i extrémním podmínkám)
- nevhodné pro návrh solárních soustav – předimenzované plochy vedou k četným odstávkám zvláště během léta

Předimenzovaná soustava

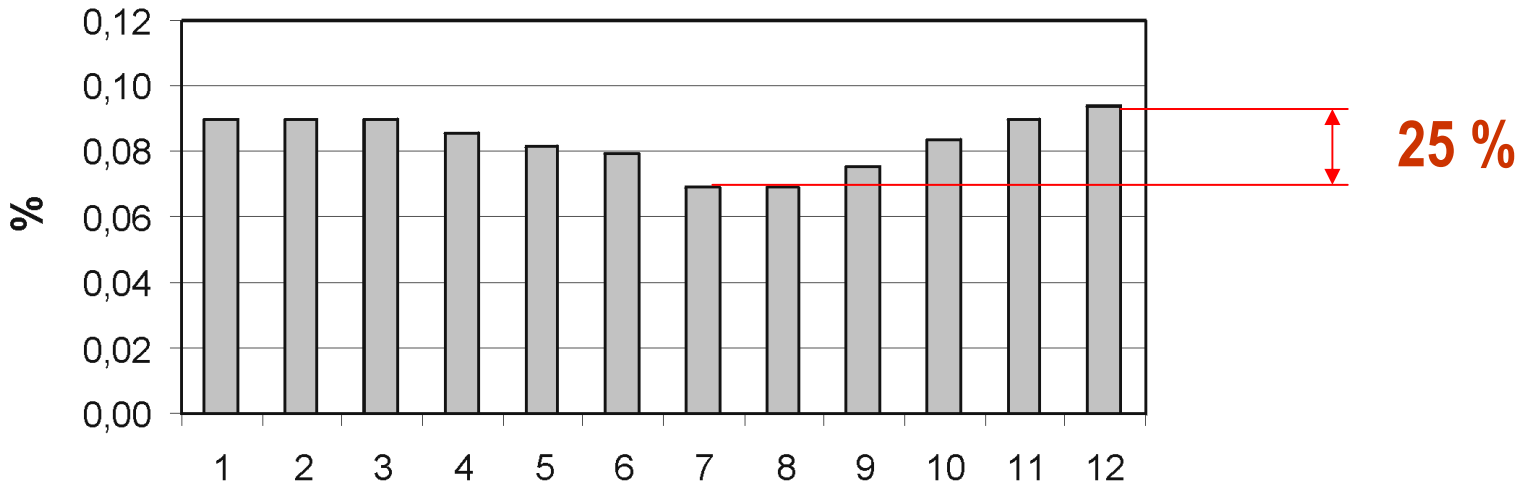


Předimenzovaná soustava



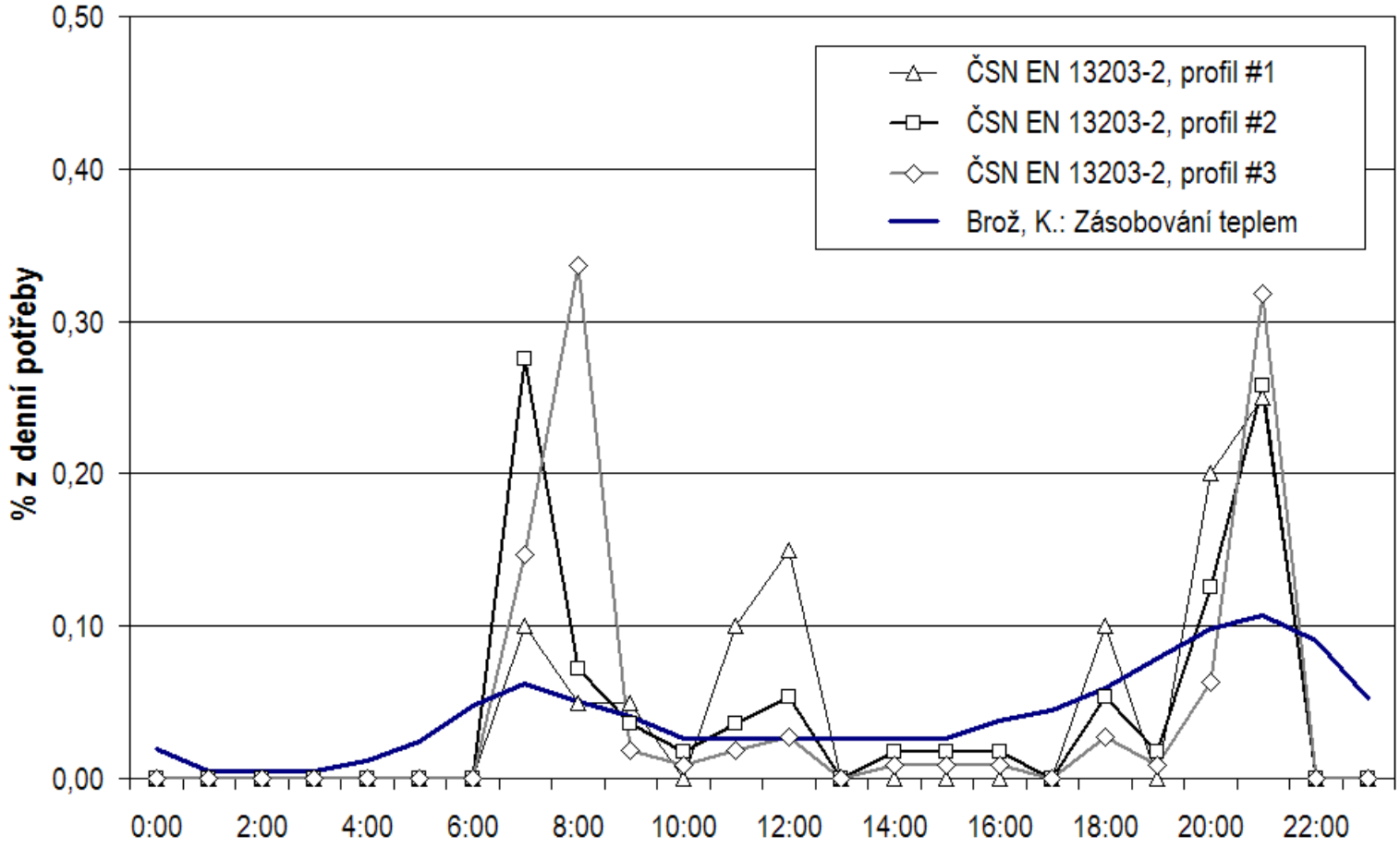
Profil potřeby teplé vody

- **letní pokles (bytové domy) oproti zimnímu období:**
  - školní prázdniny, dovolená
  - vyšší teplota studené vody
  - chování uživatelů (letní sprcha, zimní vana)



Profil potřeby teplé vody

- **denní profil (hodinové simulace, simulační softwary)**



Denní potřeba tepla na ohřev TV

$$Q_{TV} = \frac{V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3{,}6 \times 10^6}$$

$V_{TV,den}$	průměrná denní potřeba teplé vody	[m^3/den]
ρ	hustota vody	998 kg/m^3
c	měrná tepelná kapacita vody	4187 J/kg.K
t_{SV}	teplota studené vody	15 °C
t_{TV}	teplota teplé vody	60 °C

Tepelné ztráty přípravy TV

- **denní tepelná ztráta $Q_{z,TV}$**
  - vlastní přípravy TV (zásobníky, ohřívač)
  - rozvod teplé vody (TV, CV)

- **podrobný výpočet** (precizní, ale komplikovaný, náročný na vstupní údaje)
  - ČSN EN 15316-3-2: rozvody TV a CV (využití denních profilů odběru)
  - ČSN EN 15316-3-3: příprava, zásobníky (využití denních profilů odběru, využití denních profilů nabíjení)

Tepelné ztráty přípravy TV

- **paušální přirážka** $$Q_{p,c} = Q_{p,TV} = Q_{TV} + Q_{z,TV} = (1+z)\cdot Q_{TV}$$

Typ přípravy TV	***z***
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2,00

zdroj: TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup

Příprava TV a vytápění

- **kombinované** soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění
  - snížení spotřeby tepla na přípravu teplé vody (viz uvedené)
  - snížení spotřeby tepla na vytápění:
    nízkoenergetické a energeticky pasivní domy
  - nízkoteplotní otopné plochy (teplotní spád 45/35 °C):

    podlahové a stěnové vytápění, teplovzdušné vytápění
  - vhodná návaznost na ostatní zdroje tepla a technologie v budově včetně regulace
  - možnost využití letních přebytků tepla z kolektorů
  - vhodná orientace a sklon (70 - 90°)

Potřeba tepla na vytápění

- **ČSN EN ISO 13790** – Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení

  měsíční bilance, hodinová bilance, bilance za otopnou sezónu

  - tepelná ztráta prostupem a větráním
  - vnitřní tepelné zisky (osoby, spotřebiče)
  - solární zisky s ohledem na světové strany průsvitných konstrukcí
  - stupeň využití tepelných zisků na základě akumulační schopnosti objektu (výpočet tepelné kapacity, časové konstanty)
  - zohlednění speciálních konstrukcí (stínění oken, Trombeho stěna, aj.)

náročné na vstupní data – výsledky v dobré shodě s poč. simulacemi

Potřeba tepla na vytápění

- Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění
  - **TNI 73 0329 (rodinné domy)**
  - **TNI 73 0330 (bytové domy)**

okrajové podmínky výpočtu

- vnitřní zisky, přítomnost osob, max. uvažovaný počet osob
- výměna vzduchu (úroveň větrání), přítomnost osob
- klimatické údaje (venkovní teplota, sluneční záření)
- způsob výpočtu (měsíční)

Potřeba tepla na vytápění

- **denostupňová metoda**

$$Q_{VYT} = 24 \cdot \varepsilon \boxed{\dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})}}$$

denní potřeba tepla [kWh/den]

Q_z [kW]	výpočtová tepelná ztráta
t_{iv} [°C]	výpočtová vnitřní teplota
t_{ev} [°C]	výpočtová venkovní teplota
t_{ip} [°C]	průměrná vnitřní teplota během daného dne
t_{ep} [°C]	průměrná venkovní teplota během daného dne
ε [-]	korekční součinitel

Potřeba tepla na vytápění

- **korekční součinitel denostupňové metody**

Energetická náročnost budovy (vytápění)	ε
běžný standard tepelné vlastnosti konstrukcí vyhláškou požadované	0,75
nízkoenergetický standard, vyhláškou doporučené tepelné vlastnosti konstrukcí	0,60
pasivní standard tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot	0,50

zdroj: TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup

Potřeba tepla na vytápění

- **denostupňová metoda**

$$Q_{VYT} = 24 \cdot \varepsilon \boxed{\dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})}}$$

denní potřeba tepla [kWh/den]

Q_z [kW]	výpočtová tepelná ztráta
t_{iv} [°C]	výpočtová vnitřní teplota
t_{ev} [°C]	výpočtová venkovní teplota
t_{ip} [°C]	průměrná vnitřní teplota během daného dne
t_{ep} [°C]	průměrná venkovní teplota během daného dne
ε [-]	korekční součinitel

Potřeba tepla na vytápění

- **celková potřeba tepla na vytápění z věrohodného výpočtu (např. simulace)**
  - celková potřeba tepla na vytápění Q_{VYT} [kWh/rok]
  - měrná potřeba tepla na vytápění q_{VYT} [kWh/m^{2}rok]
- **rozpočet do jednotlivých měsíců, resp. dnů**

$$Q_{VYT,i} = Q_{VYT} \frac{\left(t_{ip} - t_{ep}\right)_i}{\sum_{IX}^{V}\left(t_{ip} - t_{ep}\right)} = q_{VYT} A_p \frac{\left(t_{ip} - t_{ep}\right)_i}{\sum_{IX}^{V}\left(t_{ip} - t_{ep}\right)}$$

t_{ep} průměrná denní venkovní teplota v jednotlivých měsících

Tepelné ztráty otopné soustavy

- **denní tepelná ztráta $Q_{z,VYT}$**
  - vlastní ohřev otopné vody (kombinovaný zásobník)
  - rozvod otopné vody (tepelné ztráty do nevytápěných místností)
  - setrvačnost otopné soustavy (přetápění)

- **podrobný výpočet** (precizní, ale komplikovaný, náročný na vstupní údaje)
  - ČSN EN 15316-2-1: sdílení tepla („účinnost“ otopných ploch)
  - ČSN EN 15316-2-3: rozvody tepla (otopné vody)

Tepelné ztráty otopné soustavy

- **paušální přirážka** $$Q_{p,VYT} = Q_{VYT} + Q_{z,VYT} = (1 + v) \cdot Q_{VYT}$$

v = **5 %**

zdroj: TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup

Potřeba tepla na přípravu TV a VYT

- celkového potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody se vyhodnocuje společně

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} + Q_{p,VYT}$$

Denní dávka slunečního ozáření

- celková teoretická denní dávka ozáření (jasná obloha) $H_{T,teor,den}$
- teoretická difúzní denní dávka ozáření (jasná obloha) $H_{T,dif,den}$
- teoretická doba trvání slunečního svitu τ_t
  - lze vypočítat z geometrie slunečního záření (doba mezi V a Z)
- skutečná doba trvání slunečního svitu τ_s (reálná oblačnost)
- poměrná doba trvání slunečního svitu τ_r
- skutečná denní dávka ozáření $H_{T,den}$

$$H_{T,den} = \tau_r \cdot H_{T,teor,den} + (1 - \tau_r) \cdot H_{T,dif,den}$$

zdroj údajů: Sešit projektanta Solární tepelné soustavy, přílohy (údaje pro různé oblasti, sklony, orientace)

Účinnost solárního kolektoru

- účinnost solárního kolektoru η_k (střední denní účinnost)
  - pro průměrnou teplotu kapaliny $t_{k,m}$ v kolektoru během dne
  - pro průměrnou venkovní teplotu v době slunečního svitu t_{es}
  - pro střední sluneční ozáření $G_{T,m}$ během dne na uvažovanou plochu (sklon, orientace) ... uvažován jasný den
- parametry použitého solárního kolektoru η_0, a_1, a_2
  - podklady výrobce, dodavatele, zkušebny, certifikačního orgánu

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

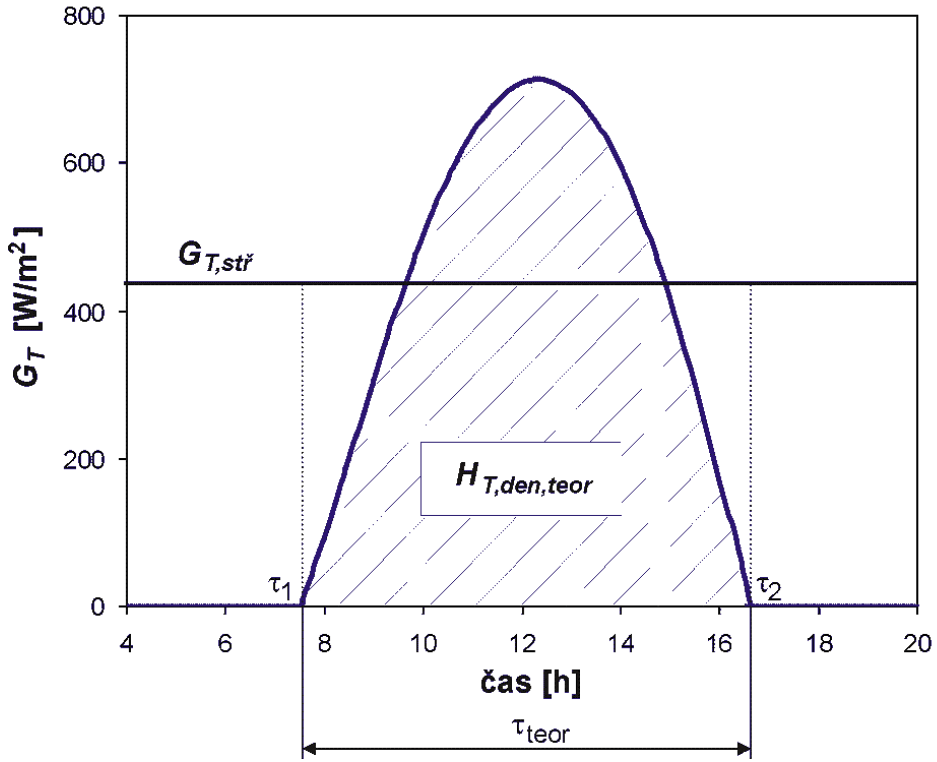
Účinnost solárního kolektoru

- průměrná denní teplota kapaliny v kolektoru $t_{k,m}$

Typ aplikace	$t_{k,m}$ [°C]
Ohřev bazénové vody (venkovní bazén)	30
Ohřev bazénové vody (vnitřní bazén)	35
Předehřev teplé vody, pokrytí < 35 %	35
Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %	40
Příprava teplé vody, pokrytí > 70 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí <25 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí > 25 %	60

Účinnost solárního kolektoru

- průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu t_{es}
- střední sluneční ozáření $G_{T,m}$
- uvažuje se jasný den solární soustava je v provozu



zdroj údajů: Sešit projektanta Solární tepelné soustavy, přílohy (údaje pro různé oblasti, sklony, orientace)

Navržená plocha solárních kolektorů

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

počet kolektorů $$n_k = \frac{A_k}{A_1}$$

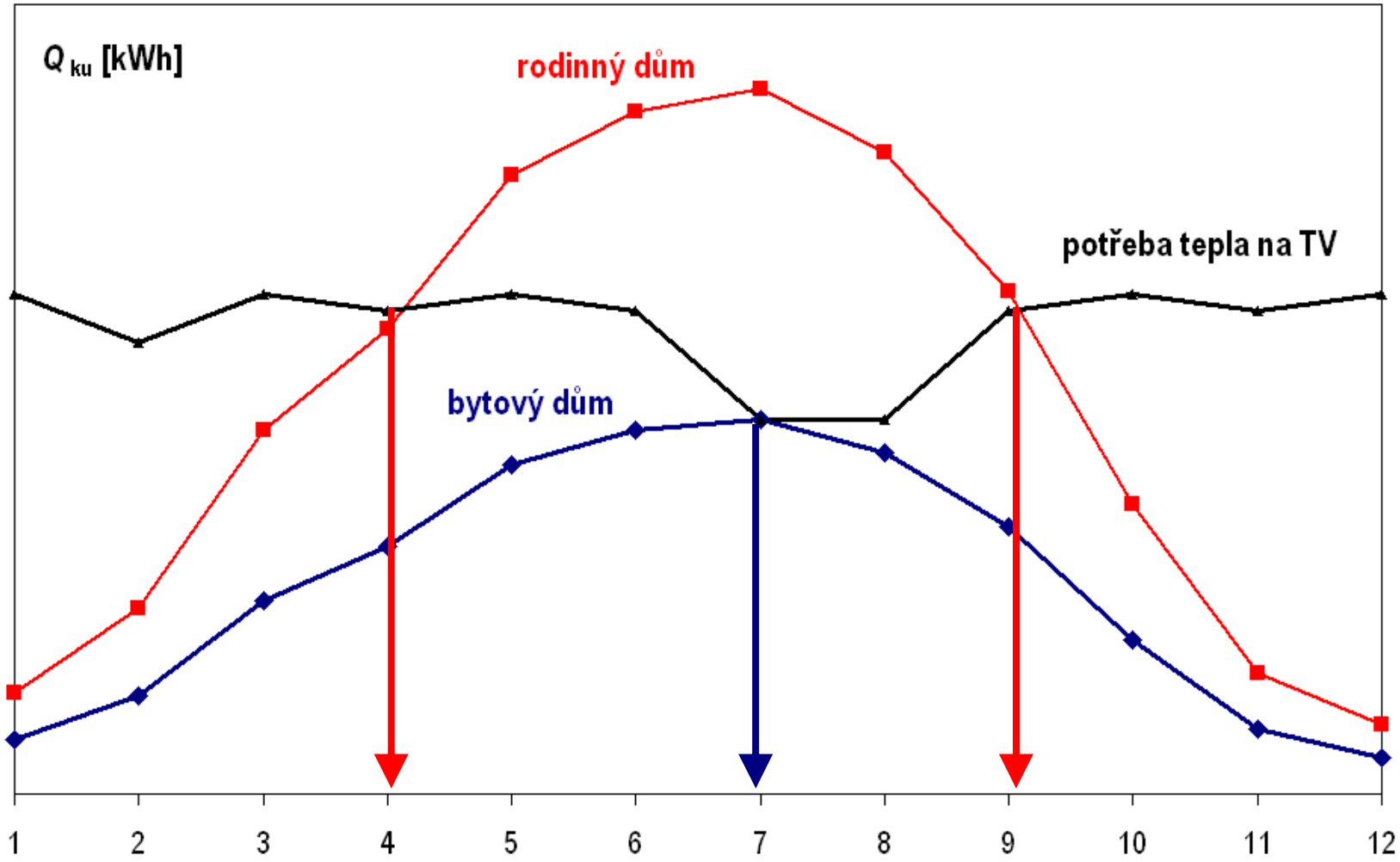
- **malé soustavy:** zaokrouhlení může přinést relativně velký rozdíl, uvážit případné přebytky
- **velké soustavy:** zaokrouhlení přináší zanedbatelný rozdíl, spíše se volí plocha kolektorů jako násobek počtu v jedné řadě (hydraulika)

Návrh plochy kolekotrů: příprava TV

- **rodinné domy**
  - návrhové měsíce **duben** a **září** (100% návrhové pokrytí)
  - střední teplota teplonosné kapaliny $\boldsymbol{t_m}$ **= 40 °C** (viz tabulka)
  - odpovídá pokrytí cca **60** % roční potřeby tepla na přípravu TV

- **bytové domy**
  - návrhové měsíce **červenec** (100% návrhové pokrytí)
  - střední teplota teplonosné kapaliny $\boldsymbol{t_m}$ **= 40 °C** (viz tabulka)
  - odpovídá pokrytí **40 - 50** % roční potřeby tepla na přípravu TV

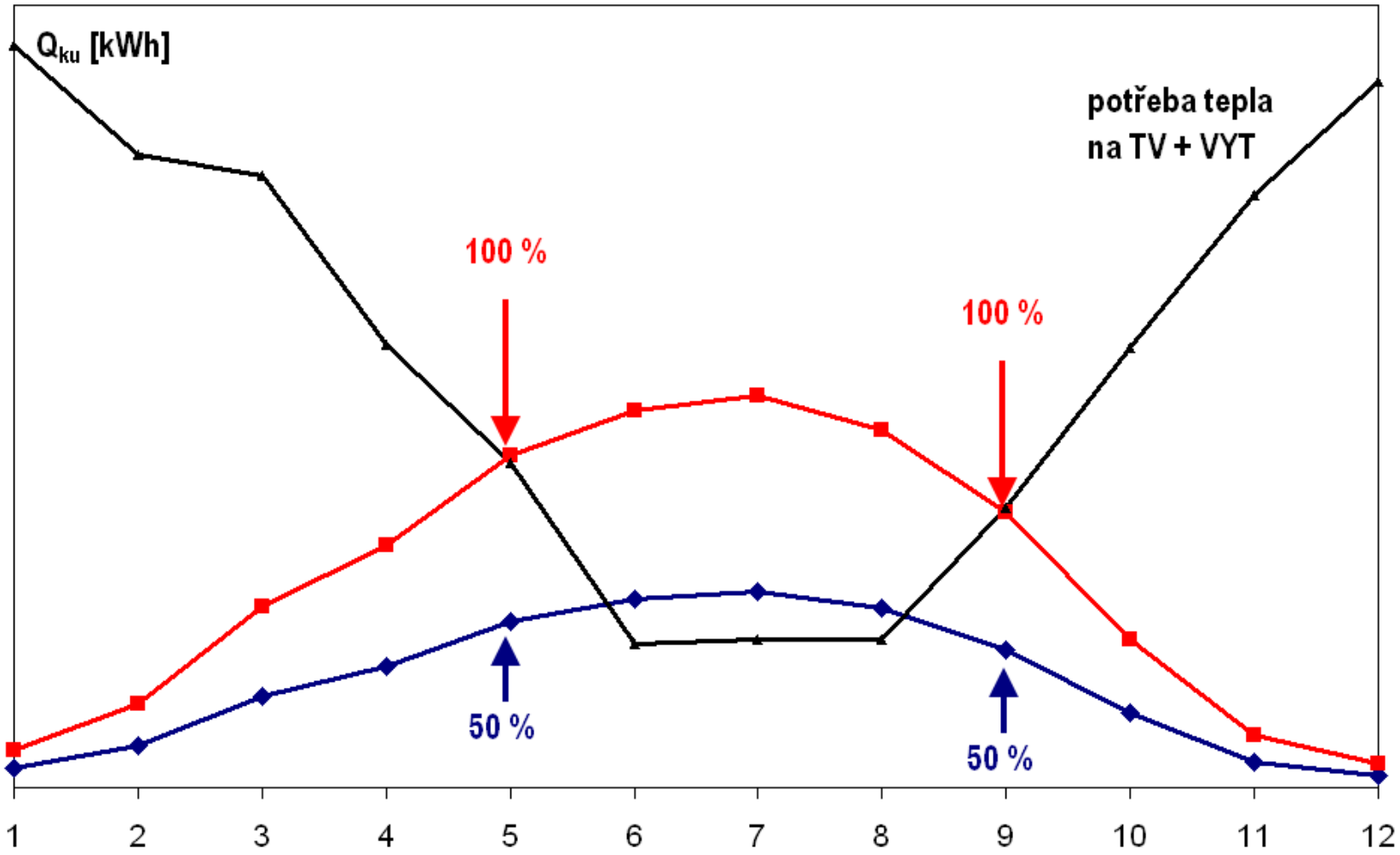
Návrh plochy kolektorů: příprava TV



Návrh plochy kolektorů: TV + VYT

- **příprava TV a vytápění**
  - návrhové měsíce **květen** a **září**
  - střední teplota teplonosné kapaliny t_m **= 50 °C**
  - uvážit smysluplné využití letních přebytků
  - uvážit stupeň pokrytí v přechodových měsících (100 % ?)

Návrh plochy kolektorů: TV + VYT



Vliv plochy na dimenzování prvků

- **průtok solární soustavou**
  - návrh světlosti potrubí
  - návrh tloušťky izolace
- **tlakové ztráty solární soustavy, členění a hydraulika okruhů**
  - oběhové čerpadlo
- **objem solární soustavy**
  - velikost expanzní nádoby, případně nárazníkové nádoby
- **nosné konstrukce**
- **výměník tepla (výkon)**

Bilancování energetických zisků

- **účel bilancování**
  - využitelné energetické zisky solární soustavy $\boldsymbol{Q_{ss,u}}$ [kWh/rok]
  - roční měrné využitelné solární zisky $\boldsymbol{q_{ss,u}}$ [kWh/m^2.rok]

$$q_{ss,u} = \frac{Q_{ss,u}}{A_k}$$

  - solární podíl, solární pokrytí $\boldsymbol{f}$ [-] = procentní pokrytí potřeby tepla

$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} = 1 - \frac{Q_d}{Q_{p,c}}$$

Bilancování energetických zisků

- **metodika (http://www.opzp.cz, TNI 73 0302)**
  - původně vytvořeno pro Operační program Životní prostředí
  - audity: měrné zisky > **600 kWh/m^2.rok** při pokrytí **> 60 %**
- **zjednodušený výpočtový postup**
  - jednoduchý výpočet s použitím tabulkového procesoru (Excel)
  - započtení tepelných ztrát dané aplikace paušální přirážkou k potřebě tepla
  - uvažování konstantní střední teploty v kolektorech v celém roce, nezohlední velikost zásobníku a změnu teploty s navrženou plochou (předimenzování – nárůst teploty, poddimenzování – pokles teploty)
  - započtení tepelných ztrát solární soustavy paušální srážkou ze zisků
  - výsledky výrazně závisí na kvalitě kolektoru (ve skutečnosti je vliv mnohem menší)

Bilancování energetických zisků

- **univerzální**
  - použití základních energetických bilancí (*žádné koeficienty*)
- pro **základní jednoduché aplikace**
  - příprava TV, vytápění, ohřev bazénové vody
- **dostatečně vypovídající o reálných zisích**
  - pro běžné dimenzování solárních soustav (mimo extrémy)
  - bilance provozu solární soustavy po měsících
  - hodnocení využitelnosti solárních zisků v aplikaci

  nevyužitelné zisky (dodávka > potřeba) nelze do bilance zahrnout

Údaje pro bilancování

- **analogický postup jako při návrhu plochy solárních kolektorů**
- měsíční výpočet
- pro všechny měsíce v roce: **celoroční bilance**

- **potřeba tepla v jednotlivých měsících**
  - vlastní potřeba tepla v dané aplikaci
  - tepelné ztráty

Údaje pro bilancování

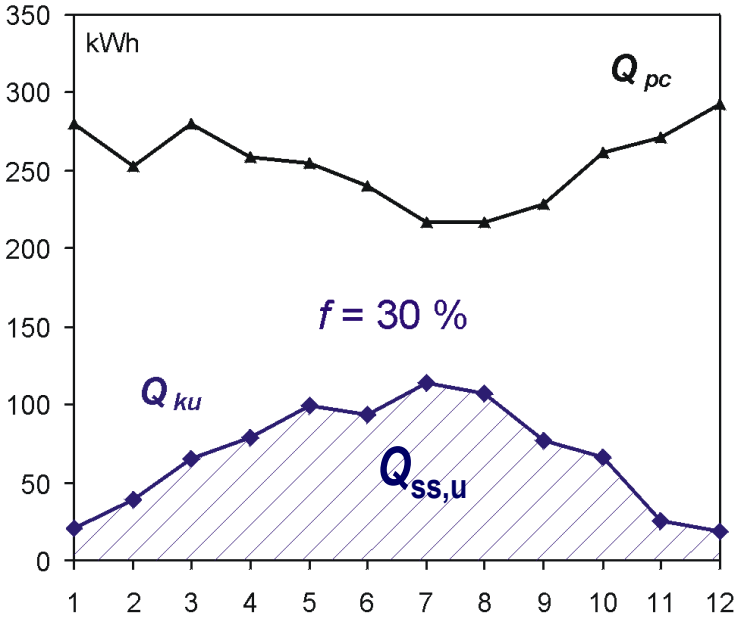
- **klimatické údaje pro bilancování**
  - skutečná dávka ozáření $H_{T,den}$ [kWh/m^2.den], $H_{T,měs}$ [kWh/m^2.den]
  - střední sluneční ozáření $G_{T,m}$ [W/m^2]
  - střední teplota v době slunečního svitu t_{es} [°C]

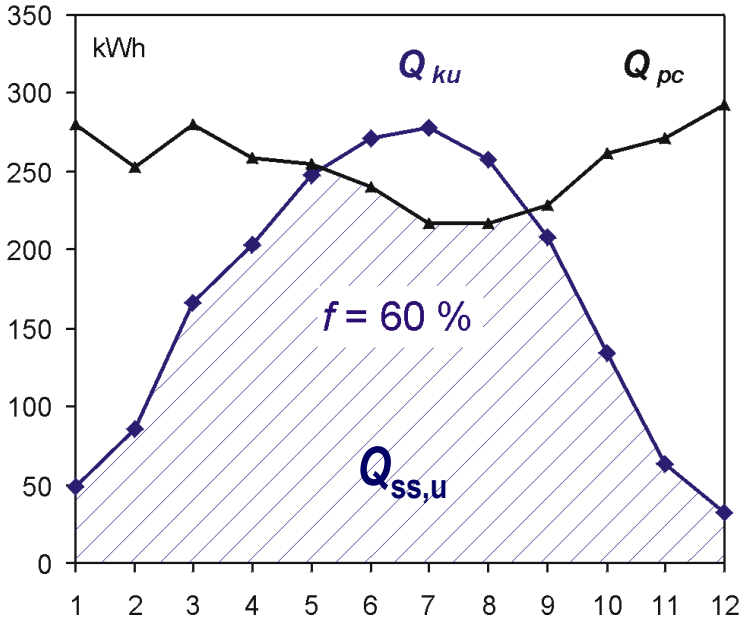
- **využitelné zisky ze solárních kolektorů $Q_{k,u}$**
  - střední teplota v kolektoru t_m
  - účinnost kolektorů η_k
  - zahrnutí tepelných ztrát

Využité zisky solární soustavy

- **využité tepelné zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$**
  - minimum z hodnot využitelných zisků kolektorů a celkové potřeby tepla

$$Q_{ss,u} = \min\left(Q_{k,u}; Q_{p,c}\right)$$





Výpočtový program Bilance SS 5.0 (Excel)

Microsoft Excel - BILANCE_SS_5_0.xls

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Nástroje Data Okno Nápověda

plocha | 1,9

Akce:			
Adresa:			

Typ budovy	Typ spotřeby	$V_{TV,den,OS}$ [l/os.den]
Obytné budovy	Nízký standard	10 - 20
	Střední standard	20 - 40
	Vysoký standard	40 - 80
	Nízké (letní) vytížení	$0.75xV_{TV}$
Nemocnice, domovy důchodců	Nízké (letní) vytížení	25 - 30
	Zbylá část roku	30 - 60
Studentské domovy, koleje	Nízké (letní) vytížení	20 - 25
	Zbylá část roku	25 - 50
Školy	Nízké (letní) vytížení	0
	Zbylá 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 snížená spotřeba tepla v letních měsících u obytných budov	NE		
Příprava teplé vody a vytápění			
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 m2	přirážka CZT
Přirážka na tep. ztráty při přípravě teplé vody z	0,15	Zásobníkový ohřev bez cirkulace	2,1
Vytápění objektu - použít data z výpočtu podle ČSN EN 13790		NE	
Tepelná ztráta domu Q_z	4,5	kW	
Vnitřní výpočtová teplota t_{iv}	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	%	
Bazén			
Plocha vodní hladiny bazénu A_b		m²	
Typ bazénu	Vnitřní - mimo doby provozu zakrývaný		
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 τ_p	12	h	
Počet návštěvníků za měsíc	100	osob/měs	
Parametry solárních kolektorů			
Optická účinnost η_0	0,78	-	
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1	4,5	W/m².K	
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2	0,008	W/m².K²	
Počet kolektorů	20	ks	
Plocha apertury solárního kolektoru A_{k1}	1,9	m²	
Celková plocha apertury kolektorů	38	m²	
Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	40	°C	Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %
Sklon kolektoru β	45	°	
Azimut kolektoru γ (jih = 0°)	0	°	

Zadání / VYHODNOCENÍ / BAZ / data solar

Výpočtový program Bilance SS 5.0 (Excel)

Microsoft Excel - BILANCE_SS_5_0.xls

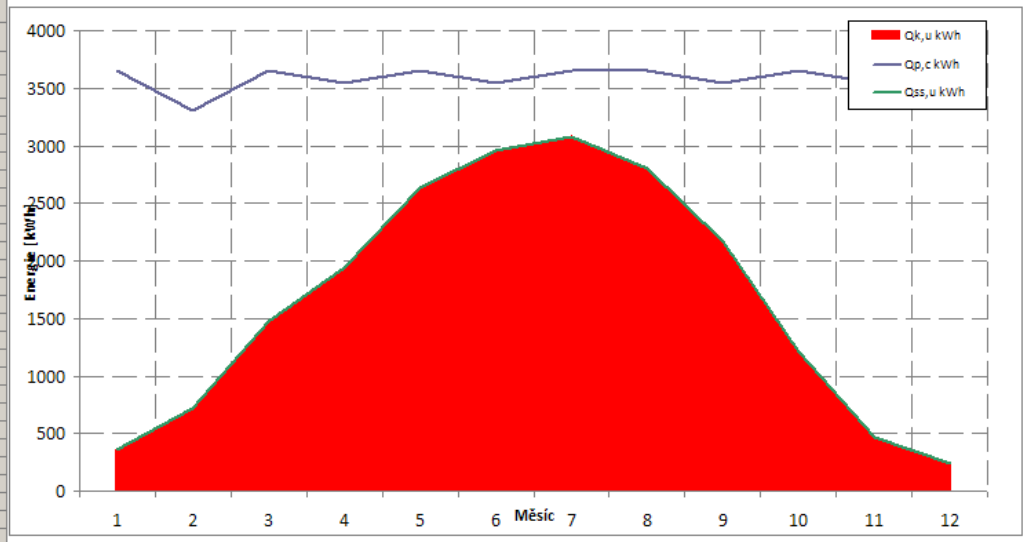
měsíc	n	t_{sp}	t_{es}	$G_{T,m}$	η_k	$H_{T,den}$	$H_{T,měs}$	$Q_{k,u}$	$Q_{p,TV}$	$Q_{p,VYT}$	$Q_{p,BV}$	$Q_{p,c}$	$Q_{ss,u}$
	dny	°C	°C	W/m2	–	kWh/m².den	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	31	-1,5	2,2	418	0,35	1,10	34,2	364	3657	0	0	3657	364
2	28	0	3,4	489	0,42	1,97	55,3	717	3303	0	0	3303	717
3	31	3,2	6,5	535	0,48	3,20	99,2	1470	3657	0	0	3657	1470
4	30	8,8	12	527	0,53	3,96	118,8	1937	3539	0	0	3539	1937
5	31	13,6	17	521	0,57	4,84	150,1	2632	3657	0	0	3657	2632
6	30	17,3	21	517	0,61	5,29	158,6	2955	3539	0	0	3539	2955
7	31	19,2	23	512	0,62	5,19	160,7	3074	3657	0	0	3657	3074
8	31	18,6	23	515	0,62	4,71	145,9	2799	3657	0	0	3657	2799
9	30	14,9	19	516	0,59	3,95	118,4	2165	3539	0	0	3539	2165
10	31	9,4	14	488	0,53	2,40	74,5	1208	3657	0	0	3657	1208
11	30	3,2	7,3	427	0,42	1,21	36,4	466	3539	0	0	3539	466
12	31	-0,2	3,5	387	0,33	0,77	24,0	242	3657	0	0	3657	242
							1176	20029	43059	0	0	43059	20029

$V_{TV,den}$	$Q_{p,VYT}$
l/den	kWh
0	0

Zadat profil spotřeby TV

Zadat hodnoty získané výpočtem podle ČSN EN 13970

$q_{ss,u}$	527	kWh/m².rok
f	47	%
$Q_{ss,u}$	20029	kWh/rok



podle TNI 730302
zpracoval
ing. Bořivoj Šourek
borivoj.sourek@fs.cvut.cz
ke stažení na:
solab.fs.cvut.cz

Příklad 1 – Příprava teplé vody v RD

- **Zadání:**
  - 4 osoby, 35 l/os.den, spotřeba 140 l/den, ohřev z 15 na 60 °C (**8,4 kWh/den**), zásobníkový ohřev bez cirkulace (z = 15 %)
  - kolektory orientované na **jih** (azimut 0°), sklon **45°**
    η_0 = **0,78**; a_1 = **4,3** W/m^2.K; a_2 = **0,008** W/m^2.K^2
    plocha kolektoru A_1 = 2 m^2
  - klimatické údaje (viz TNI)
  - navrhnout plochu kolektorů
  - stanovit měrné zisky, solární podíl

Příklad 1 – Příprava teplé vody v RD

- **Výsledky:**
  - duben: 5,5 m^2 září: 4,9 m^2 zvolit 2 nebo 3 kolektory ???
  - varianta 2 kolektory (4 m^2)

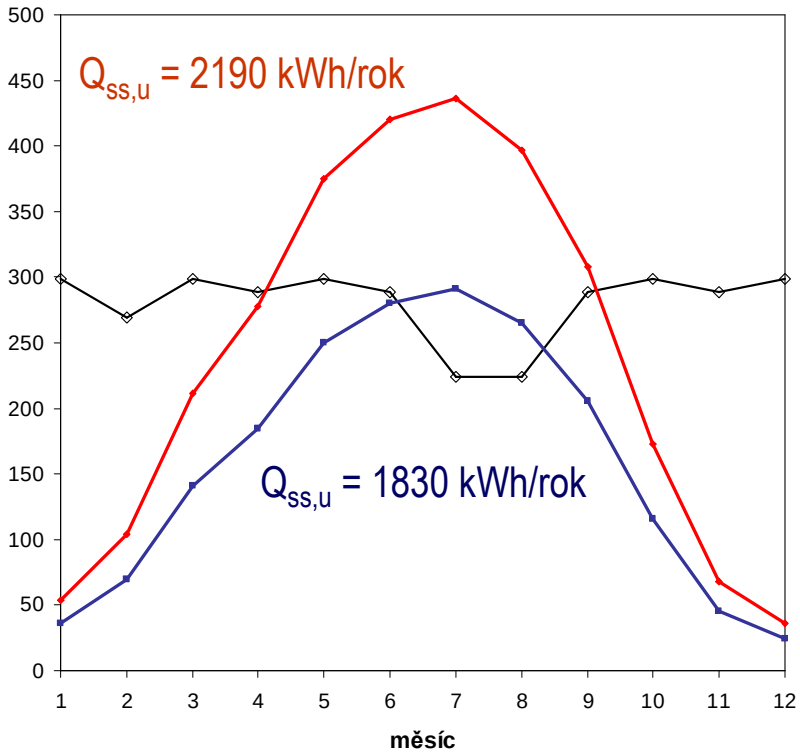
skutečné: **462 kWh/m^2.rok**

solární podíl: **60 %**

  - varianta 3 kolektory (6 m^2)

skutečné: **365 kWh/m^2.rok**

solární podíl: **71 %**



Příklad 2 – Příprava TV + VYT v RD

- **Zadání:**
  - 4 osoby, 35 l/os.den, spotřeba 140 l/den, ohřev z 15 na 60 °C
  - NED: 160 m^2, Q_z = 4,5 kW pro t_{iv} = 20 °C, t_{ev} = -12 °C

    denostupňová metoda: korekční faktor ε = 0,6: 49 kWh/m^2.rok
  - kolektory orientované na **jih** (azimut 0°), sklon **45°**
    η_o = **0,75**; a_1 = **3,5** W/m^2.K; a_2 = **0,008** W/m^2.K^2
    plocha kolektoru A_{k1} = 2 m^2
  - klimatické údaje (viz TNI)
  - navrhnout plochu kolektorů
  - stanovit měrné zisky, solární podíl

Příklad 2 – Příprava TV + VYT v RD

- **Výsledky:**
  - květen: **13 m²** září: **14 m²**

    zvolit 14 m² nebo méně kolektorů ???

  - varianta 7 kolektorů (14 m²)

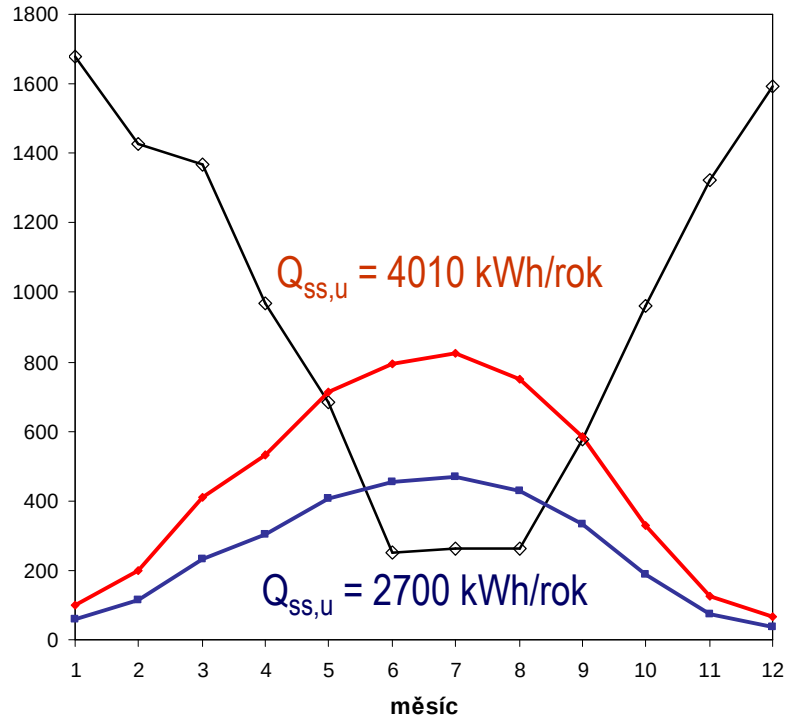
    skutečné: **286 kWh/m².rok**

    solární podíl: **35 %**

  - varianta 4 kolektorů (8 m²)

    skutečné: **338 kWh/m².rok**

    solární podíl: **24 %**



Příklad 3 – Příprava teplé vody v BD

- **Zadání:**

		byt	počet bytů na patro	počet bytů	počet osob na byt	počet osob	denní potřeba teplé vody [l/den]
4	patra	3+1	3	12	2,5	30	1200
4	patra	4+1	1	4	3,5	14	560
1	patro	3+1	2	2	2,5	5	200
				18		**49**	**1960**

volíme **40 l/os.den** (15 / 60 °C)

zohledníme letní pokles spotřeby vody a potřeby tepla o 25 %

dimenzování pro bytové domy: **červenec** (eliminace přebytků)

příprava teplé vody (40 °C) x **předehřev teplé vody (35 °C)**

Příklad 3 – Příprava teplé vody v BD

- **Výsledky:**
  - příprava teplé vody (38 m^2)

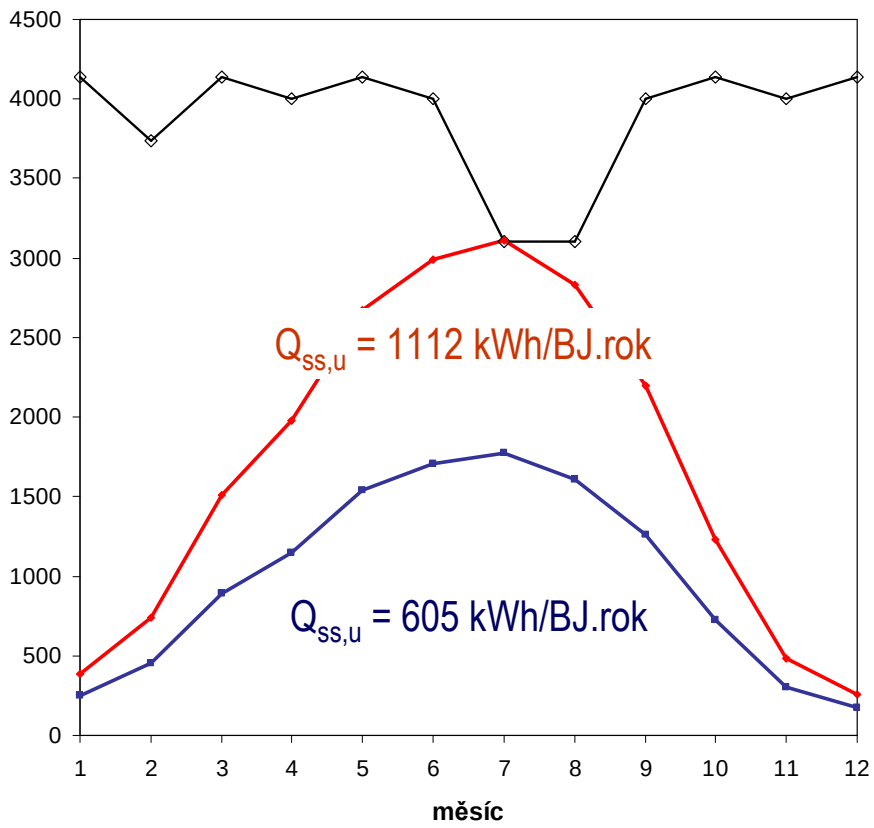
    skutečné: **527 kWh/m^2.r**

    solární podíl: **47 %**

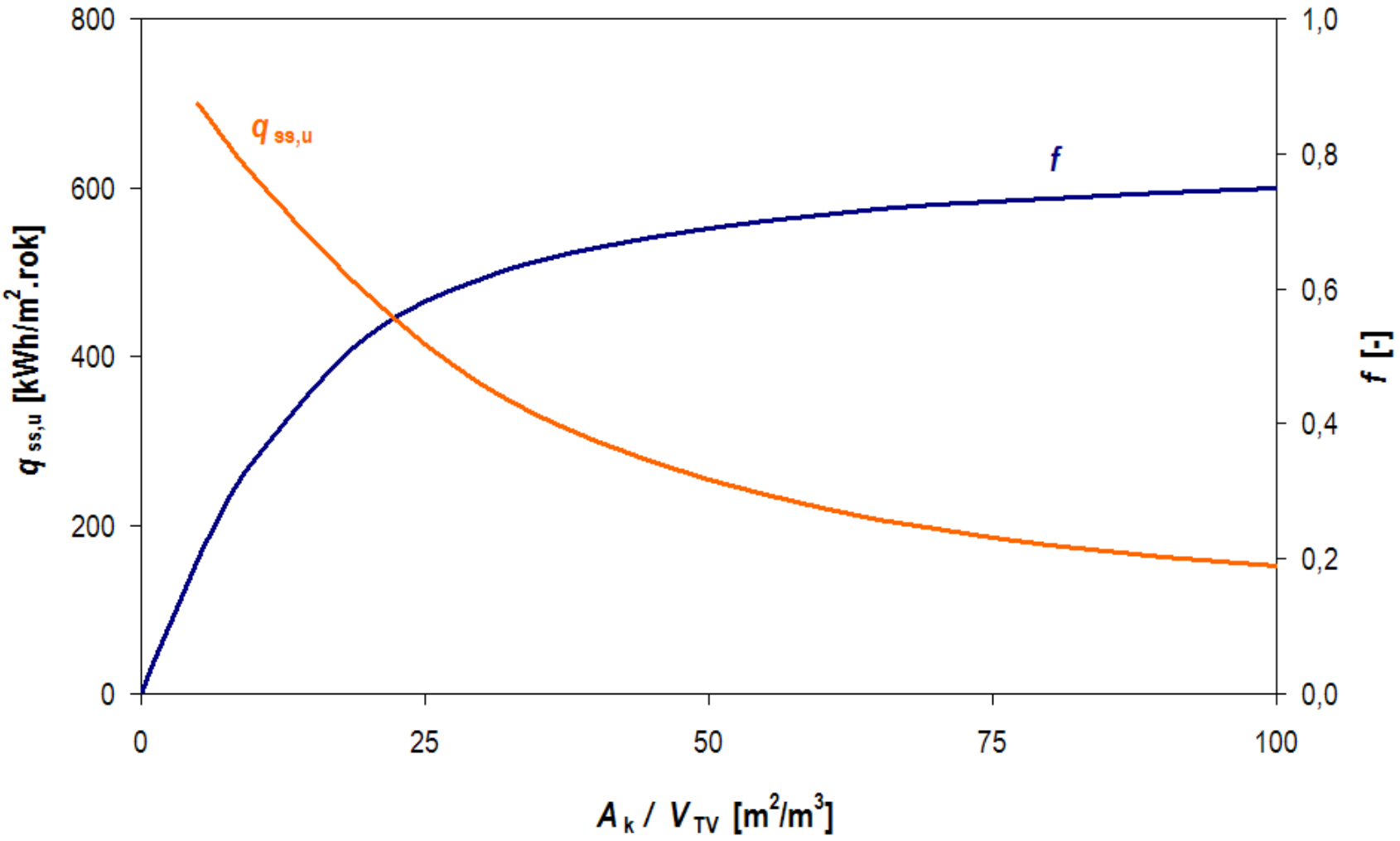
  - předehřev teplé vody (19 m^2)

    skutečné: **573 kWh/m^2.r**

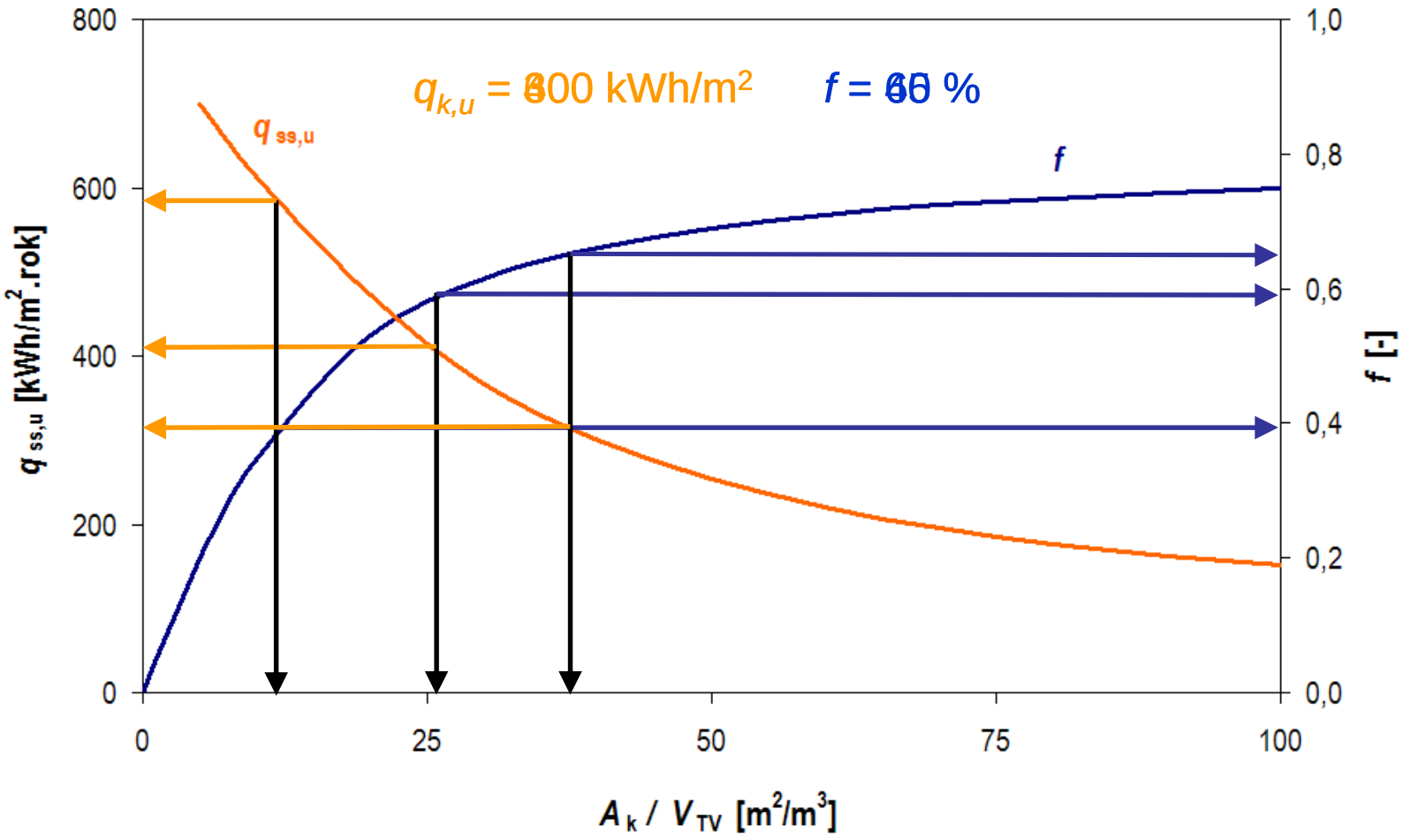
    solární podíl: **25 %**



Měrné zisky x solární pokrytí

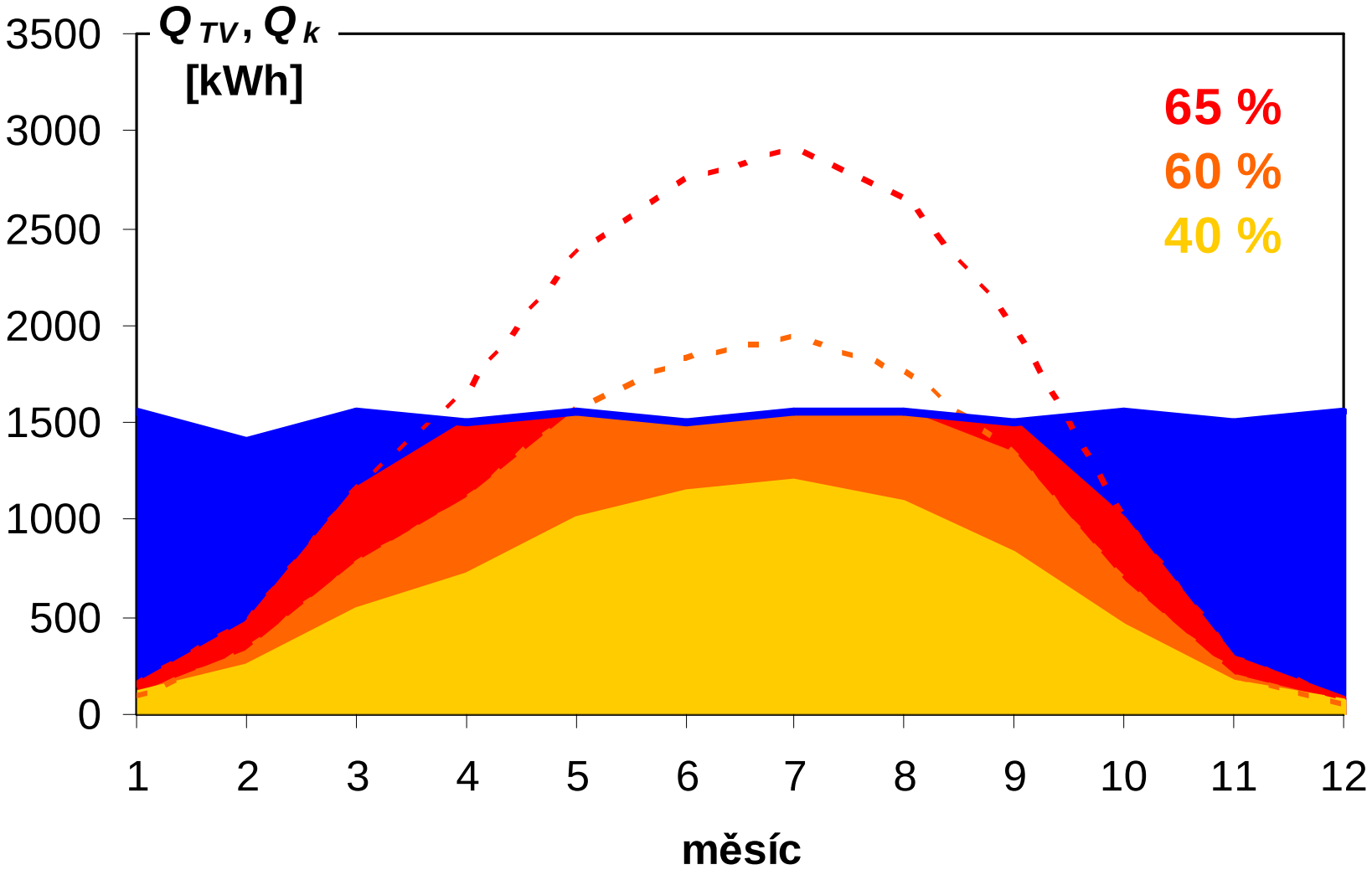


Bilance solární přípravy teplé vody



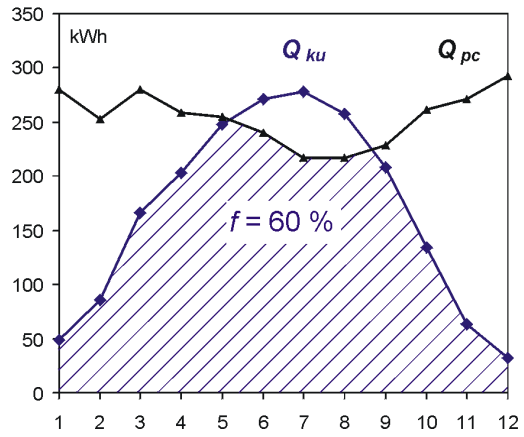
s rostoucím solárním pokrytím klesají měrné zisky z kolektorů

Bilance solární přípravy teplé vody

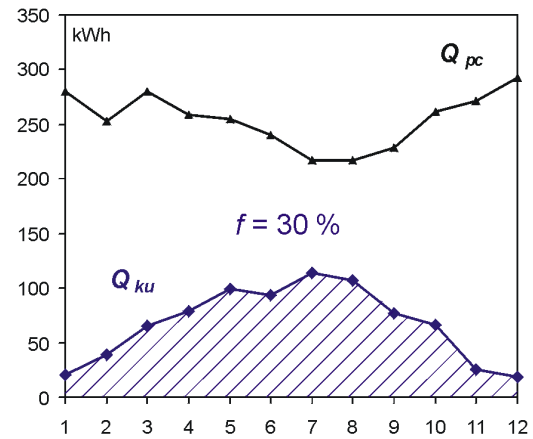


Solární soustavy pro přípravu TV

- **rodinné domy**
  - (3 až 6 m^2; 250 až 400 l), solární podíl 50 až 70 %
  - solární zisky **350 až 450 kWh/m^2.r**



- **bytové domy, ústavy, hotely, ...**
  - (od 25 až 200 m^2; 1 až 8 m^3), solární podíl 40 až 50 %
  - solární zisky **450 až 550 kWh/m^2.r**

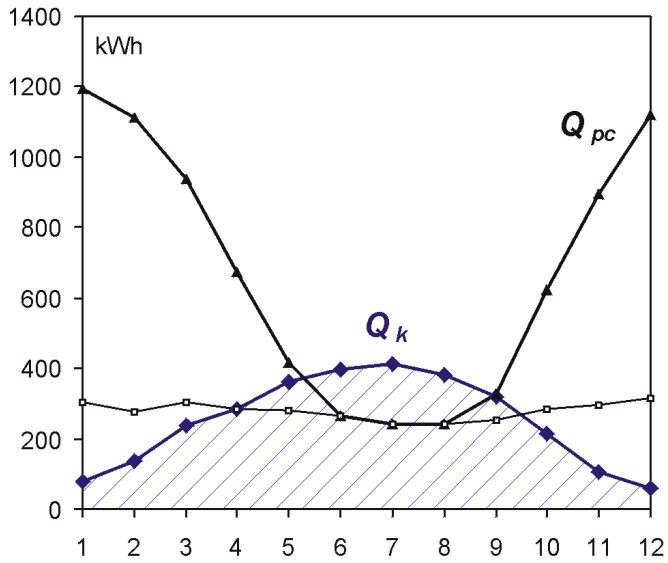


- **předehřev teplé vody**
  - solární podíl 20 až 40 %
  - solární zisky **550 až 650 kWh/m^2.r**

Solární soustavy pro přípravu TV

- **kombi: příprava TV a vytápění v RD**
  - kolektory 6 to 12 m^2; zásobník 1000 až 4 000 l)
  - solar fraction: standard houses 10 to 20 %
  - low-energy, passive houses 25 to 40 %
  - solární zisky **250 až 350 kWh/m^2.rok**

- **kombi: příprava TV a vytápění v BD**
  - 40 to 200 m^2; 4 to 16 m^3
  - solární podíl 10 až 20 %
  - solární zisky **400 až 500 kWh/m^2.rok**



Děkuji za pozornost

Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí

Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Technická 4, 166 07 Praha 6

tomas.matuska@fs.cvut.cz

Použití pokročilých softwarů pro bilancování a návrh solárních soustav

Bořivoj Šourek
Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní
ČVUT v Praze

Využití počítačů

- *celkový návrh*

  soustavy, v principu sestavu kolektor-akumulační nádoba
- *detailní návrh*, kdy se celá soustava skládá z jednotlivých malých komponentů, jako jsou čerpadla, potrubí, regulace

Měsíční bilance - Excel

Počet jednotek (osob, míst, lůžek, sprch ap.):	5	jednotek
Spotřeba na jednotku:	35	l/jedn.den
Je snížená spotřeba tepla v letních měsících u obytných budov	NE	

Příprava teplé vody a vytápění

Denní spotřeba teplé vody $V_{TV,den}$ (15°C / 60°C)	175	l/den	
Studená voda t_{SV}	12	°C	
Teplá voda t_{TV}	55	°C	
Srážka z tepelných zisků kolektorů vlivem tep. ztrát p	0.2	Příprava teplé vody, do 10 m2	přírážka CZT
Přirážka na tep. ztráty při přípravě teplé vody z	0.15	Zásobníkový ohřev bez cirkulace	2.1

Vytápění objektu - použít data z výpočtu podle ČSN EN 13790 ANO

Tepelná ztráta domu Q_z	12	kW
Vnitřní výpočtová teplota t_{iv}	21	°C
Venkovní výpočtová teplota t_{ev}	-15	°C
Předpokládaná energetická náročnost budovy (vytápění)	pasivní standard, tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot	
Přirážka na tepelné ztráty otopné soustavy v	5	%

Bazén

Plocha vodní hladiny bazénu A_b		m^2
Typ bazénu	Vnější - mimo doby provozu zakrývaný	
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 τ_p	12	h
Počet návštěvníků v měsící		osob/měs

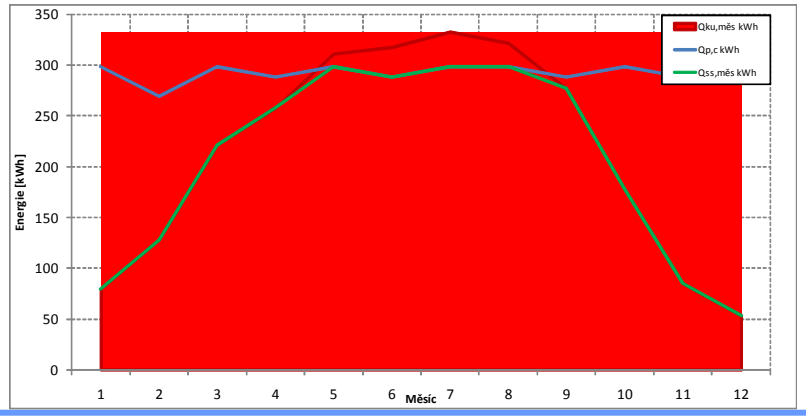
Parametry solárních kolektorů

Optická účinnost η_o	0.806	-	
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1	0.312	$W/m^2.K$	
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2	0.022	$W/m^2.K^2$	
Počet kolektorů	2		
Plocha apertury solárního kolektoru A_{k1}	1.77	m^2	
Celková plocha apertury kolektorů	3.54		
Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	40	°C	Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %
Sklon kolektoru β	45	°	
Azimut kolektoru γ (jih = 0°)	0	°	

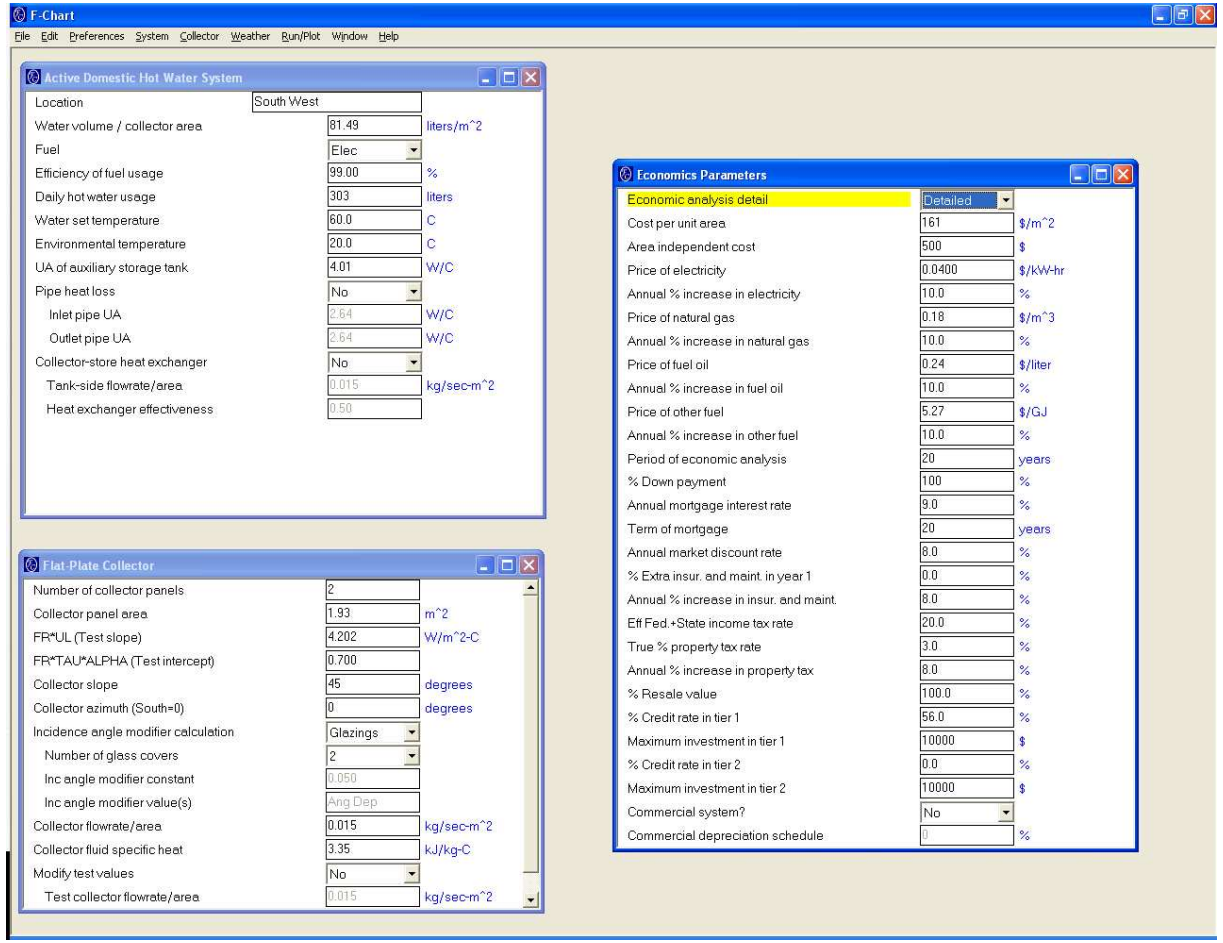
Vyhodnocení

Měrný energetický zisk ze solární soustavy $q_{ss,u}$	696	$kWh/m^2.rok$
Celkový energetický zisk ze solární soustavy Q_{ss}	2463	kWh/rok
Solární pokrytí (podíl solární soustavy) f	70	%

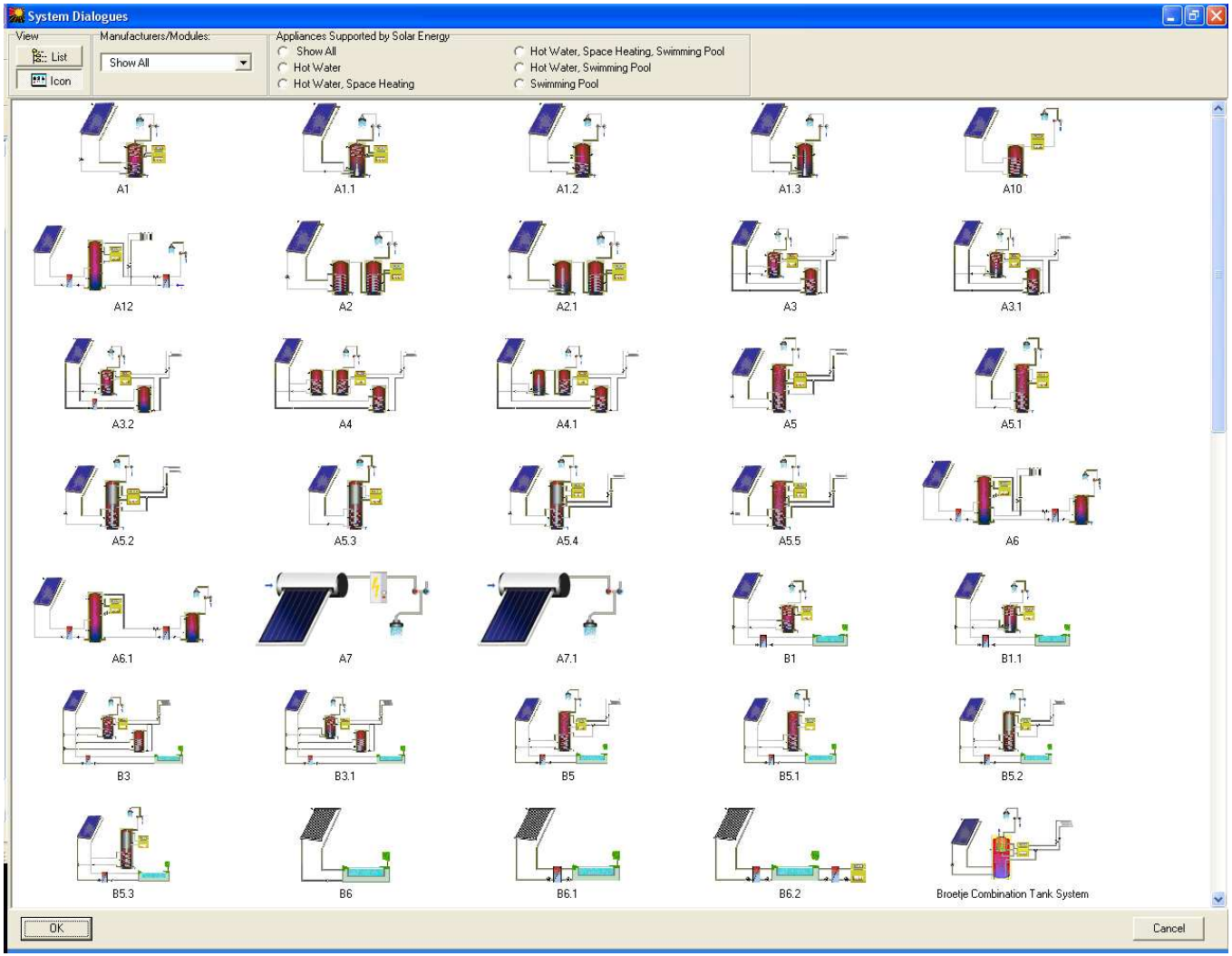
měsíc	n	t_{ep}	t_{es}	$G_{T,m}$	η_k	$H_{T,den}$	$H_{T,měs}$	$Q_{ku,měs}$	$Q_{p,TV}$	$Q_{p,VYT}$	$Q_{A,baz}$	$Q_{p,c}$	$Q_{ss,měs}$
	dny	°C	°C	W/m2	–	$kWh/m^2.den$	$kWh/m^2.měs$	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	31	-1.5	2.2	636	0.74	1.37	42.4	80	298	0	0	298	80
2	28	0	3.4	674	0.75	2.41	67.4	128	269	0	0	269	128
3	31	3.2	6.5	676	0.75	3.71	115.1	221	298	0	0	298	221
4	30	8.8	12.1	642	0.77	4.41	132.2	258	289	0	0	289	258
5	31	13.6	16.6	589	0.77	5.10	158.0	311	298	0	0	298	298
6	30	17.3	20.6	549	0.78	5.33	159.8	318	289	0	0	289	289
7	31	19.2	22.5	562	0.78	5.37	166.5	333	298	0	0	298	298
8	31	18.6	22.6	602	0.79	5.18	160.6	322	298	0	0	298	298
9	30	14.9	19.4	647	0.78	4.63	139.0	277	289	0	0	289	277
10	31	9.4	13.8	665	0.77	2.92	90.5	178	298	0	0	298	178
11	30	3.2	7.3	640	0.75	1.47	44.2	85	289	0	0	289	85
12	31	-0.2	3.5	612	0.74	0.91	28.3	53	298	0	0	298	53
							1304	**2564**	**3510**	**0**	**0**	**3510**	**2463**



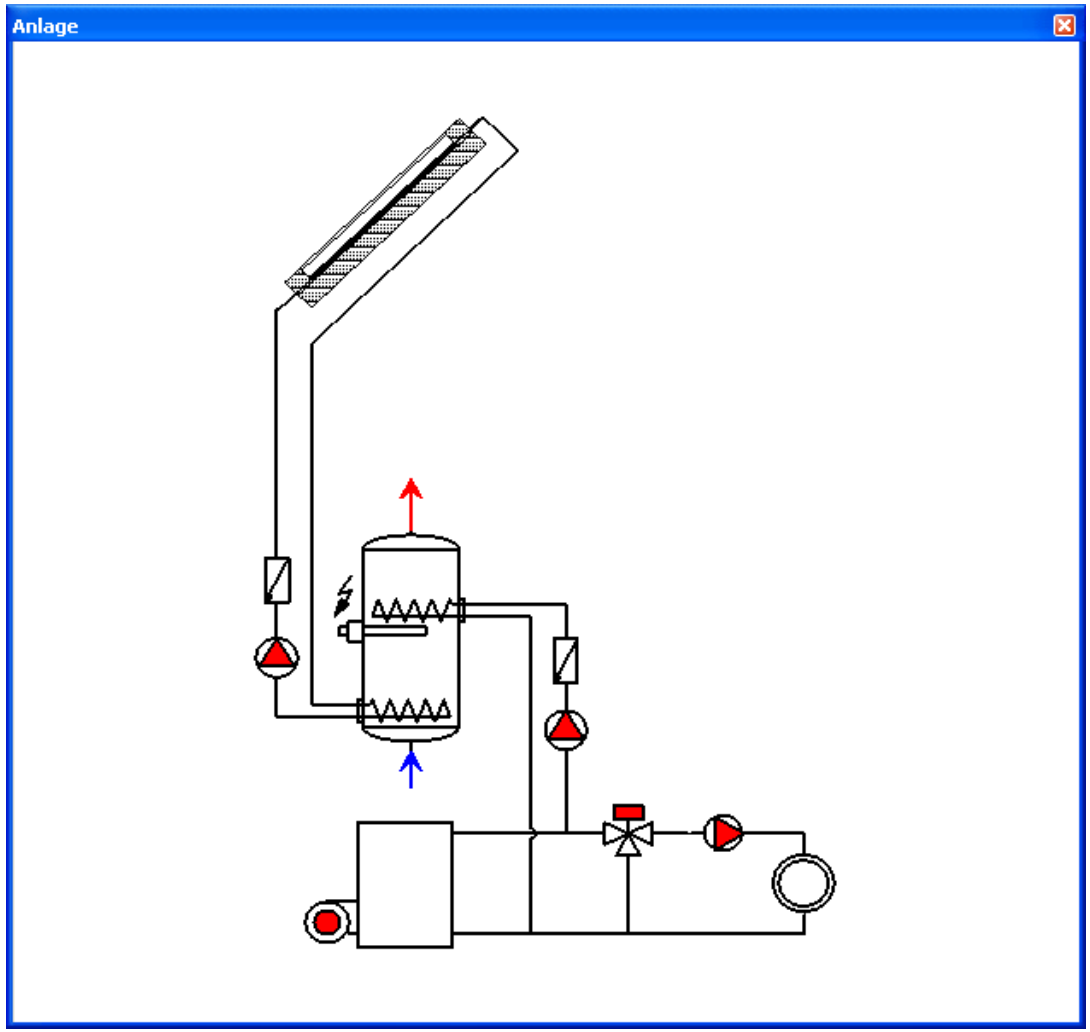
Měsíční bilance – F-Chart



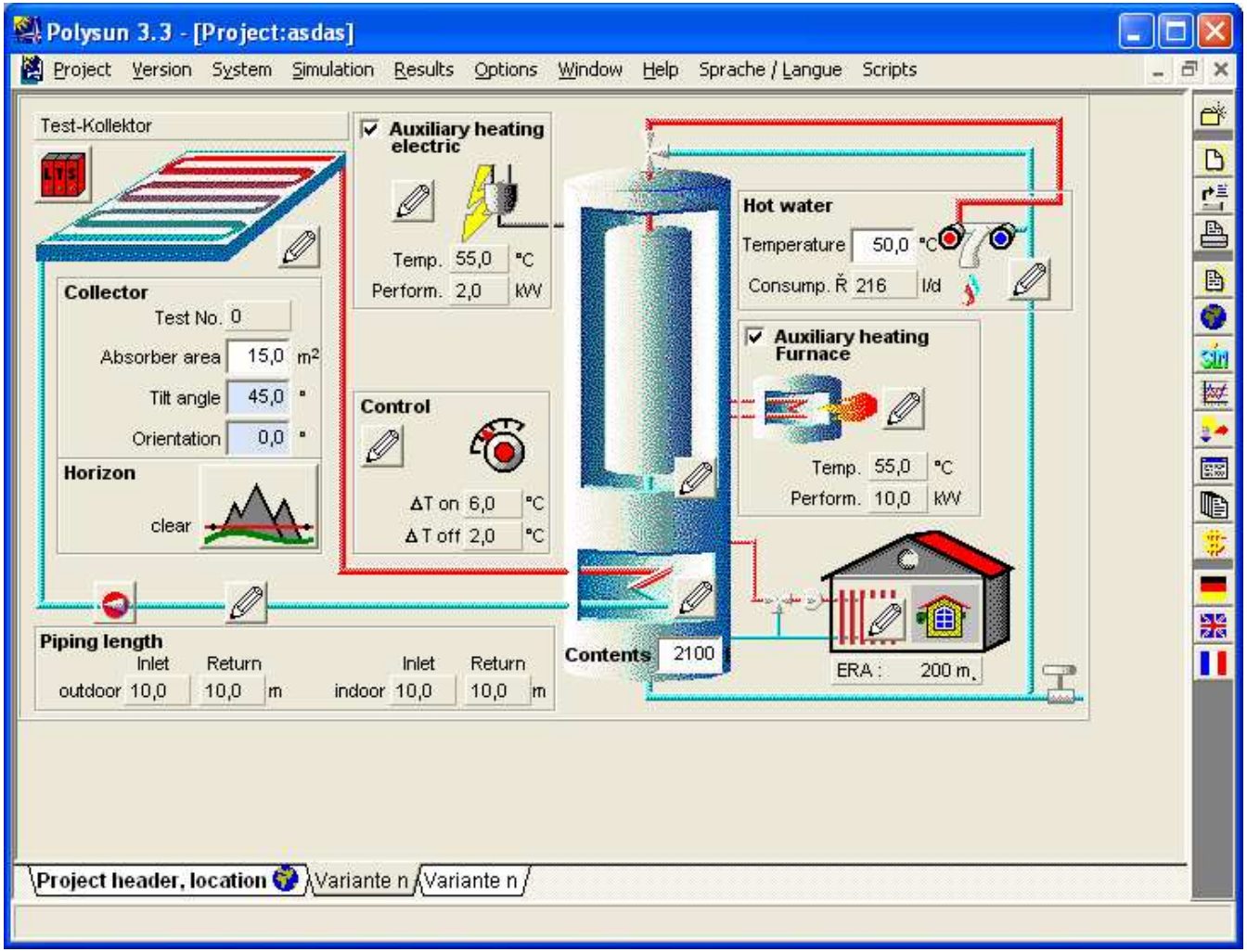
Dynamická simulace – celková soustava (T*Sol)



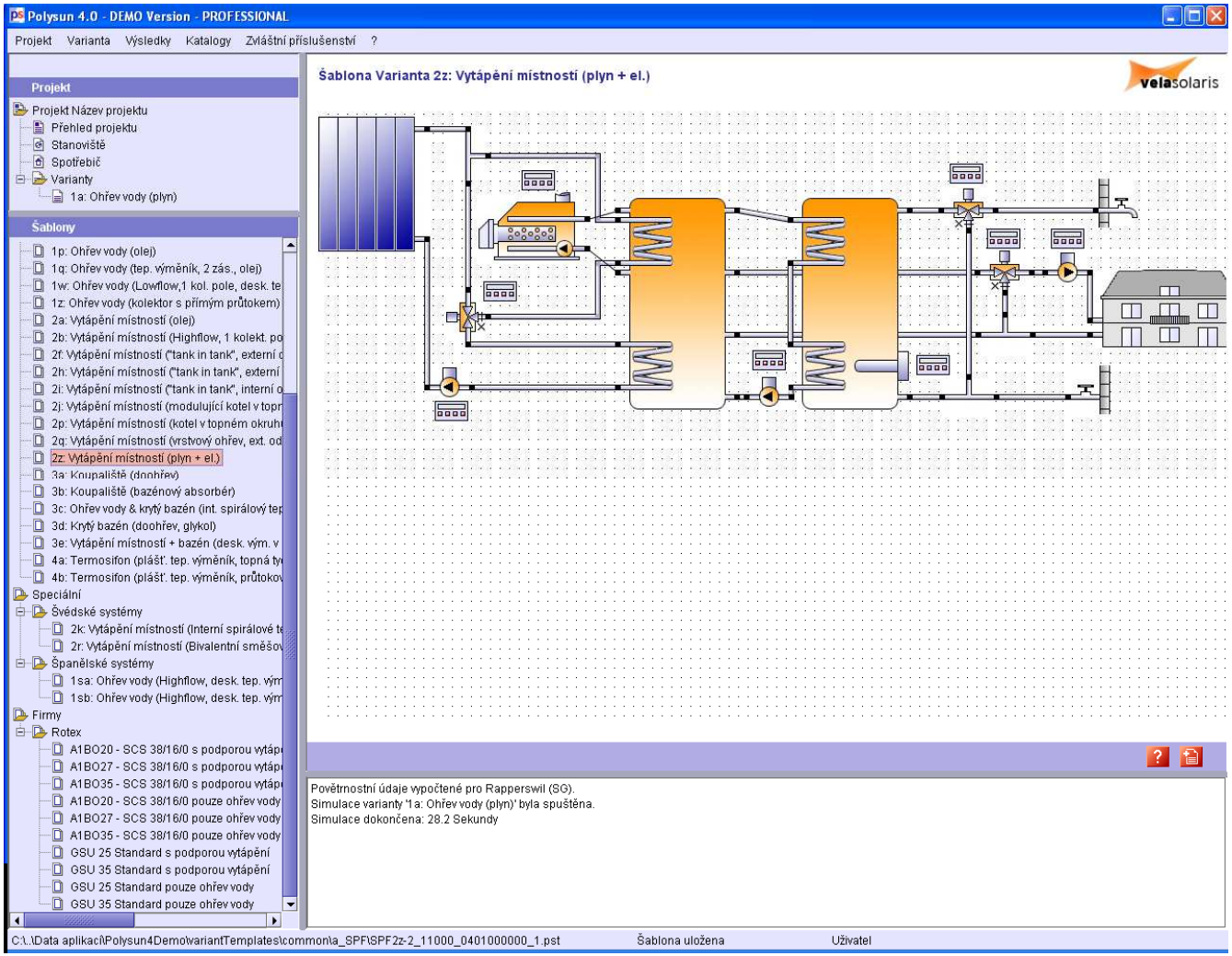
Dynamická simulace – celková soustava (SHW-Win)



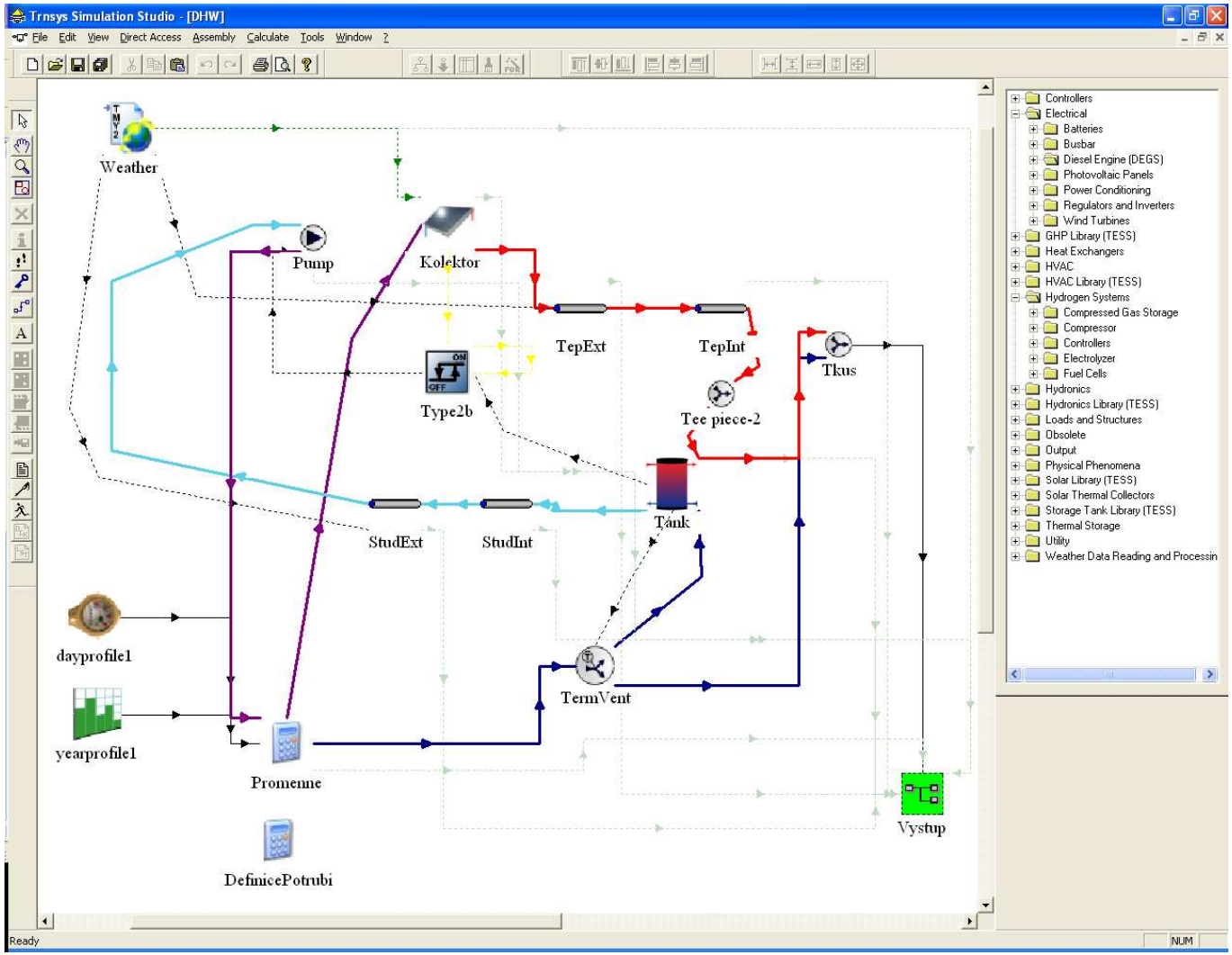
Dynamická simulace – celková soustava (POLYSUN 3)



Dynamická simulace – celková soustava, detailní (POLYSUN 4)



Dynamická simulace – detailní (TRNSYS)



- Zdroje

F-Chart www.fchart.com

Polysun www.solarenergy.ch

SHW-Win www.iwt.tugraz.at

T*Sol www.tsol.de

TRNSYS sel.me.wisc.edu/trnsys

školka	1	600	600	600	600	600	600	100	100	600	600	600	600
lázně	2	500	500	500	600	600	700	700	700	600	500	500	500

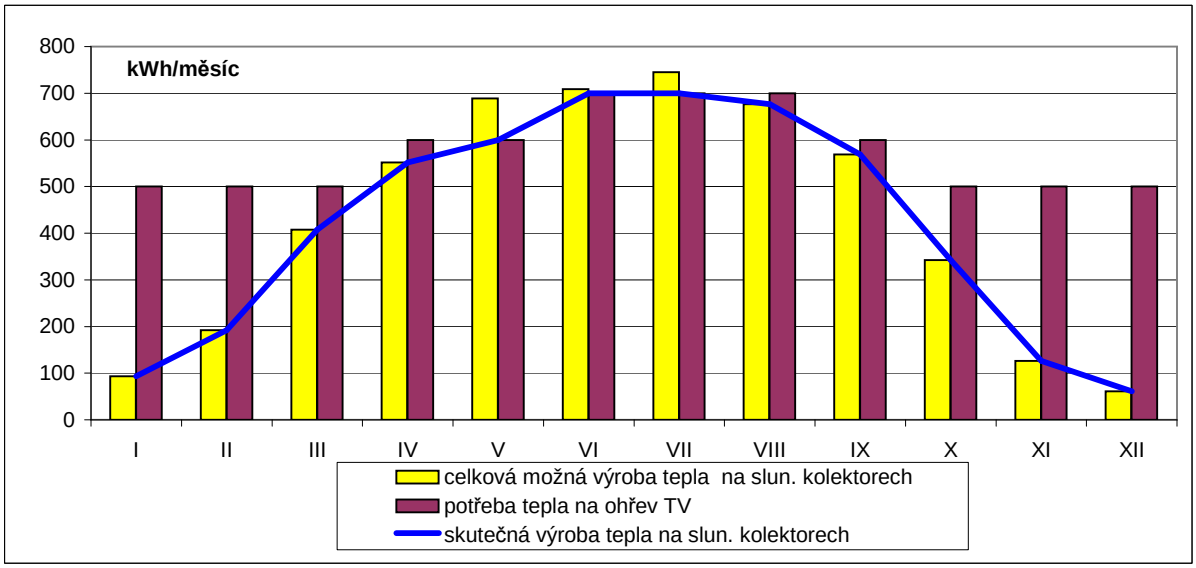
Příklad kolektoru

Wes KPC1 -BP -22

plocha apertury (zasklení) kolektoru	A_k	m2	1,867	2,1	1,87
základní účinnost	η_0		78%	0,6	78%
koeficienty tepelné ztráty	a1	W/(m2K)	4,207	1,3	4,21
	a2	W/(m2K2)	0,024	0	0,02

ztráta rozvodů a zásobníku 0,1

měsíc			Celkem	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
počet dnů	n		**365**	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
denní dávka sluneč. ozáření	$H_{T,den}$	kWh/den		1,09	1,94	3,16	3,92	4,81	5,25	5,15	4,66	3,9	2,37	1,2	0,76
měsíční dávka sl. ozáření	$H_{T,dměs}$	kWh/měs	**1164**	33,8	54,3	98,0	117,6	149,1	157,5	159,7	144,5	117,0	73,5	36,0	23,6
střední denní ozáření	$G_{T,m}$	W/m2		408	479	526	521	516	512	508	509	509	479	417	377
teplota teplonosné látky	$t_{k,m}$	°C		40	40	40	40	45	50	50	50	45	40	40	40
střední teplota okolí	t_{es}	°C		2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5
účinnost kolektoru	η_k			30%	39%	46%	52%	51%	50%	51%	52%	54%	51%	39%	29%
možná výroba tepla na 1 m2	$Q_{k1,u}$	kWh/(m2 měs)	**461**	8,3	17,1	36,4	49,2	61,5	63,3	66,5	60,4	50,8	30,6	11,3	5,5
možná výroba tepla na 1 kolektor	$Q_{k,u}$	kWh/měs	**860**	16	32	68	92	115	118	124	113	95	57	21	10
celkový počet kolektorů			**6**												
celková možná výroba tepla na slun. kolektorech	$Q_{k,u\ celk}$	kWh/měs	**5 162**	93	192	408	552	689	709	745	677	569	342	126	61
potřeba tepla na ohřev TV	Qpotř	kWh/měs	**6 900**	500	500	500	600	600	700	700	700	600	500	500	500
skutečná výroba tepla na slun. kolektorech	Qskut	kWh/měs	**5 019**	93	192	408	552	600	700	700	677	569	342	126	61
solární pokrytí			**73%**												
měrný využitelný solární zisk		**kWh/m².rok**	**448,1**												

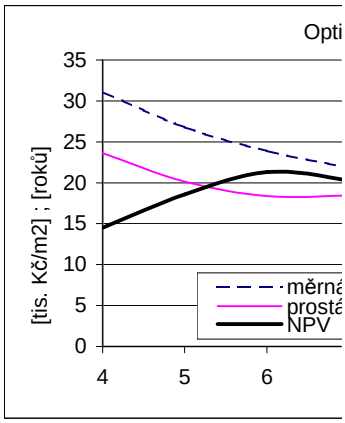


profil spotřeby 2

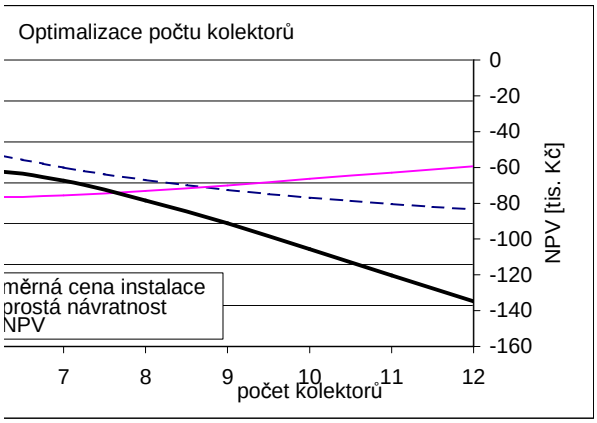
veličina	hodnota	jednotka
předpokládaná měrná spotřeba TV	8	litrů/(os.den)
průměrný počet osob	60	
celková denní spotřeba TV	0,48	m3/den
počet provozních dní za měsíc	20	
měsíční spotřeba TV	9,6	m3/měs.
ztráty tepla zásobníiku a rozvodů	35%	
rozdíl teploty teplé a studené vody (ohřev)	35	K
měsíční spotřeba tepla pro TV	601	kWh/měs.

veličina	hodnota	jednotka
plocha 1 panelu	1,867	m2
počet panelů	6	
celková plocha panelů	11,2	m2
cena 1 panelu vč. uchycení	15	tis. Kč.
cena panelů celkem	90	tis. Kč.
cena dalšího přísluš. (zásobníky, čerpadla, ...)	80	tis. Kč.
montáž	35	tis. Kč.
projektová dokumentace	20	tis. Kč.
celkové náklady bez dph	225	tis. Kč.
celkové náklady s dph	**268**	**tis. Kč.**
celkové náklady systému na 1 m2 plochy	*24*	*tis. Kč./m2*
teplo dodané ze solárních kolektorů	5,0	MWh/r
cena tepla ze záložního zdroje	3,0	Kč/kWh
úspora nákladů na nákup tepla	15,1	tis. Kč/r
náklady na opravy a pohon čerpadel	0,5	tis. Kč/r
celkové úspory provozních nákladů	14,6	tis. Kč/r
Ekonomické hodnocení projektu		
Předpoklady		
diskontní faktor	5%	
doba hodnocení	25	roků
Výsledné ukazatele		
prostá návratnost opatření	18	roků
diskontovaná návratnost	52	roků
čistá současná hodnota projektu	-63	tis. Kč.
vnitřní výnosové procento	3%	
Měrné výrobní náklady za dobu životnosti		
anuita investice	19	tis. Kč/r
podíl investice v nákladech na vyrobené teplo	3,8	Kč/kWh
podíl ostatních provozních nákladů	0,1	Kč/kWh
průměrná cena vyrobeného tepla	3,9	Kč/kWh

3,8845



Optimalizace počtu kolektorů
počet kolektorů
měrná cena instalace
prostá návratnost
NPV



	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[tis. Kč/m2	31	27	24	22	20	19,1	18,2	17,4	16,7
; [roků]	24	20	18	18	19	19,7	20,5	21,3	22
NPV [tis. K	-94	-75	-63	-67	-79	-91	-106	-120	-135

Ekonomika solárních soustav
a prostředky jejich optimalizace

T. Voříšek, Bohuslav Málek, SEVEn, o.p.s.

Kurs „Solární tepelné soustavy 2009“

6.11.2009

Obsah

1. Východiska a pravidla hodnocení ekonomické efektivnosti zdrojů energie
2. Ekonomika solárních soustav (SS)
3. Možnosti technicko-ekonomické optimalizace
4. Příklad postupu pro konkrétní případ
5. Závěry, doporučení

1.1 Východiska a pravidla ekon. hodnocení

- U každého energetického zdroje hrají při ekonomickém hodnocení zásadní důležitost následující parametry:
  - **investiční náklady,**
  - **roční využití instalovaného výkonu a**
  - **náklady na údržbu a provoz.**

1.2 Východiska a pravidla ekon. hodnocení

- Tyto parametry nutné znát pro objektivní posouzení výhodnosti různých zdrojů/variant/instalací.
- Obyklé ekonomické ukazatele:
  - **Prostá návratnost Ts = (IN / Δ N),**
  - **Reálná návratnost Tsd …doba, kdy NPV=0**
  - **Čistá současná hodnota NPV = ($\sum(V-N)_i/(1+r)^i$ - IN)**
  - **Vnitřní výnosové procento IRR …% sazba, kdy NPV=0**

1.3 Východiska a pravidla ekon. hodnocení

- **Investiční náročnost** různých OZE:
  - lokální zdroje na biomasu (klasický kotel na dřevo/kotel na „dřevoplyn“/kotel na pelety): **od 1000 do 6000 Kč/kWt**
  - využití biomasy v systémech CZT výtopensky/teplárensky: **5-10 tis. Kč/kWt jen zdroj**, včetně návazných celků (TG, teplovody) **15-25 tis. Kč/kWt;** v případě BPS **100-150 tis. Kč/kWe**.
  - solární systémy na přípravu T(U)V příp. přitápění: **18 až 30 tis. Kč na m² kolektorové plochy**
  - tepelná čerpadla **30-40 tis. Kč/kWt** (jsou ale i instalace vykazující investiční náročnost až 100 tis. Kč/kWt)
  - **zdroje ELE:** FV systémy - **100-150 tis. Kč/kWe**, vítr – **35 až 40 tis. Kč/kWe**, voda – **90 až 150 Kč/kWe**.

1.4 Východiska a pravidla ekon. hodnocení

- Obvyklá **roční využití instal. výkonu**:
  - lokální zdroje na biomasu **do 2000 hod/rok**, pokud využití biomasy v systémech CZT výtopensky/teplárensky: **2000 – 4500 hodin/rok**
  - solární systémy na přípravu TUV příp. přitápění (v našich podmínkách): **350 až 550 kWh/rok na m^2 kolektorové plochy**
  - tepelná čerpadla **2000-2500 hod/rok**
  - **zdroje ELE:** FV systémy (v našich podmínkách) **do 1 tis. hod/rok**, VTE **do 2 tis. hodin/rok**, VE **i 5 tis. hod/rok**
  - **nejvyšší** pokud biomasa či bioplyn slouží pro výrobu elektřiny bez vazby na výrobu tepla – **6 ale i až 8 tis. hod./rok**

1.5 Východiska a pravidla ekon. hodnocení

- Obvyklé **provozní náklady**:
  - **Relativně významné** v případě využívání biomasy a u TČ (u obou tvoří 30-40 % nákladové ceny vyráběné energie).
  - U ostatních instlací využívajících OZE (solární FV i FT systémy, VE, VTE) zpravidla **v řádu procent** celkových výrobních nákladů.
  - Provozní náklady **v čase zpravidla rostou**, v důsledku potřeby zvýšené údržby a oprav/výměny některých komponent instalace (čerpadla atd.)

2.1 Ekonomicka solárních soustav

- Při obvyklých parametrech…
  - invest. náklady **20-25 tis. Kč** na m^2 aktivní plochy kolektoru vč. veškerých komponent (akumul. nádoba, čerpadla, rozvody)
  - solární zisk v řádu **350-550 kWh/rok.m^2 kolektor. plochy**
  - „anualizované“ náklady pořízení (do 20 let provozu) tak činí min. **1,5-2,0 Kč** na získanou a efektivně využitou kilowatthodinu tepla, a při zohlednění časové hodnoty peněz pak **2,5-3,0 Kč/kWh.**
  - Uvážíme-li dále, že provozní náklady (spotřeba elektřiny na chod OČ a základní údržba příp. opravy) představují v součtu min. **1-1,2 Kč** na vyrobenou a efektivně využitou kWh tepla…
- … dosahuje reálná cena tepla **> 800 Kč/GJ** a při zohlednění faktoru času **> 1000 Kč/GJ**.

2.2 Ekonomicka solárních soustav - příklady

- Bez časové hodnoty peněz...

Instalace solárního systému	RD			domov důchodců / soc. ústav	
	1	2	3	4	5
Celkové investiční náklady [Kč]	**70 000**	**130 000**	**180 000**	**2 500 000**	**1 600 000**
Plocha kolektorů	3,5	5,25	6,0	131	100
Měrná investice [Kč/m2]	20 000	24 762	30000	19 048	16 000
Měrný energetický zisk [kWh/m2.rok]	350	450	550	500	320
Celkový energetický zisk [kWh/rok]	1 225	2 363	3 300	65 625	32 000
Provozní náklady [Kč/rok]	**455**	**733**	**860**	**4 040**	**2 157**
z toho:					
na opravy [Kč/rok]	*200*	*350*	*350*	*2 000*	*1 800*
náklady spojené s provozem čerpadla [Kč/rok]	*255*	*383*	*510*	*2 040*	*357*
Cena kWh tepla po "x" letech provozu:					
15	4,18	3,98	3,90	2,60	3,40
20	**3,23**	**3,06**	**2,99**	**1,97**	**2,57**
25	2,66	2,51	2,44	1,59	2,07
Cena GJ tepla po "x" letech provozu:					
15	1162	1106	1083	723	945
20	**898**	**851**	**831**	**547**	**714**
25	739	698	679	441	575

Poznámka: Ceny instalací při dodávce „na klíč" vč. DPH, bez časové hodnoty peněz

1) 2ks plochých kolektorů (1,75 m2 absorpční plocha každý), solární zásobník objem 200 l, nucený systém, ohřev TUV v letní a přechodovém období

2) 3ks kolektorů s kvalitní spektrálně-selektivní absorpční vrstvou a vakuovou izolací (plocha 3 x 1,75 m2), 300 l sol. zásobník, na celoroční ohřev TUV s nuceným oběhem

3) 8 ks vakuových trubicových kolektorů na TUV a přitápění (0,75 m2 absorpční plocha každý), 400 l solární zásobník

4) 75 ks plochých kolektorů (stejný typ jako výše) na TUV

5) Instalace 10 velkoplošných kolektorů o celkové ploše 100 m2 na ohřev TUV

2.3 Ekonomicka solárních soustav - příklady

- Při diskontní sazbě 5 %...

Instalace solárního systému	RD			domov důchodců / soc. ústav	
	1	2	3	4	5
Celkové investiční náklady [Kč]	**70 000**	**130 000**	**180 000**	**2 500 000**	**1 600 000**
Plocha kolektorů	3,5	5,25	6,0	131	100
Měrná investice [Kč/m2]	20 000	24 762	30000	19 048	16 000
Měrný energetický zisk [kWh/m2.rok]	350	450	550	500	320
Celkový energetický zisk [kWh/rok]	1 225	2 363	3 300	65 625	32 000
Provozní náklady [Kč/rok]	**455**	**733**	**860**	**4 040**	**2 157**
z toho:					
na opravy [Kč/rok]	*200*	*350*	*350*	*2 000*	*1 800*
náklady spojené s provozem čerpadla [Kč/rok]	*255*	*383*	*510*	*2 040*	*357*
Cena kWh tepla po "x" letech provozu:					
15	5,88	5,61	5,52	3,73	4,88
20	**4,96**	**4,73**	**4,64**	**3,12**	**4,08**
25	4,43	4,21	4,13	2,76	3,62
Cena GJ tepla po "x" letech provozu:					
15	1634	1560	1533	1037	1358
20	**1378**	**1314**	**1289**	**867**	**1134**
25	1230	1172	1148	769	1005

Poznámka: Ceny instalací při dodávce „na klíč" vč. DPH, předpokládán diskont 5 %

1) 2ks plochých kolektorů (1,75 m2 absorpční plocha každý), solární zásobník objem 200 l, nucený systém, ohřev TUV v letní a přechodovém období

2) 3ks kolektorů s kvalitní spektrálně-selektivní absorpční vrstvou a vakuovou izolací (plocha 3 x 1,75 m2), 300 l sol. zásobník, na celoroční ohřev TUV s nuceným oběhem

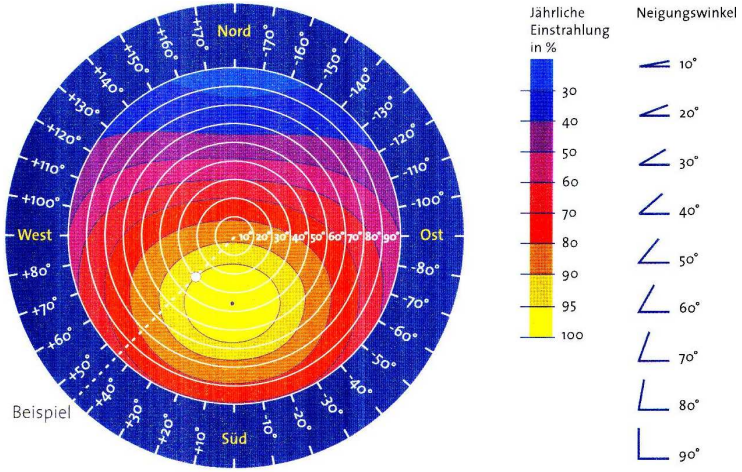
3) 8 ks vakuových trubicových kolektorů na TUV a přitápění (0,75 m2 absorpční plocha každý), 400 l solární zásobník

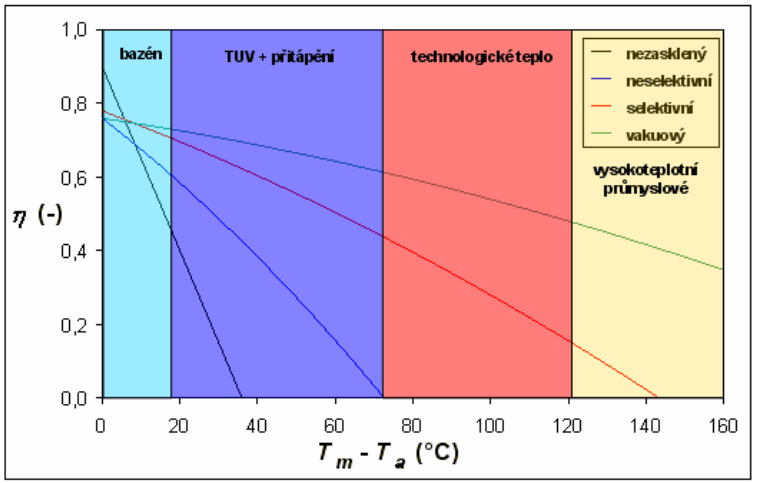
4) 75 ks plochých kolektorů (stejný typ jako výše) na TUV

5) Instalace 10 velkoplošných kolektorů o celkové ploše 100 m2 na ohřev TUV

3.1 Možnosti optimalizace

- Správná **orientace a sklon** kolektorové plochy pro maximální zisk...
- Volba provozních parametrů teplonosného média soustavy tak, aby byla **maximalizována** účinnost kolektoru i účinnost celého systému.

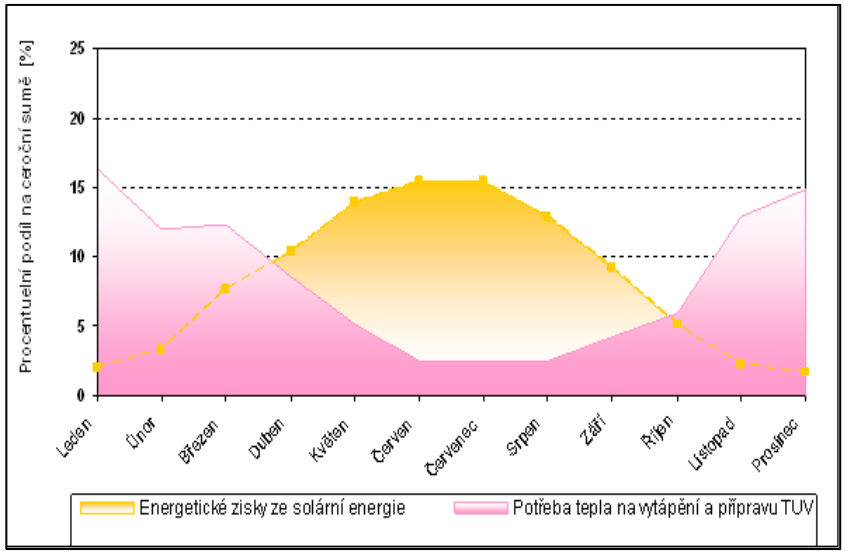




Autor: Matuška, 2005

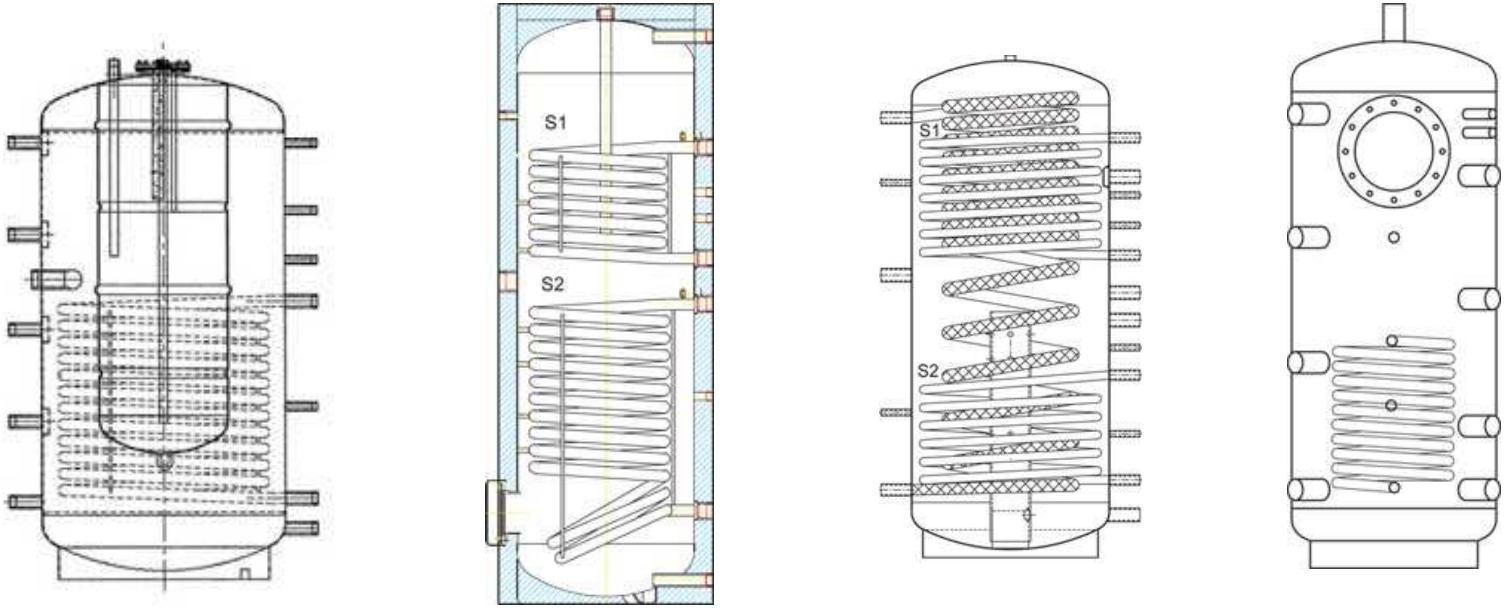
3.2 Možnosti optimalizace

- Denní solární zisk v létě **5-6 kWh/m²**, v zimě **méně než 1 kWh/m²** - výkon a tedy i velikost systému proto dimenzovat tak, aby bylo možné získávaného tepla účelně **využít i v letním období**,
- Příklad sumy globálního záření pro jih Rakouska:
  - *Květen až září 710 kWh/m²*
  - *Říjen až duben 410 kWh/m²*
  - *Listopad až únor 140 kWh/m²*



3.3 Možnosti optimalizace

- Velkou pozornost věnovat otázce **akumulátoru** – významně zvyšuje IN **(až na dvojnásobek)**, naopak může systém učinit efektivnějším (stratifikací), sloužit i pro jiné zdroje tepla, řešit (před)přípravu TV i ÚT

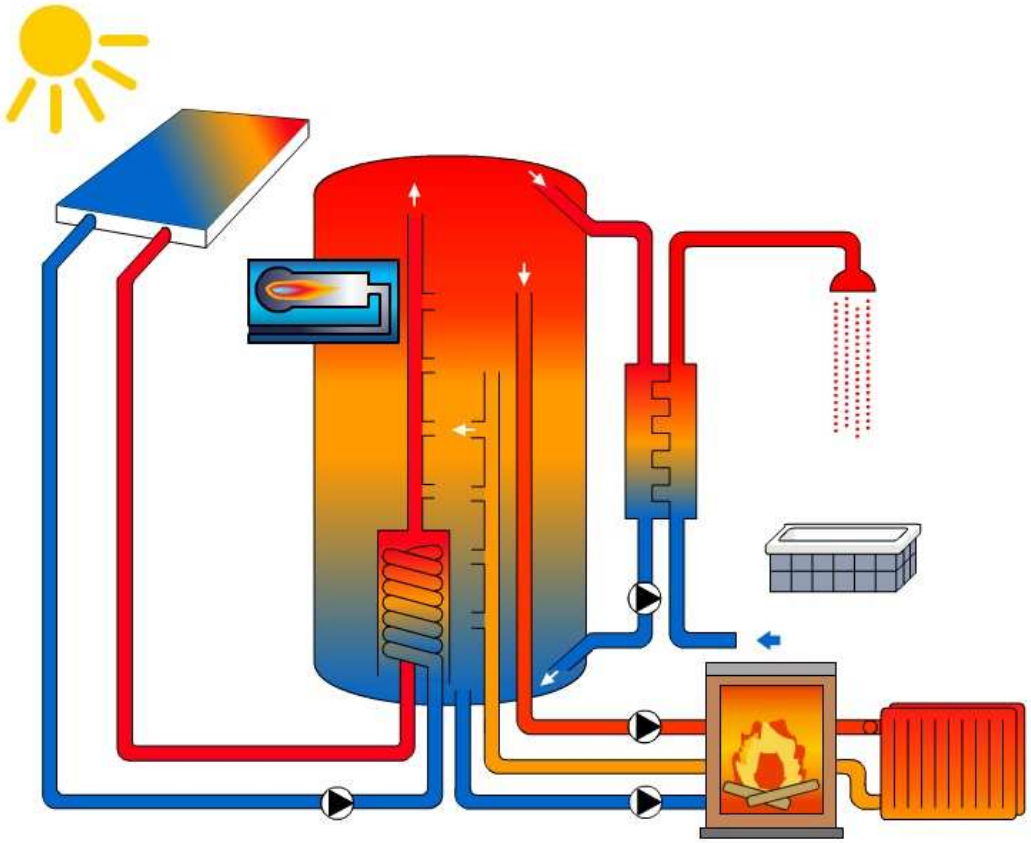


3.4 Možnosti optimalizace

- Ekonomické **kombinovat solární systém se zdrojem na tuhá paliva** (s ručním přikládáním zvláště)
- Akumulační zásobník vhodného typu a velikosti (pro kotle s ručním přikládáním objem **55 l/kW**, pro automaty **25 l/kW**) pak v kombinaci se SS:
  - **zvýší sezónní účinnost** kotle (i o 20-25 %), tj. úspora paliva, emisí, prodlouží jeho životnost,
  - **snižuje nároky na instal. výkon** hl. zdroje tepla - kotle (může mít o 25 i více % menší výkon),
  - v létě **náhrada** přípravy teplé vody elektřinou (tj. s vysokými náklady)
- Další zlešení ekonomiky: akumulátor s integrovaným hořákem (na pelety, ELTO)

3.5 Možnosti optimalizace

- Příklad dobrého systému...



- ...a jeho ekonomika:

1. Instalace solárního systému - jen solární panely		
Životnost zařízení	25	let
Diskontní sazba	5	%
Roční anuita investice	0,0710	
Cena elektrickjé energie	3	Kč/kWh
Počet hodin chodu oběhového čerpadla	1700	hodin
Celkové investiční náklady [Kč]	**40 000**	
Plocha kolektorů	3,5	
Měrná investice [Kč/m2]	11 429	
Měrný energetický zisk [kWh/m2.rok]	400	
Celkový energetický zisk [kWh/rok]	1 400	
Provozní náklady [Kč/rok]	**455**	
z toho:		
na opravy [Kč/rok]	*200*	
příkon oběhového čerpadla [kWh]	*50*	
náklady spojené s provozem čerpadla [Kč/rok]	*255*	
Cena tepla:	**2,35**	**Kč/kWh**
	654	**Kč/GJ**
Poznámka: Ceny instalací při dodávce „na klíč" vč. DPH		
1) 2ks plochých kolektorů (1,75 m2 absorpční plocha každý)		
2. Zdroj na biomasu (zplyňovací kotel na dřevo) + akumulační nádrž:		
Životnost zařízení	10	let
Diskontní sazba	5	%
Roční anuita investice	0,1295	
Cena paliva	125	Kč/GJ
Celkové investiční náklady [Kč]	**90 000**	Kč
Roční anuita investice:	11 655	Kč
Roční potřeba tepla:	23600	kWh
Při účinnosti zdroje	85	%
Roční potřeba tepla v palivu:	27765	kWh
Náklady na palivo	12484	Kč
Ostatní náklady	1000	Kč
Roční náklady na vytápění celkem	**25 140**	**Kč/rok**
Cena tepla :	**1,07**	**Kč/kWh vyr. tepla**
	296,1	**Kč/GJ vyr. tepla**
Vážená cena tepla z kombin systému celkem:	**1,14**	**Kč/kWh**
	316,17	**Kč/GJ**

4. Příklad postupu pro konkrétní případ

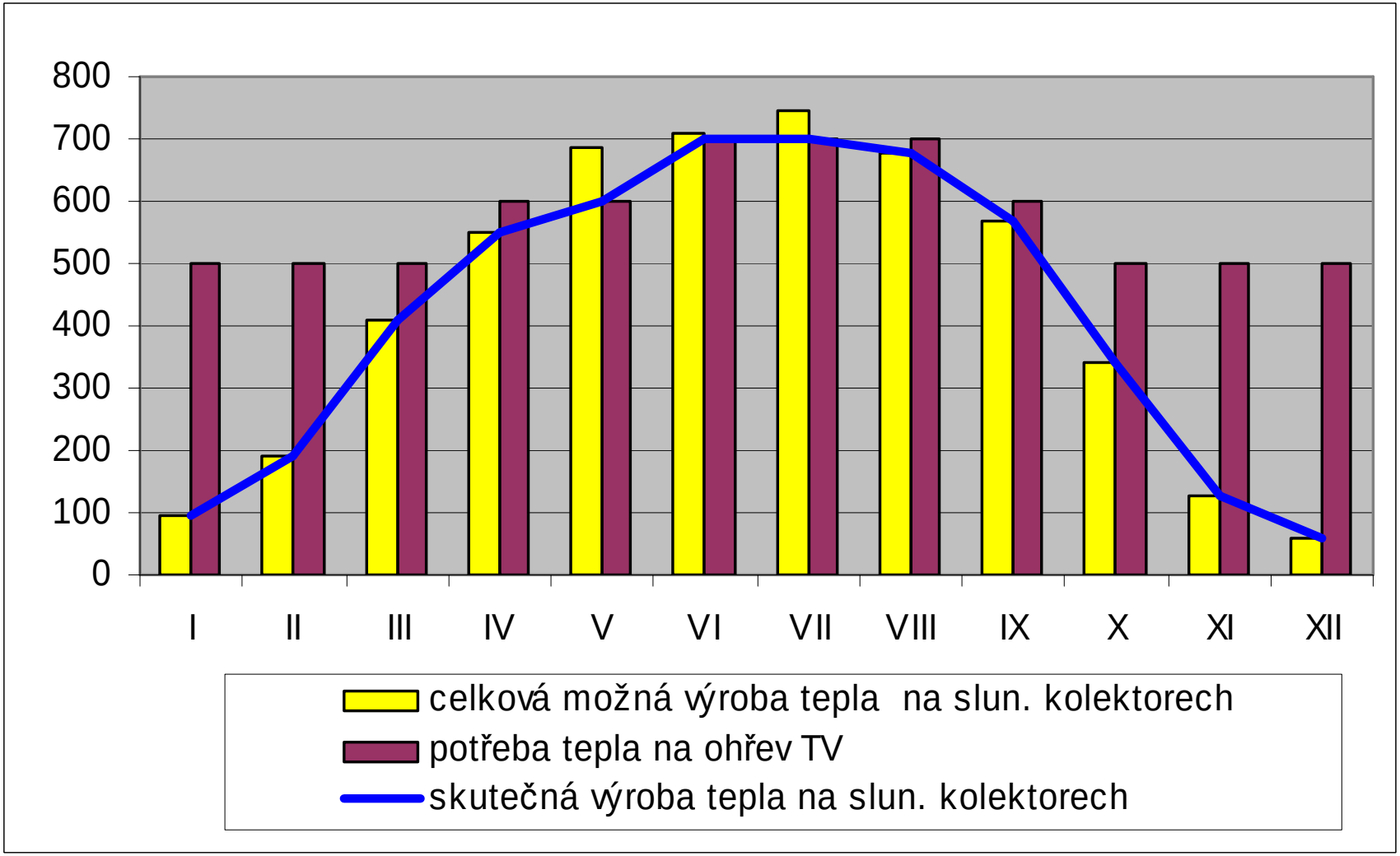
- Volba typu kolektoru a jejich předběžného počtu
- Stanovení max. možné výroby tepla a využitelného podílu v dané soustavě
- Odhad ceny instalace a výpočet ekonomických ukazatelů
- Optimalizace parametrů (počtu kolektorů, případně i jeho typu)

Výběr kolektoru, výpočet roční výroby

plocha apertury (zasklení) kolektoru	A_k	m2	1,87
základní účinnost	η_0		78%
koeficienty tepelné ztráty	a1	W/(m2K)	4,21
	a2	W/(m2K2)	0,02

měsíc			Celkem	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
počet dnů	n		**365**	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
denní dávka sluneč. ozáření	$H_{T,den}$	kWh/den		1,09	1,94	3,16	3,92	4,81	5,25	5,15	4,66	3,9	2,37	1,2	0,76
měsíční dávka sl. ozáření	$H_{T,dměs}$	kWh/měs	**1164**	33,8	54,3	98,0	117,6	149,1	157,5	159,7	144,5	117,0	73,5	36,0	23,6
střední denní ozáření	$G_{T,m}$	W/m2		408	479	526	521	516	512	508	509	509	479	417	377
teplota teplonosné látky	$t_{k,m}$	°C		40	40	40	40	45	50	50	50	45	40	40	40
střední teplota okolí	t_{es}	°C		2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5
účinnost kolektoru	η_k			30%	39%	46%	52%	51%	50%	51%	52%	54%	51%	39%	29%
možná výroba tepla na 1 m2	$Q_{k1,u}$	kWh/(m2 měs)	**461**	8,3	17,1	36,4	49,2	61,5	63,3	66,5	60,4	50,8	30,6	11,3	5,5
možná výroba tepla na 1 kolektor	$Q_{k,u}$	kWh/měs	**860**	16	32	68	92	115	118	124	113	95	57	21	10
celkový počet kolektorů			**6**												
celková možná výroba tepla na slun. kolekto	$Q_{k,u\ celk}$	kWh/měs	**5 162**	93	192	408	552	689	709	745	677	569	342	126	61
potřeba tepla na ohřev TV	Qpotř	kWh/měs	**6 900**	500	500	500	600	600	700	700	700	600	500	500	500
skutečná výroba tepla na slun. kolektorech	Qskut	kWh/měs	**5 019**	93	192	408	552	600	700	700	677	569	342	126	61
solární pokrytí			**73%**												
měrný využitelný solární zisk		**kWh/m².rok**	**448**												

Roční průběh výroby a pokrytí potřeby tepla



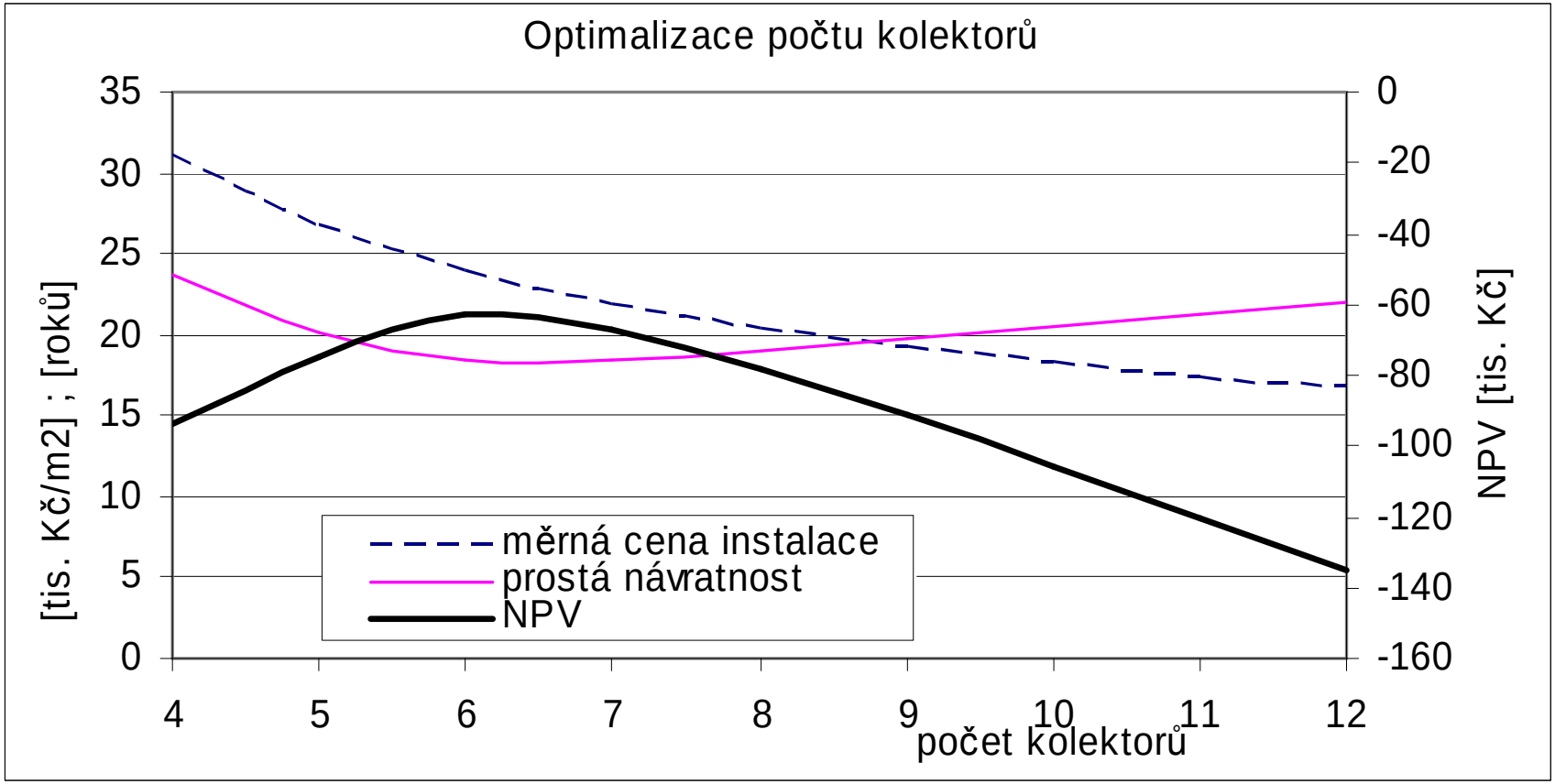
Náklady a přínosy

veličina	hodnota	jednotka
plocha 1 panelu	1,867	m2
počet panelů	6	
celková plocha panelů	11,2	m2
cena 1 panelu vč. uchycení	15	tis. Kč.
cena panelů celkem	90	tis. Kč.
cena dalšího přísluš. (zásobníky, čerpadla, ...)	80	tis. Kč.
montáž	35	tis. Kč.
projektová dokumentace	20	tis. Kč.
celkové náklady bez dph	225	tis. Kč.
celkové náklady s dph	**268**	**tis. Kč.**
celkové náklady systému na 1 m2 plochy	*24*	*tis. Kč./m2*
teplo dodané ze solárních kolektorů	5,0	MWh/r
cena tepla ze záložního zdroje	3,0	Kč/kWh
úspora nákladů na nákup tepla	15,1	tis. Kč/r
náklady na opravy a pohon čerpadel	0,5	tis. Kč/r
celkové úspory provozních nákladů	14,6	tis. Kč/r

Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení projektu		
Předpoklady		
diskontní faktor	5%	
doba hodnocení	25	roků
Výsledné ukazatele		
prostá návratnost opatření	18	roků
diskontovaná návratnost	52	roků
čistá současná hodnota projektu	-63	tis. Kč.
vnitřní výnosové procento	3%	
Měrné výrobní náklady za dobu životnosti		
anuita investice	19	tis. Kč/r
podíl investice v nákladech na vyrobené teplo	3,8	Kč/kWh
podíl ostatních provozních nákladů	0,1	Kč/kWh
průměrná cena vyrobeného tepla	3,9	Kč/kWh

Optimalizace celkové plochy kolektorů



5. Závěry, doporučení

- Ekonomika SS zásadním způsobem závisí na ročním **využitelném** solárním zisku (350 kWh/rok vs. 450 kWh/rok > 20 % rozdíl v nákladovosti)... a **investičních nákladech** (SS s plochými/trubicovými kolektory 20/30 tis. Kč)
- **Akumulátor tepla** - zásadní prostředek optimalizace SS z pohledu ekonomiky provozu
- **Kombinované** solární soustavy spolupracující se zdroji tepla na TP – významné synergické efekty.

Dotazy/Diskuze:

Děkuji za pozornost.

Bohuslav Málek

SEVEn, o.p.s.

Email: bohuslav.malek@svn.cz

Tel: +420 224 252 115

ENERGY BENEFIT CENTRE O.P.S.

Efektivní financování úspor energie
www.energy-benefit.cz

Solární soustavy - smysluplný rozvoj, dotační a systémová podpora v ČR

Solární tepelné soustavy

Praha , 6. listopadu 2009

Ing. Libor Novák

Obsah:

K cenám energie – čeká nás stálý růst (??)

Co tedy dělat - čím vytápět, ohřev TV?

Solární soustava – součást energetického zdroje – vlastní zkušenost

Finanční podpora – dotační programy v ČR:

Detail: „Zelená úsporám"

Systémová podpora – zákon o OZE a fotovoltaika

Systémová podpora – Směrnice EU, Německo

CENA ENERGIE

Cena energie roste v ČR od r. 2006 každoročně o 5 – 10%. Nejinak tomu bude v průběhu následujících 5 -10 letech.

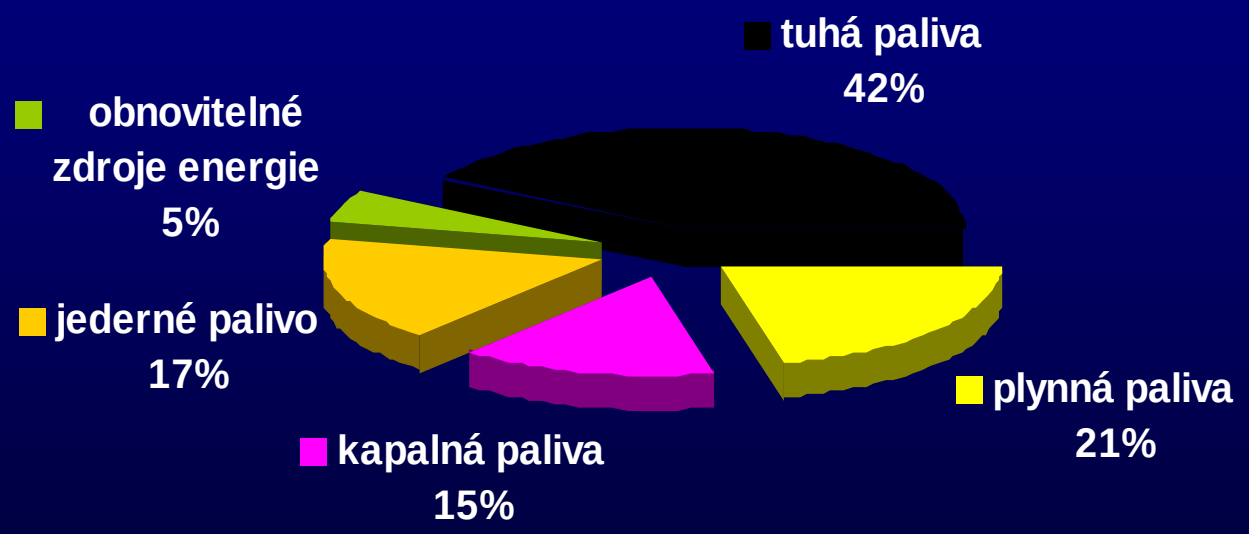
Výjimkou bude období větších hospodářských propadů – MOŽNÁ – v tomto období, poklesu poptávky, je vhodné zdražit související služby a distribuci ☺.

Proč se domníváme, že tomu tak bude?

Česká energetika je postavena na zdrojích, které se stávají stále více společensky nepřijatelnými (uhlí) a na zdrojích, které stále více dovážíme (ropa, zemní plyn)

K cenám energie – čeká nás stálý růst (??)

Struktura primárních energetických zdrojů v ČR:



Graf č.1. Zdroj: MPO 2009

CENA ENERGIE

Cena energie roste v ČR od r. 2006 každoročně o 5 – 10%. Nejinak tomu bude v průběhu následujících 5 -10 letech.

Výjimkou bude období větších hospodářských propadů – MOŽNÁ – v tomto období, poklesu poptávky, je vhodné zdražit související služby a distribuci ☺.

Proč se domníváme, že tomu tak bude?

Rostoucí vliv „zelené ideologie" napříč Evropou – tato smýšlení nepodporuje fosilní zdroje a bohužel ani atomovou energii

CENA ENERGIE

Cena energie roste v ČR od r. 2006 každoročně o 5 – 10%. Nejinak tomu bude v průběhu následujících 5 -10 letech.

Výjimkou bude období větších hospodářských propadů – MOŽNÁ – v tomto období, poklesu poptávky, je vhodné zdražit související služby a distribuci ☺.

Proč se domníváme, že tomu tak bude?

V blízkém období budou investiční náklady velkých jaderných zdrojů několikanásobně vyšší, než bylo doposud obvyklé – vliv demokracie, prosazení výstavby bude stále obtížnější a nákladnější.

CENA ENERGIE

Cena energie roste v ČR od r. 2006 každoročně o 5 – 10%. Nejinak tomu bude v průběhu následujících 5 -10 letech.

Výjimkou bude období větších hospodářských propadů – MOŽNÁ – v tomto období, poklesu poptávky, je vhodné zdražit související služby a distribuci ☺.

Proč se domníváme, že tomu tak bude?

Celosvětově, především díky EVROPSKÉ UNII silná podpora výstavby menších zdrojů zejména na bázi obnovitelných energetických zdrojů (voda, biomasa, vítr, sluneční záření) – jsou obecně VELMI drahé.

CENA ENERGIE

Cena energie roste v ČR od r. 2006 každoročně o 5 – 10%. Nejinak tomu bude v průběhu následujících 5 -10 letech.

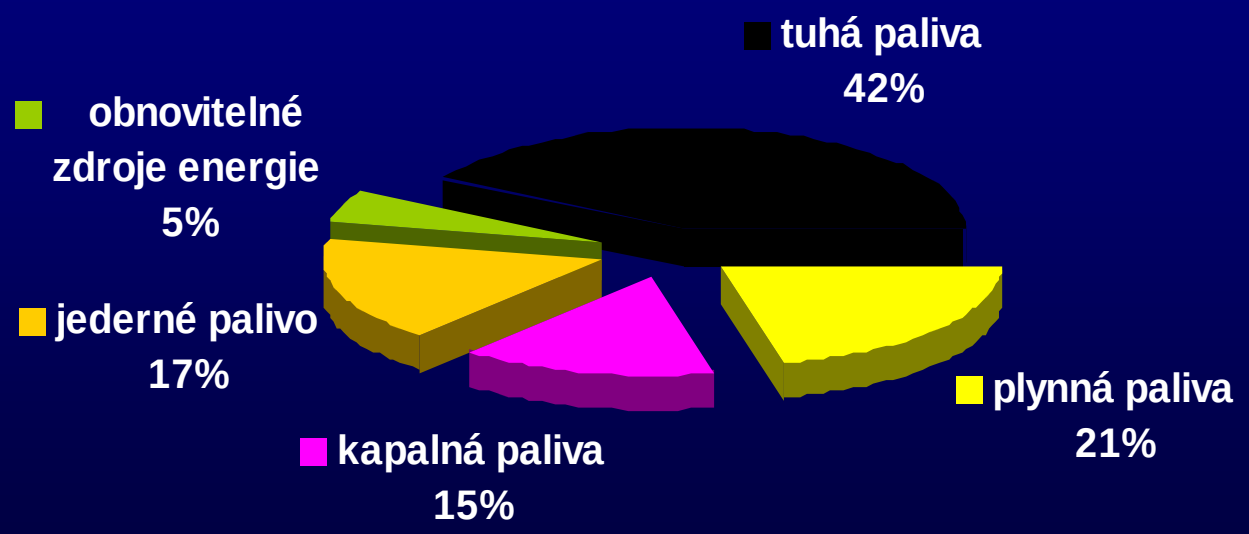
Výjimkou bude období větších hospodářských propadů – MOŽNÁ – v tomto období, poklesu poptávky, je vhodné zdražit související služby a distribuci ☺.

Proč se domníváme, že tomu tak bude?

Zvyšování CO_2, klimatické změny, (nepodložené) globální oteplování – snaha bojovat proti těmto jevům – obchodování s emisemi, podpora obnovitelných zdrojů, uvalení daní na zdroje škodlivé až nebezpečné našemu prostředí (EDR).

K cenám energie – čeká nás stálý růst (??)

Struktura primárních energetických zdrojů v ČR:



Graf č.1. Zdroj: MPO 2009

Co tedy dělat – čím vytápět, ohřev TV?

A)

Omezit osobní spotřebu energie (neplýtvat, regulovat, zateplovat, zefektivnit spotřebiče)

B)

Volit místně nejdostupnější zdroje energie, k ohřevu teplé užitkové vody začít využívat solární kolektory

Co tedy dělat – čím vytápět, ohřev TV?

Náklady na vytápění RD o celkové spotřebě tepla a teplé vody – referenční objekt o spotřebě energie cca 80 GJ.

Komfortní zdroje vytápění:	1/2008	10/2009		navýšení
Elektřina - přímotop	***52 719***	***57 484***	***Kč/rok***	***9%***
Zemní plyn	***29 278***	***33 318***	***Kč/rok***	***14%***
CZT	***28 571***	***32 653***	***Kč/rok***	***14%***
Tepelné čerpadlo	***19 127***	***21 048***	***Kč/rok***	***10%***

Nekomfortní zdroje vytápění:				
Černé uhlí	***22 557***	***25 187***	***Kč/rok***	***12%***
Hnědé uhlí	***15 354***	***20 202***	***Kč/rok***	***32%***
Kusové dřevo	***10 796***	***13 881***	***Kč/rok***	***29%***

Zdroj: www.tzb-info.cz

Co tedy dělat – čím vytápět, ohřev TV?

Tvrzení:

Volbu zdroje energie k vytápění RD nebo BD (bytových jednotek) volíme s ohledem na poměr ceny provozních nákladů konkrétního zdroje a komfortu vytápění, který nám přinese.
(vliv rostoucí životní úrovně – „žijeme v nejlepší době")

Rozhodně není v dnešní době limitujícím faktorem cena investice, neboť ta je relativně (vzhledem k dlouhodobým provozním nákladům zdroje) nízká.
(provoz kotle na černé uhlí x provoz tepelného čerpadla)

Co tedy dělat – čím vytápět, ohřev TV?

kusové dřevo x dřevěné brikety x uhlí (černé, hnědé, koks)

Z výše dostupných nekomfortních zdrojů je dnes a pravděpodobně tomu tak zůstane dlouhodobě nejlevnějším zdrojem kusové dřevo.

Důvody pro jeho volbu:

- *čistý zdroj energie – neutrální emise CO2*
- *bez daňové zátěže – žádné spotřební daně, snížená sazba DPH (9%)*
- *technologie zplyňování dosahuje účinnosti přes 80%*
- *možnost čerpání dotace – 50 - 90 tis. Kč / zařízení (až 100% nákladů)*

Nevýhody:

- *obecné nevýhody nekomfortnosti – nutnost příprava na topnou sezonu, nutnost pravidelného přikládání, nutnost pravidelného čištění a údržby kotle i komínového tělesa*
- *nutnost prostorné technické místnosti - kotelna*
- *nutnost spalování vyschlého dřeva – skladování min. po dobu 3 let*

Co tedy dělat – čím vytápět, ohřev TV?

Zde se nedá jednoznačně určit či doporučit některý z možných, dostupných zdrojů energie. Volba dle dostupnosti, intuice a vlastní důvěry ve zdroj.

Zemní plyn:

- *čistý zdroj energie (z globálního hlediska je v ČR čistším zdrojem než vytápění elektřinou či dokonce tepelným čerpadlem!)*
- *v krátkodobém horizontu nebude zatěžován ekologickými daněmi*
- *relativně nízké investiční náklady*
- *většina obcí, měst je plynofikována – dobrá dostupnost*
- *jeho cena se odvíjí od ceny ropy a cen energie obecně (poroste ??)*
- *zdroj, který je nutné dovážet (závislost ČR na Rusku)*

Centrální zásobování teplem:

- *relativně čistý zdroj energie (plyn, biomasa, odpadní teplo x jiná fosilní paliva)*
- *řada obcí a měst jej nabízí výrazně pod průměrnými cenami (250–900 Kč/GJ)*
- *velmi levné investiční náklady na připojení (dle místních připojovacích poplatků)*
- *není potřeba komínové těleso*

Co tedy dělat – čím vytápět, ohřev TV?

Zde se nedá jednoznačně určit či doporučit některý z možných, dostupných zdrojů energie. Volba dle dostupnosti, intuice a vlastní důvěry ve zdroj.

Elektřina – akumulace, přímotop:

- *přímotopy patří mezi investičně nejlevnější zdroje tepla vzhledem k tomu je lze využít například v nízkoenergetických či pasivních domech (lépe ale TČ)*
- *v dnešní době provozně velmi náročný zdroj tepla, do budoucna bude stále nákladnější*
- *není potřeba komínové těleso*

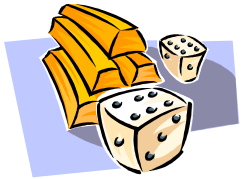
Tepelná čerpadla:

- *využívají obnovitelný zdroje energie cca 2/3 dodané energie, z tohoto titulu jsou považovány za čistý zdroj energie (bude to platit v případě, že ČR nebude závislá z velké části na elektřině z fosilních paliv - především uhlí)*
- *investičně náročnější zdroj – zejména TČ země-voda*
- *není potřeba komínové těleso*
- *možnost čerpání dotace 50 – 75 tis. Kč / zařízení, ovšem s podmínkou, že objekt splňuje současně platné standardy na tepelnou ochranu budovy.*

Solární soustava – součást energetického zdroje – vlastní zkušenost

Ve velké míře vyrábíme TV pomocí el. energie – její dnešní cena je neúnosná a nadále poroste.

Solární soustavy dimenzované k ohřevu TV mají dnes díky podpoře státu návratnost již okolo 7 let!
(bez započtení zvyšujících se cen energií)



Výhody instalace:

- *návratnost okolo 7 let (systém s dotací, dimenzovaný na TV)*
- *možnost čerpání dotace až **80 000,- Kč** (systém s přitápěním)*
- *možnost integrace do střechy objektu – úspory nákladů na střešní krytinu (?)*
- *pohlcováním záření výrazně snižuje teploty pod střechou objektu (podkrovní byty)*
- *architektonický doplněk objektů*

Solární soustava – součást energetického zdroje – vlastní zkušenost

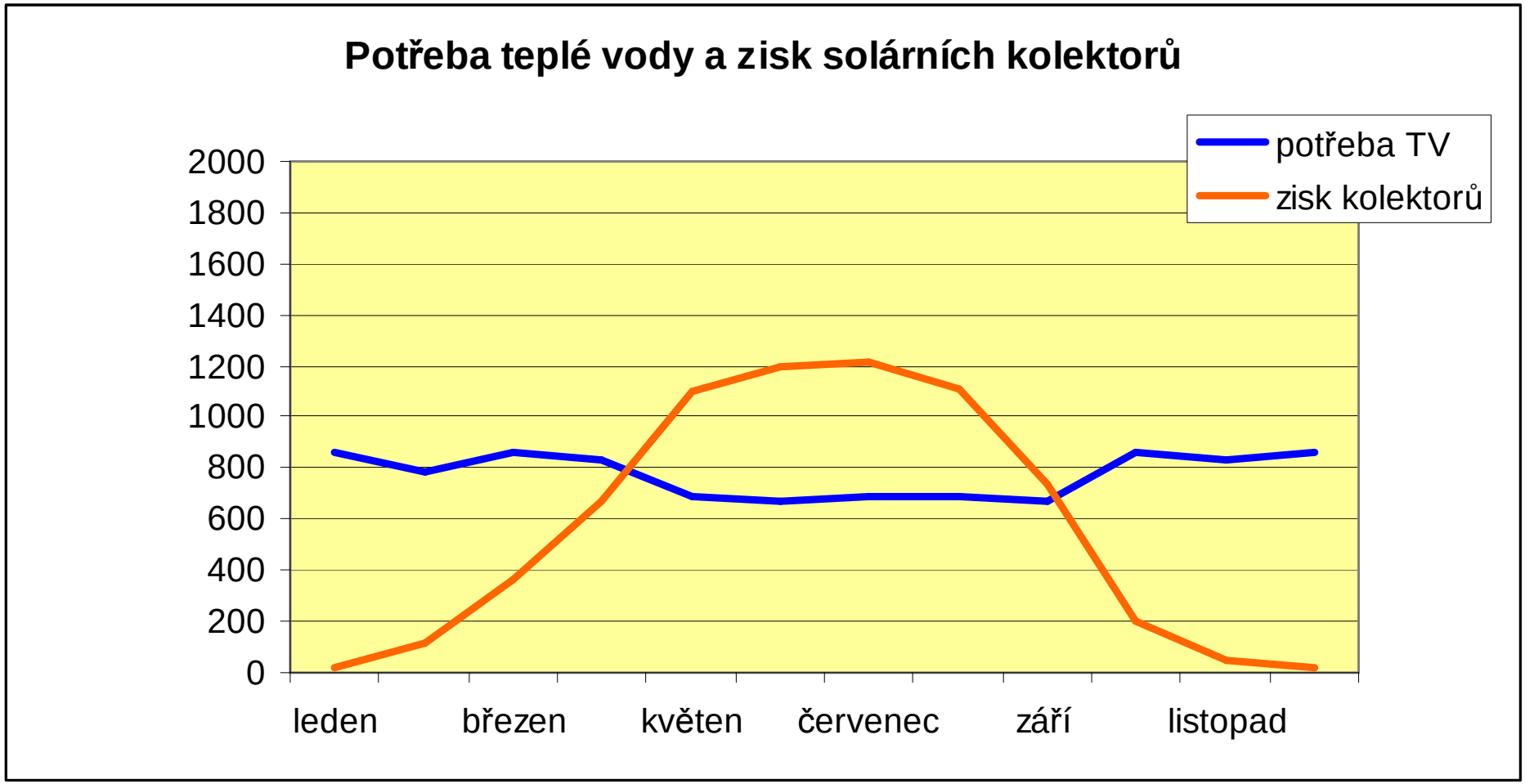
Instalace solární soustavy k ohřevu TV (vpravo) – plocha kolektorového pole 12,9 m2.

- *kolektory **KPS Regulus***
- *dimenzováno pro 5 osob trvale žijících v objektu se standardním odběrem TV*
- *systém je určen částečně k přitápění*
- *celková cena investice 140, - tis.Kč*
- *roční výroba ve zdroji cca 19 GJ*
  vypočtená doba návratnosti s dotací 8,6 let – bez započtení pravidelně rostoucích cen energie
- *původní zdroj TV v přechodném a letním období – elektrický boiler*

Objekt je dále vytápěn dřevozplyňujícím kotlem Atmos DC 22 S na kusové dřevo. Zapojení včetně akumulační nádrže 1 000 litrů a zásobníku TV o objemu 300 l.

Instalace fotovoltaické elektrárny o výkonu 3 kWp. Veškerá vyrobená elektřina je prodávána do sítě za současně stanovenou výkupní cenu na úrovní 14,08 Kč/kWh dodanou do distribuční sítě ČEZ Distribuce a.s.

Solární soustava – součást energetického zdroje – vlastní zkušenost



Efektivní OZE a úspory energie = hledat dotační programy!

Fungující:

» dotace pro veřejný sektor:

Operační program Životní prostředí 2007 -2013

(MŽP, SFŽP, zateplování, OZE, cca 18 mld. Kč cca 75%)

» dotace pro podnikatelské subjekty:

Operační program Podnikání a Inovace 2007 – 2013

(MPO, Czechinvest, Eko-energie, úspory, cca 8,5 mld. Kč cca 40%)

» dotace pro bydlení a nejen fyzické osoby:

Zelená úsporám, od 1.4.2009 – 31.12.2012

(MŽP, SFŽP – zateplování, kotle, solární soustavy, TČ, cca 25 mld. Kč)

„Zelená úsporám"

Gestor programu: MŽP, SFŽP

původně: GIS – Green Investment Scheme, nyní: ZELENÁ ÚSPORÁM

- financováno z výnosů z obchodování s povolenkami skleníkových plynů
- celkem **až 25 mld.** Kč v letech 2009 -2012
- podpora zateplování a vytápění či ohřev TV pomocí OZE
- primárně určeno pro RD a BD (***nově i panelové domy***)
- žádosti je možné podávat: **do 30. června 2012**

Zásadní změny po 17. 8. 2009

- lze žádat již od 20% úspor jakýmkoliv opatřením s UN
- výše dotace je dána pevnou částkou (není procentuální omezení, ***solární soustava i 100% dotace***)
- do vyčerpání je možné žádat dotaci na projektovou přípravu
- nejsou uznatelné či neuznatelné položky

VÝŠE PODPOR - BYTOVÉ DOMY

Zateplování:

» celkové zateplení BD	30 kWh/m²	1 500 Kč/m²
» celkové zateplení BD	55 kWh/m²	1 050 Kč/m²
» dílčí zateplení 30% úspora		600 Kč/m²
» dílčí zateplení 20% úspora		450 Kč/m²

Nová výstavba:

» novostavba BD v pasivním standardu 150 tis.Kč/b.j.

Využití obnovitelných zdrojů energie:

» kotel na biomasu v BD	max. 25 tis.Kč/b.j.
» tepelné čerpadlo (země/voda –voda)	max. 20 tis.Kč/b.j
» tepelné čerpadlo (vzduch –voda)	max. 15 tis.Kč/b.j
» solární kolektory pro ohřev TV	max. 25 tis.Kč/b.j.
» solární kolektory pro TV a přitápění	max. 35 tis.Kč/b.j.

Dotační bonus při kombinaci vybraných opatření u BD 50 tis. Kč/BD

VÝŠE PODPOR - RODINNÉ DOMY

Zateplování:

» celkové zateplení RD	40 kWh/m2	2 200 Kč/m2
» celkové zateplení RD	70 kWh/m2	1 550 Kč/m2
» dílčí zateplení 30% úspora		850 Kč/m2
» dílčí zateplení 20% úspora		650 Kč/m2

Nová výstavba:

» novostavba RD v pasivním standardu 250 tis.Kč

Využití obnovitelných zdrojů energie:

» kotel na biomasu v RD se samočinnou pod. paliva	95 tis.Kč
» kotel na biomasu v RD s akumulací	80 tis.Kč
» kotel na biomasu v RD	50 tis.Kč
» *solární kolektory pro ohřev TV*	*55 tis.Kč*
» *solární kolektory pro ohřev TV i přitápění*	*80 tis.Kč*
» tepelná čerpadla země/voda – voda	75 tis.Kč
» tepelná čerpadla vzduch - voda	50 tis.Kč

C.3 Instalace solárně termických kolektorů

Technické podmínky:

- » dosažení ročního solárního zisku alespoň 350 kWh/m^2
- » dosažení celkového ročního zisku (RD) 1 500 kWh
- » dosažení celkového ročního zisku (BD na BJ) 1 000 kWh

přitápění:

- » dosažení ročního solárního zisku alespoň 455 kWh/m^2
- » dosažení celkového ročního zisku (RD) 1 950 kWh
- » dosažení celkového ročního zisku (BD na BJ) 1 300 kWh

Obecné podmínky:

- » uvedení do provozu po 1. 4. 2009
- » nelze žádat na rozšíření či rekonstrukci (bylo-li podpořeno ze SFŽP dříve)
- » kolektory, zásobníky, akumulační nádrže jsou zapsány v SVT
- » instalace provedena odbornou osobou zapsanou v seznamu SOD
- » závazek k provozu min. 15 let

Solárně termické kolektory
minimální rozsah projektové dokumentace

Projektová dokumentace:

Technická zpráva

- identifikace stavebníka/žadatele
- údaje o stavbě a její stručný popis (účel, počet osob a bytů)
- popis technického zařízení (termín realizace, popis montáže dle technické dokumentace daného zařízení)
- zařízení měření a regulace (stručný popis, funkce)
- zdravotně technické instalace (bilance potřeby vody)

přitápění:

- údaje o podlahové ploše budovy v m^2 – uvažuje se jako celková vnitřní podlahová plocha všech podlaží budovy bez nevytápěných prostor viz TNI 43 0329(30)
- Popis napojení na otopnou soustavu budovy

Výkresová část

- schéma zapojení systému na stávající rozvody studené, teplé a cirkulační vody, u přitápění také napojení na otopnou soustavu budovy

Solárně termické kolektory
minimální rozsah odborného posudku

- odkaz na použitý výpočetní postup a SW pro výpočet potřeby tepla pro přípravu teplé vody a výpočet solárních zisků kolektorů, u přitápění – odkaz na použitý výpočetní postup a SW pro výpočet součinitele prostupu tepla měrné roční potzřeby tepla na vytápění
- uvedení vstupních hodnot zadávaných do výpočtů
- výpočet potřeby tepla pro přípravu TV dle TNI 73 0302
- výpočet solárních zisků soustavy se solárně termickými kolektory dle metodiky zveřejněné na SFŽP ČR na www.zelenausporam.cz
- výpočet potřeby tepla pro přípravu TV podle metodiky zveřejněné na SFŽP ČR na www.zelenausporam.cz

přitápění:

- výpočet měrné roční potřeba tepla na vytápění podle harmonizovaných technických norem s případným použitím metody výpočtu a okrajových podmínek dle TNI 73 03 29 (TNI 73 0330)
- výpočet úspory tepla na vytápění

Jakou výši dotace lze očekávat?

- velmi různé podle našich propočtů může podpora průměrně dosahovat **70%,** nevratné dotace z **celkových investičních nákladů**
- lze ale najít případy, či realizovat řešení, kdy dotace téměř pokryje navrhované řešení ze 100% ! (například při dotaci na zateplení a solární soustavu na ohřev TV lze získat dotační bonus díky kterému uhradím sol. soustavu kompletně).

Co je nutné k žádosti, co mám dělat?

- záměr – vytipovat projektanta, výrobky, dodavatele.
- výpočet měrné roční potřeby energie na vytápění ve vztahu k podlahové ploše – dosažení požadovaných hodnot
- financování - rozpočet realizace a vlastní finanční zdroje
- projektová dokumentace

Systémová podpora – zákon o OZE a FVE

V roce 2005 došlo k přijetí zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie

- *zákon garantuje minimální dobu návratnosti investic (15 let)*
- *vyhláškou s platností od 1.1.2008 se prodlužuje tato garance na 20 let*
- *zmocňuje ERÚ ke způsob nastavení podpory obnovitelných zdrojů, tak aby ČR dosáhla k roku 2010 - 8%*
- *výrobce má právo na přednostní připojení výrobny do elektrizační soustavy*

výrobce si může vybrat ze dvou systémů podpory

výkupní ceny

x

zelené bonusy

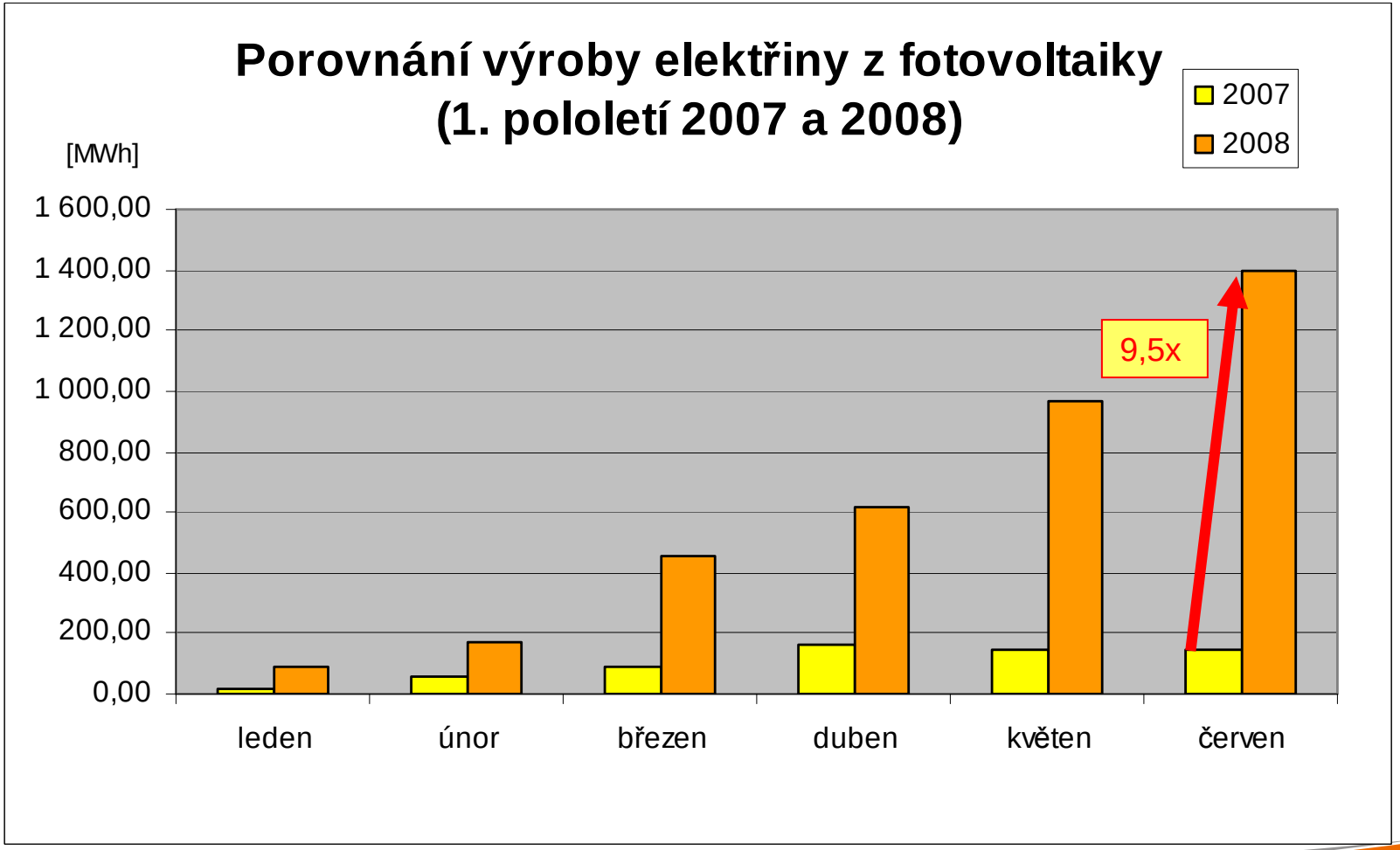
Systémová podpora – zákon o OZE a FVE

Výkupní ceny a zelené bonusy – využití slunečního záření:

Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu pro rok 2009

Datum uvedení do provozu/velikost výrobny	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě (Kč/MWh)	Zelené bonusy (Kč/MWh)
po 1. lednu 2009 / do 30 kW	12 890	11 910
po 1. lednu 2009 / nad 30 kW	12 790	11 810
od 1. ledna 2006 do 31.12.2007	14 080	13 100

Systémová podpora – zákon o OZE a FVE



Výnosy nízkorizikových investic

Běžný účet	0 až 1 %
Termínovaný vklad	2 až 3 %
Státní dluhopisy s variabilní úrokovou sazbou v roce 2008	4 až 6 %
Státní dluhopisy s variabilní úrokovou sazbou v roce 2009	2 až 3 %
Hodnota zvolená ERÚ pro výnosnost všech OZE	7 %
Současná výnosnost malých FV elektráren	10 až 15 %
Současná výnosnost velkých FV elektráren	14 až 17 %

Směrnice Evropské komise o OZE

Základní teze:

- směrnice stanoví souhrnný cíl pro společenství: Do roku 2020 vyrábět 20% energie prostřednictvím obnovitelných zdrojů energie.
- každý členský stát má přiděleny své národní cíle na základě svého podílu výroby energie z obnovitelných zdrojů v roce 2005 a její HDP na obyvatele.
- jednotlivé členské státy mohou svobodně rozhodnout o nejvhodnější kombinaci obnovitelných zdrojů energie, které mají být použity ke splnění svých cílů. Jsou povinný předložit národní akční plány do ½ roku 2010 Evropské komisi. Jejich součástí bude plán dosažení svých národních cílů. Následně budou rovněž povinny podávat zprávy o jejich přiblížení cíle každé dva roky.
- nejsou nastaveny žádné finanční sankce – EK si pouze vyhradila nárok podniknout právní kroky proti členským státům, které nebudou prokazovat průběžné pokroky

Česká republika:

- Cíl: do roku 2020 vyrábět 13% energie z OZE…..***SOUČASNOST: 6%***

Zákon o teple z obnovitelných energií - Německo

platí od 1. 1. 2009

Základní teze:

- » povinnost pro nově budované objekty se zastavěnou plochou nad 50 m^2, které jsou vytápěny nebo chlazeny - musí část z této energie pokrýt z obnovitelných zdrojů.
- » u slunečního záření je minimální podíl potřeby tepelné energie 15%
- » u biomasy je minimální podíl potřeby tepelné energie 50%
- » náhradním opatřením může být objekt pokryt alespoň 50 % potřeby z ***odpadního tepla***, **kogenerace** nebo ***připojením na CZT*** (ale i zde musí min. z 50 % pocházet z OZE, kogenerace, odpadního tepla případně kombinace)
- » náhradní opatřením je také zateplení, které o 15 % přesáhne požadavky vyhlášky o úsporách energie

Podpora:

- » dotační prostředky - využívání obnovitelných energií k výrobě tepla bude v letech 2009 až 2012 podpořeno až 500 milióny euro ročně

DĚKUJI ZA POZORNOST

Kontakt:

Ing. Libor Novák
e-mail: libor.novak@energy-benefit.cz

Energy Benefit Centre o.p.s., Thákurova 4, 160 00 Praha 6

tel.: 270 003 301
e-mail: kontakt@energy-benefit.cz
Web: www.energy-benefit.cz

Operační program Životní prostředí 2007 – 2013

Dotační podpora OPŽP

Solární tepelné soustavy 2009

Jan Kunc
Odbor ochrany ovzduší a obnovitelných zdrojů energie

Obsah

- Úvod do OPŽP
- Oblasti podpory a podporované aktivity v rámci PO 3
- Projektový cyklus žádosti o podporu
- Výše podpory
- Zhodnocení akceptovaných žádostí (solární a FV soustavy)
- Aktuální výzvy a harmonogram výzev

OPŽP - Operační program životní prostředí

- OPŽP nabízí v letech 2007 - 2013 z evropských fondů (FS, ERDF) přes 5 miliard euro
- cílem OPŽP je ochrana a zlepšování kvality životního prostředí
- celkem 7 prioritních os dle jednotlivých oblastí podpory
- PO 3 - Udržitelné využívání zdrojů energie (13,7% z celkové alokace)

Oblast podpory 3.1 – Výstavba a rekonstrukce OZE

projekty:

- centrální a blokové kotelny (např. kotelny na biomasu), lokální zdroje tepla (např. kotle na biomasu, tepelná čerpadla, **solární systémy**)
- zdroje pro výrobu elektřiny (např. fotovoltaické, malé vodní a větrné elektrárny)
- zdroje pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (např. kogenerační zařízení využívající bioplyn či pevnou biomasu)

Oblast podpory 3.2 – Úspory energie a využití OT

projekty:

- snižování spotřeby energie zlepšením tepelně technických vlastností obvodových konstrukcí budov (zateplení obvodových plášťů a střešních konstrukcí, výměna či rekonstrukce otvorových výplní)
- aplikace technologií na využití odpadního tepla (např. rekuperace, výměníky na využití odpadního tepla apod.)

Oblasti podpory a podporované projekty v rámci PO 3

<u>Podpora solárních systémů</u>

- Podoblast podpory 3.1.1 *„Výstavba a rekonstrukce zdrojů tepla využívajících OZE“*

- samostatná žádost na solární systém
- možná kombinace s jiným zdrojem tepla (TČ, biomasa) nebo s realizací zateplení objektu

- Doplňkově v rámci PO 2 - v kombinaci s instalací spalovacího zdroje na ZP a případného současného zateplení
- Doplňkově v rámci PO 7 - součást environmentálních informačních center)

- Podpora poskytována pouze nepodnikatelským subjektům (s výjimkou obchodních společností vlastněných ze 100% veřejným subjektem)

Pozn. mimo OPŽP lze žádat o podporu v programu Zelená úsporám (RD a BD)

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

- Příjem žádostí
- Akceptace žádostí
- Kontrola způsobilých výdajů
- Hodnocení žádostí
- Schvalování žádostí
- Realizace projektů

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Příjem žádostí

- Probíhá v rámci vyhlašovaných výzev
- Žádosti se vyplňují v elektronickém prostředí Benefill
- Vytištěný formulář žádosti včetně příloh se podává na místně příslušném krajském pracovišti SFŽP (Příloha č.1 směrnice MŽP č.12/2009)
- Délka příjmu žádostí v rámci výzvy – zpravidla 30 - 60 dnů
- Minimální náklady na projekt 0,3 mil.Kč, maximální náklady
  - individuální projekt cca 650 mil. Kč (25 mil. EUR)
  - velký projekt nad 25 mil. EUR

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

- Příjem žádostí
- Akceptace žádostí
- Kontrola způsobilých výdajů
- Hodnocení žádostí
- Schvalování žádostí
- Realizace projektů

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Akceptace žádostí

- Kontrola formální úplnosti *(představuje kontrolu žádosti z pohledu administrativního souladu, formy žádosti a formálních předpokladů žádosti, tzn. že je úplná a doložená se všemi požadovanými přílohami)*
- Kontrola obecné přijatelnosti *(spočívá zejména v kontrole přijatelnosti projektu a žadatele s ohledem na základní podmínky programu, finanční a legislativní předpoklady, principy politiky EU, apod.)*
- Kontrola specifické přijatelnosti *(představuje posouzení splnění kritérií přijatelnosti dané Implementačním dokumentem OPŽP)*

Specifická kriteria přijatelnosti pro projekty v PO 3

Obecná pro všechny projekty

- Soulad žádosti s aktuální výzvou OPŽP
- Soulad údajů uvedených ve formuláři žádosti s relevantními doklady předkládanými jako přílohy k žádosti (zejména energetický audit a projektová dokumentace)
- Soulad projektu se zpracovanou krajskou (místní) energetickou koncepcí. Splnění kritéria se dokládá vyjádřením příslušného krajského úřadu, odboru regionálního rozvoje
- Realizací projektu dojde k úspoře emisí CO_2
- V oblastech, kde je překračován některý z imisních limitů pro znečišťující látky uvedené ve Sdělení odboru ochrany ovzduší Ministerstva životního prostředí o hodnocení kvality ovzduší – vymezení oblastí se zhoršenou kvalitou ovzduší (příloha č. 3 Implementačního dokumentu), nesmí realizací projektu dojít k nárůstu emisí těchto znečišťujících látek

Specifická kriteria přijatelnosti pro projekty v PO 3

Pro projekty se solárními systémy

- Solární technologie s použitím systémů vhodných pro celoroční provoz

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

- Příjem žádostí
- Akceptace žádostí
- Kontrola způsobilých výdajů
- Hodnocení žádostí
- Schvalování žádostí
- Realizace projektů

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Kontrola způsobilých výdajů

- U všech projektů - kontrola s kapitolou 5 ID OPŽP

  Způsobilost realizačních výdajů po akceptaci žádosti, výdajů na projektovou přípravu od 1.1.2007 (max. 24 měsíců před podáním žádosti)

- U projektů generujících příjmy – kontrola zpracované Finanční analýzy
- U projektů podléhajících pravidlům veřejné podpory – správné zařazení i ve vztahu k omezením výzvy
- Ostatní projekty – odečet úspor provozních nákladů za dobu 5 let

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Hlavní způsobilé výdaje pro projekty solárních instalací

- Projektová příprava (dokumentace, energetické audity, zpracování žádosti, organizace výběrových řízení na realizaci opatření)
- Výdaje na propagaci
- Technický dozor / správce stavby
- Přímé realizační výdaje (solární systém včetně montáže a bezprostředně souvisejících stavebních prací)

Hlavní nezpůsobilé výdaje pro projekty solárních instalací

- Úspora provozních nákladů vygenerovaných projektem za dobu 5 let (hodnota úspory vychází z energetického auditu)

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

- Příjem žádostí
- Akceptace žádostí
- Kontrola způsobilých výdajů
- Hodnocení žádostí
- Schvalování žádostí
- Realizace projektů

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Hodnocení žádostí - obecné

A. Ekologická relevance projektu (váha 40 %)

- posouzení finanční náročnosti k ekologickému efektu projektu, ekologické potřebnosti projektu a naléhavost realizace projektu

B. Technická úroveň projektu (váha 40 %)

- posouzení technické úrovně a finanční náročnosti ve vztahu k předmětu podpory

C. Ekonomické hodnocení (váha 20 %)

- posouzení ekonomické způsobilosti (bonity) žadatele (zejména k dofinancování projektu)

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Hodnocení žádostí - solární systémy (fototermické)

A. Ekologická relevance projektu

- měrná finanční náročnost na snížení emisí CO_2 (váha 40 %)
  plochý (74 – 200), vakuový trubkový(118 – 320) [tis.Kč/tunu CO_2.rok]

B. Technická úroveň projektu

- měrná finanční náročnost instalovaného výkonu (váha 20 %)
  plochý (30,8 – 61,5), vakuový trubkový (53,3 – 106,7) [tis.Kč/kW]
- využití instalovaného výkonu (váha 20 %)
  plochý (462 – 769), vakuový trubkový (500 - 833) [hod/rok]

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Hodnocení žádostí - solární systémy (fototermické) – rizika a úskalí

- Důraz na správné vyhodnocení reálných energetických přínosů navržené solární soustavy (plocha sol.kolektorů X potřeba tepla)
- Stanovení minimální bodové hranice v rámci výzvy
- Nastavení hodnotících kritérií technické kvality a ekologické relevance odpovídá zveřejněné metodice (zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav)

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

- Příjem žádostí
- Akceptace žádostí
- Kontrola způsobilých výdajů
- Hodnocení žádostí
- Schvalování žádostí
- Realizace projektů

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Schvalování žádostí

- Seřazení projektů na základě bodového hodnocení
- Určení minimální bodové hranice v závislosti na kvalitě projektů a alokovaných finančních prostředků
- Schválení/neschválení podpory Řídícím výborem OPŽP
- Schválení/neschválení podpory Řídícím orgánem OPŽP
- Vydání registračního listu v systému ISPROFIN a rozhodnutí o poskytnutí podpory ze SFŽP

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

- Příjem žádostí
- Akceptace žádostí
- Kontrola způsobilých výdajů
- Hodnocení žádostí
- Schvalování žádostí
- Realizace projektů

Projektový cyklus administrace žádostí o podporu

Realizace projektů

- Výběr dodavatele (dle zákona č.137/2006 Sb., mimo režim zákona - dle závazných pokynů pro žadatele a příjemce podpory)
- Uzavření smlouvy s dodavatelem
- Předložení podkladů pro vydání Rozhodnutí o poskytnutí dotace resp.Smlouvy o poskytnutí podpory (Příloha č.2 směrnice MŽP č.12/2009)
- Vydání RoPD resp.Smlouvy o poskytnutí podpory
- Monitorování projektu (kontrola na místě realizace, monit.zprávy)
- Financování – administrace žádostí o platbu
- Závěrečné vyhodnocení akce (závěrečná monitorovací zpráva)

Výše podpory u energetických projektů v rámci PO 3 (solární systémy)

Stanovování výše podpory u solárních instalací

- Projekty velkých solárních systémů (prodej tepla jiným subjektům)
  - na základě finanční analýzy (cca 40% - 70%)
  - dle pravidel VP pro regionální podporu (do 40%).
- Projekty solárních systémů pro lokální využití – 90 % ze způsobilých výdajů (způsobilým výdajem přitom nejsou úspory provozních nákladů generovaných za dobu 5 let – částku vyplývající z energetického auditu je nutné odečíst).
- *Projekty zaměřené na výrobu elektrické energie (fotovoltaické systémy) – na základě pravidel VP (do 20 % a max. 50 mil. Kč na projekt a žadatele), systémy integrované do budovy (do 40 % a max. 6mil.Kč)*

Zhodnocení akceptovaných žádostí (solární systémy na ohřev TV a přitápění)

Podpora OZE respektive fototermických systémů – vyhodnocení

- Pro oblast 3.1 „Využívání OZE“ je alokováno cca 9,4 mld. Kč, pro solární energii se předpokládá cca 1,5 mld. Kč

1. Výzva OPŽP

- V rámci 1. výzvy bylo podpořeno 8 samostatných solárních systémů, 6 solárních systémů v kombinaci se zateplením, 1 solární systém s tepelným čerpadlem
- Z celkové schválené podpory na OZE ve výši 50 mil. Kč připadlo na solární systémy cca 15 mil. Kč
- Realizací všech doposud schválených solárních systémů bude instalováno cca 864 m^2 solárních kolektorů

Zhodnocení akceptovaných žádostí (solární systémy na ohřev TV a přitápění)

Instalace solárního systému k ohřevu TUV (SOŠ)

- původní ohřev TUV - nepřímý ohřev ZP
- nově navrženo – ploché sol.kolektory s celkovou plochou 70 m^2
- celkový roční zisk 40 572 kWh/r ~ 580 kWh/m^2.rok

- Jsou využity solární zisky i během školních prázdnin ???

- využitelný roční zisk 28 534 kWh/r ~ 408 kWh/m^2.rok

- reálné snížení emisí CO_2 ~ 6,4 t/rok

Zhodnocení akceptovaných žádostí (solární systémy na ohřev TV a přitápění, FV systémy)

Probíhající hodnocení

- projektů přijatých v rámci 10.Výzvy OPŽP:

- 48 projektů na podporu FV systémů, celkový výkon 2,921 MW_e, inv.náklady 294,5 mil.Kč, ~ 100,8 tis.Kč/kW_e
- 28 projektů na podporu fototermických systémů, 2073 m^2, inv.náklady 53,7 mil.Kč, ~ 25,9 tis.Kč/m^2 ~ 40 tis.Kč/kW

- projektů přijatých v rámci 11.Výzvy OPŽP:

- 28 projektů na podporu fototermických systémů, 1351 m^2, inv.náklady 62,2 mil.Kč, ~ 46 tis.Kč/m^2 ~ 71 tis.Kč/kW

Zhodnocení akceptovaných žádostí (solární systémy na ohřev TV a přitápění, FV systémy)

E. Měrná finanční náročnost snížení emisí skleníkových plynů [tis. Kč/ t CO_2.rok]		
Indikátor - **snížení emisí skleníkových plynů**. Měrná finanční náročnost z celkových způsobilých investičních nákladů bez DPH vztažená k CO_2 pro daný typ opatření.		
SOLÁR Plochý	**SOLÁR vakuový trubkový**	**Počet bodů**
74	118	40
200	320	0

T1. Měrná finanční náročnost jednotky instalovaného výkonu [tis. Kč/kW]		
Indikátor - **instalovaný výkon**. Měrná finanční náročnost z celkových způsobilých investičních nákladů bez DPH vztažená na instalovanou kW v porovnání se standardní hodnotou pro daný typ opatření.		
SOLÁR Plochý	**SOLÁR vakuový trubkový**	**Počet bodů**
30,8	53,3	20
61,5	106,7	0

T2. Využití instalovaného výkonu [hod/rok]		
Indikátor - **roční využití instalovaného výkonu**. Roční využití v hodinách instalovaného výkonu.		
SOLÁR Plochý	**SOLÁR vakuový trubkový**	**Počet bodů**
769	833	20
462	500	0

Aktuální výzvy a harmonogram výzev

- Probíhající výzvy

Velké projekty v PO 2 a 3: srpen 2008 – prosinec 2009

- Harmonogram předpokládaných výzev (návrh)

Velké projekty v PO 2 a 3(3.1): leden 2009 – červen 2011

Individuální projekty v PO 2 (celá priorita): únor – březen 2010
říjen – listopad 2010

Individuální projekty v PO 3 (pouze oblast podpory 3.1 a podoblast 3.2.2, podoblast podpory 3.2.1 pouze v kombinaci s podoblastí podpory 3.1.1): únor – březen 2010

Děkuji za pozornost

Jan Kunc
Odbor ochrany ovzduší a obnovitelných zdrojů energie

Státní fond životního prostředí České republiky
Kaplanova 1931/1, 148 00 Praha 11 – Chodov
jan.kunc@sfzp.cz
www.opzp.cz ▪ **zelená linka 800 260 500** ▪ **dotazy@sfzp.cz**

Organizace kurzu:

Společnost pro techniku prostředí
Novotného lávka 5, Praha 1
116 68
stp@stpcr.cz
http://www.stpcr.cz

Československá společnost pro sluneční energii
Novotného lávka 5
116 68 Praha 1
http://www.csvts.cz/csse

Třeboňské inovační centrum (TIC)
Dukelská 145
Třeboň
http://www.tic.trebon.cz

Publikace byla zpracována za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2009 – část A – Program EFEKT