



NAVRHOVÁNÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV

Bořivoj Šourek

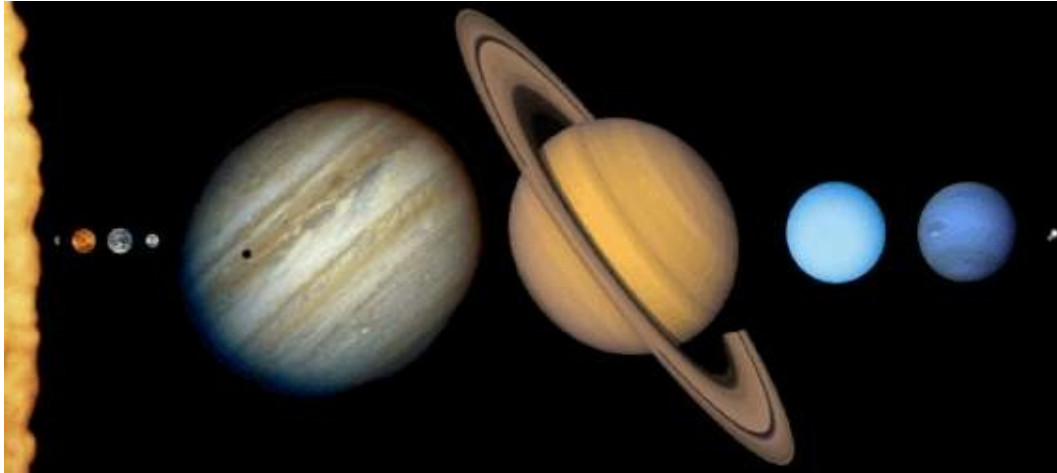
Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze

s poděkováním T. Matuškoví za podklady



Původ sluneční energie, její šíření prostorem a dopad na Zemi

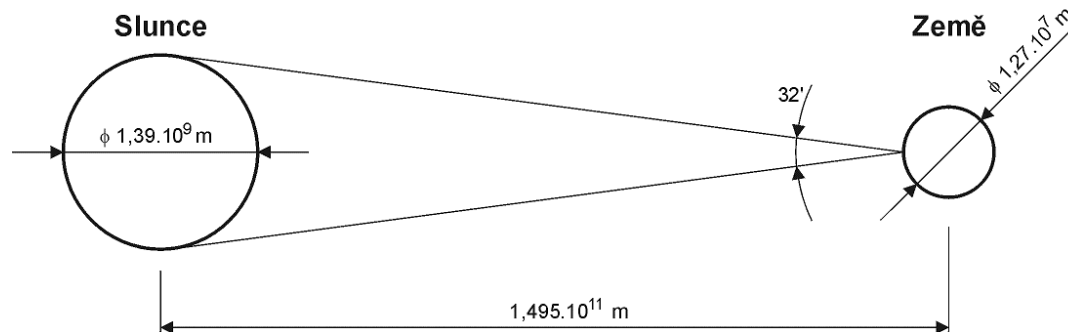


Jaderná syntéza $564 \cdot 10^9$ kg/s
 H_2 na $560 \cdot 10^9$ kg/s He při
teplotách $8-40 \cdot 10^6$ K a
tlacích $2 \cdot 10^{10}$ MPa

$$E = m \cdot c^2$$

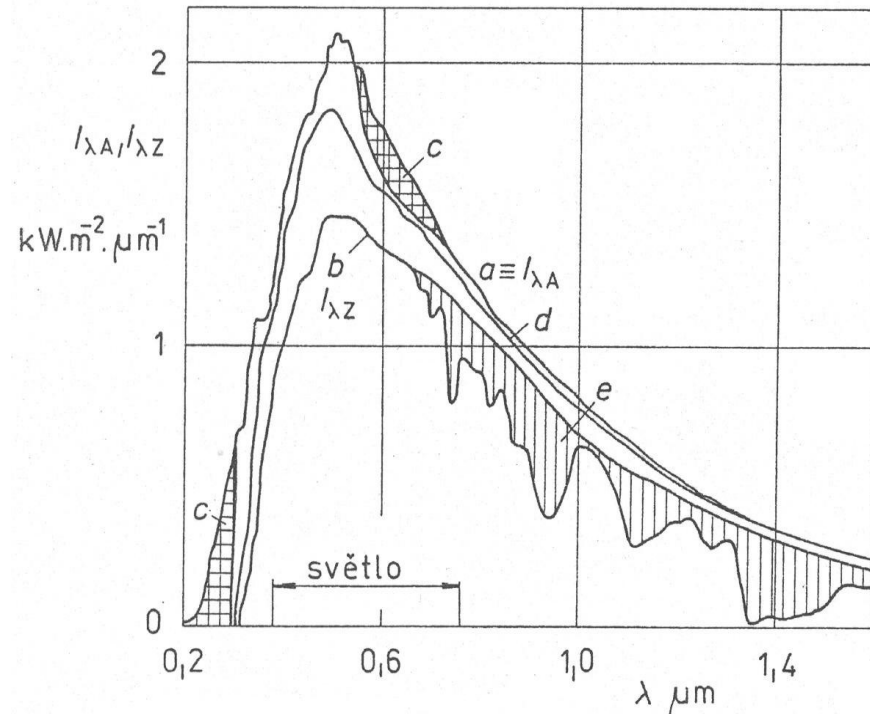
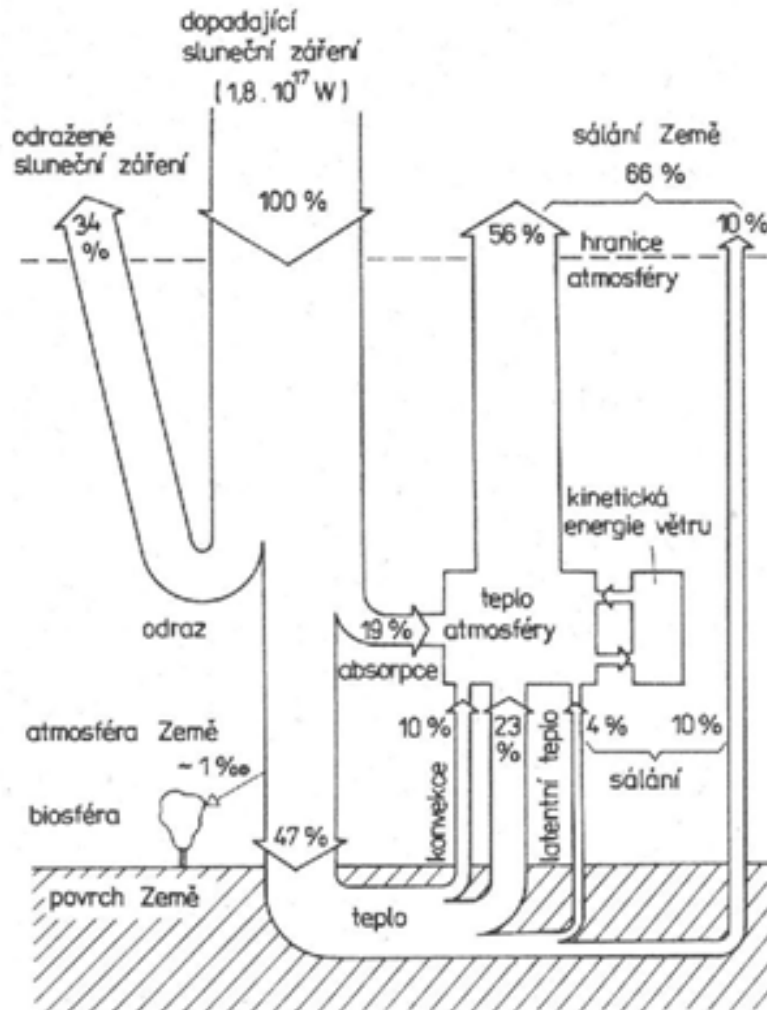
Celkový tok vyzařované
energie je $3,85 \cdot 10^{26}$ W

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





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



Základní pojmy ČSN EN ISO 9488



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

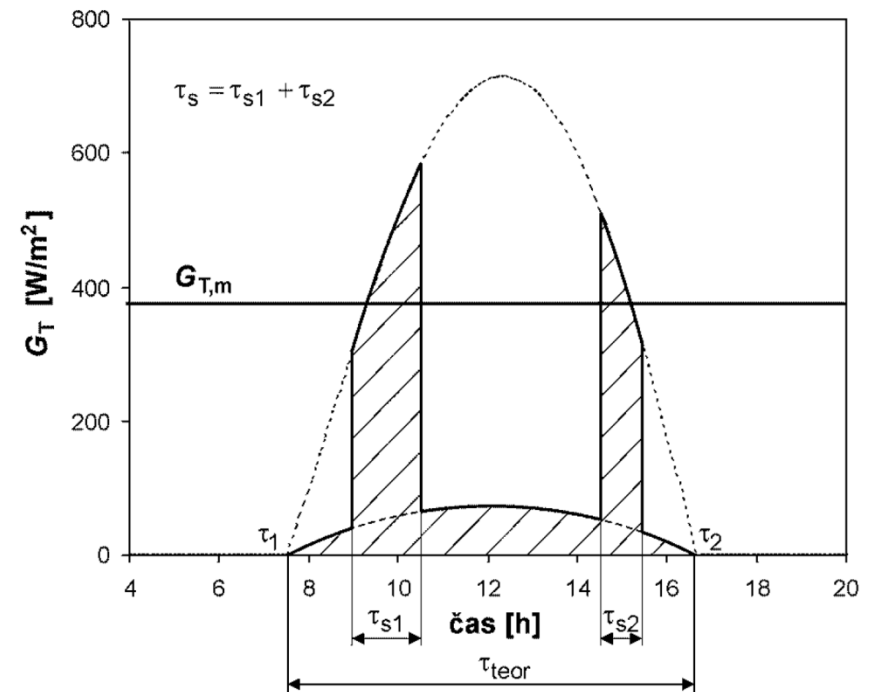
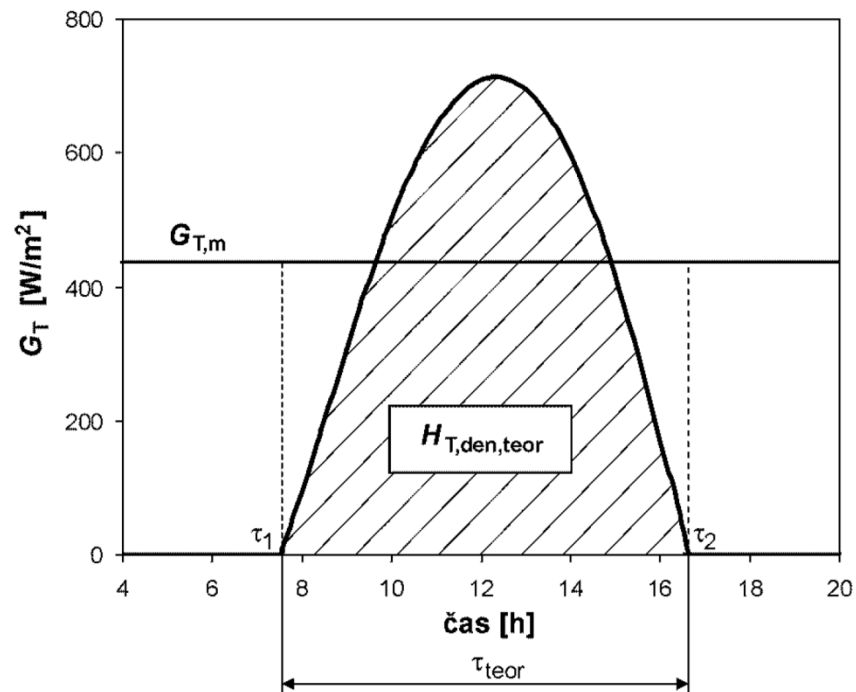
globální sluneční záření: hemisférické sluneční záření přijímané vodorovnou plochou

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})

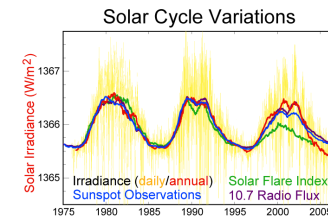


Základní pojmy ČSN EN ISO 9488





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 - $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ *

přímé sluneční ozáření G_b – tok slunečního záření dopadající na plochu bez jakéhokoliv rozptylu v atmosféře (index „b“ beam)

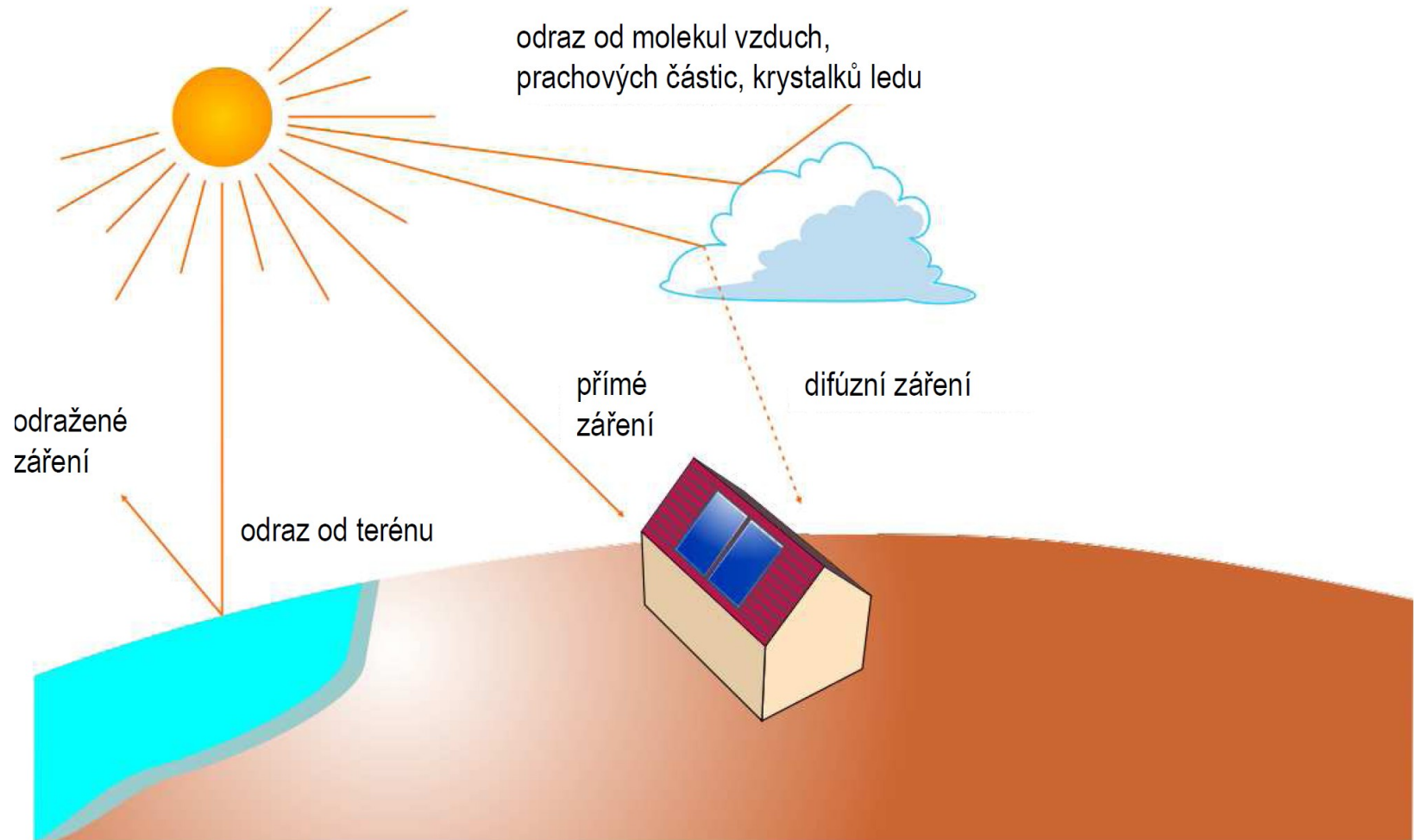
difúzní sluneční ozáření G_d – tok slunečního záření dopadající na plochu po změně směru záření vlivem rozptylu v atmosféře (index „d“ diffuse)

odražené sluneční ozáření G_r – tok slunečního záření dopadající na plochu po změně směru záření vlivem odrazu (index „r“ reflected)

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



Základní pojmy ČSN EN ISO 9488



zdroj: solarpraxis

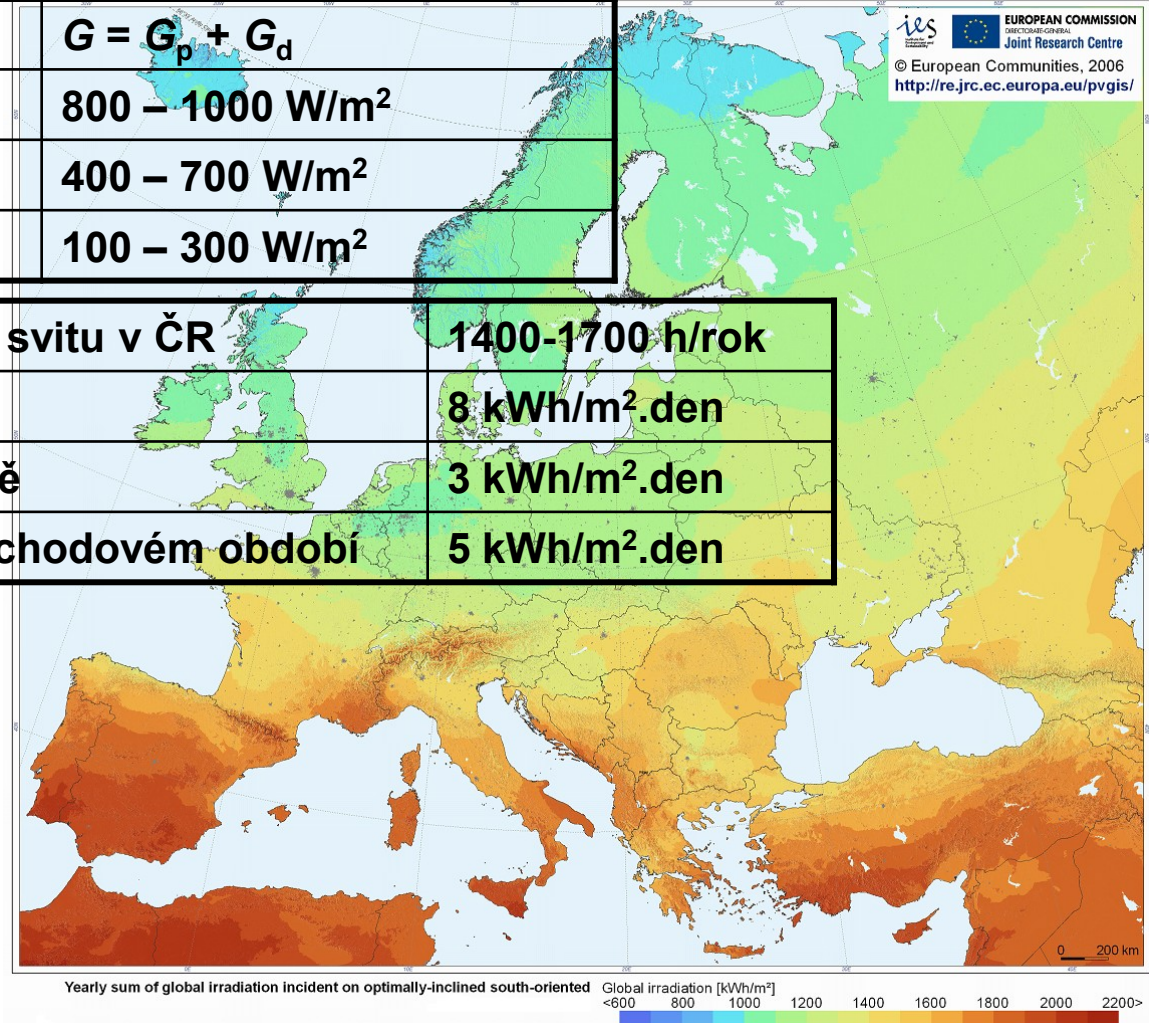
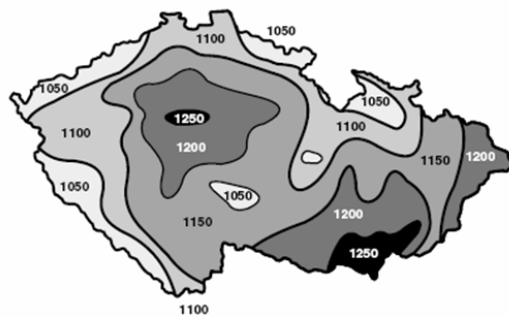


Sluneční ozáření, dávka slunečního záření



	$G = G_p + G_d$
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





Sluneční ozáření, dávka slunečního záření



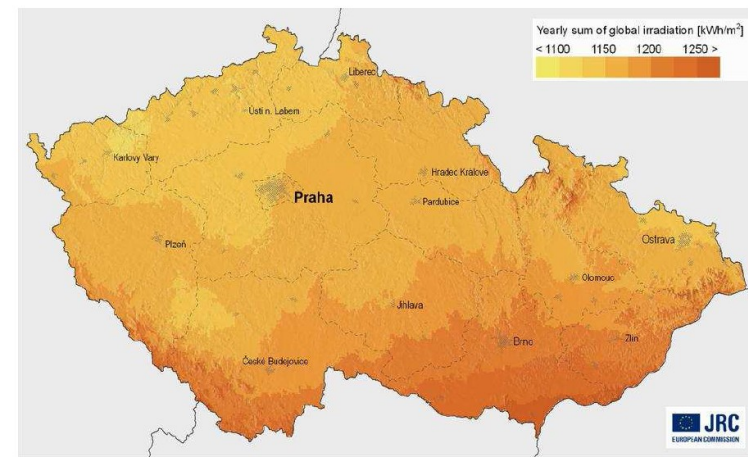
Německo a Česká republika

podobné podmínky: **1000 až 1200 kWh/m²**
(s výjimkou jižního Německa)

podobné solární soustavy

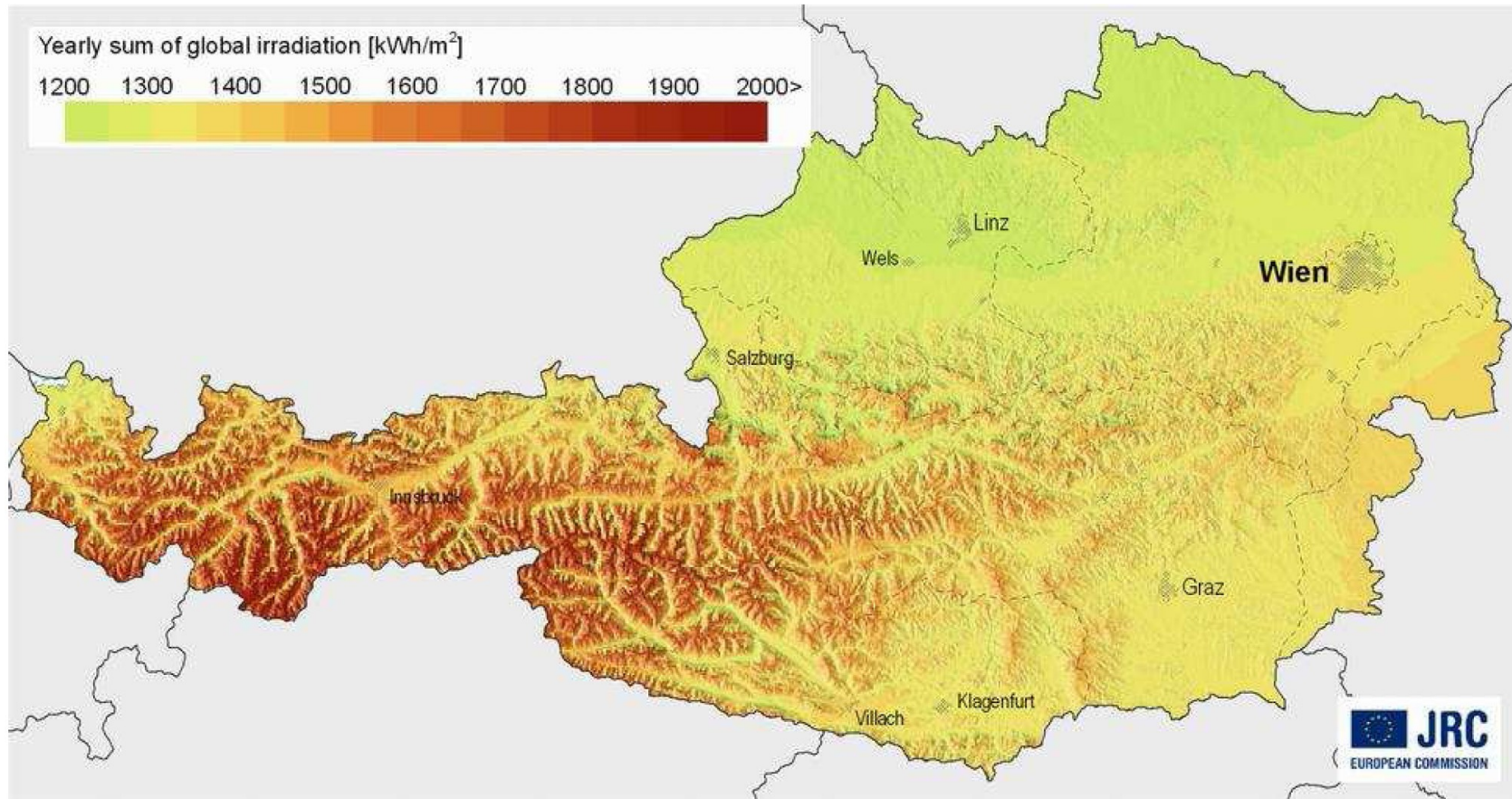
podobné typy solárních kolektorů

podobné roční tepelné zisky





Sluneční ozáření, dávka slunečního záření

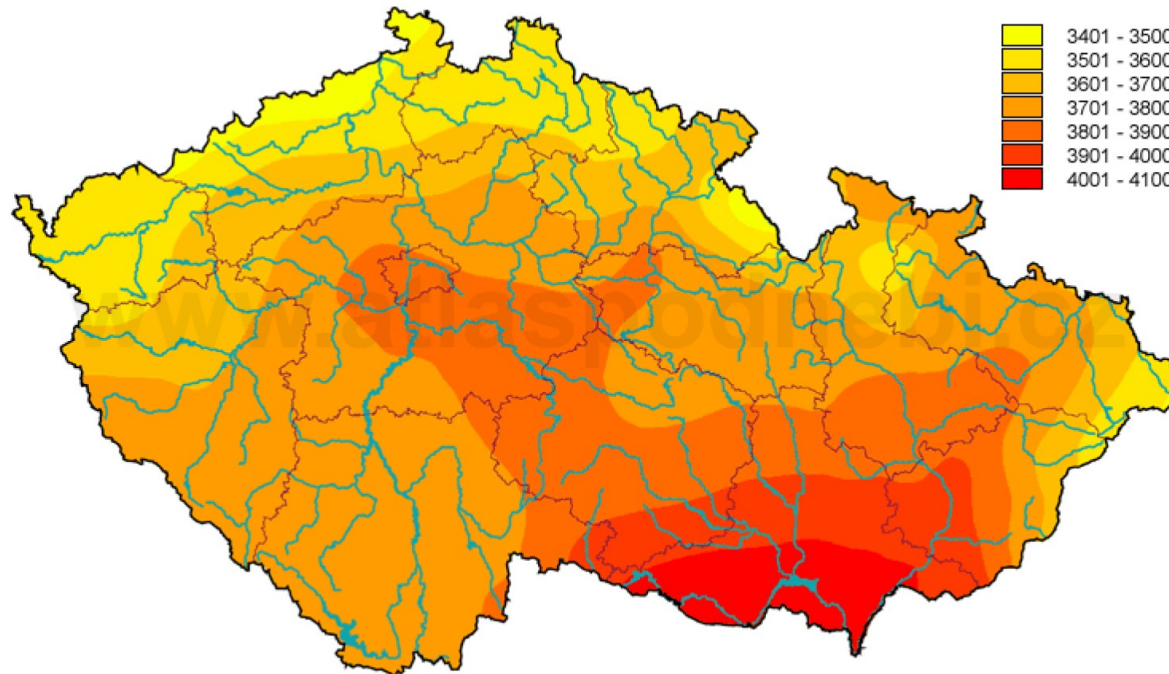


Sluneční potenciál Rakouska začíná tam kde náš končí ...

zdroj: PVGIS



Roční dávky ozáření v podmínkách ČR



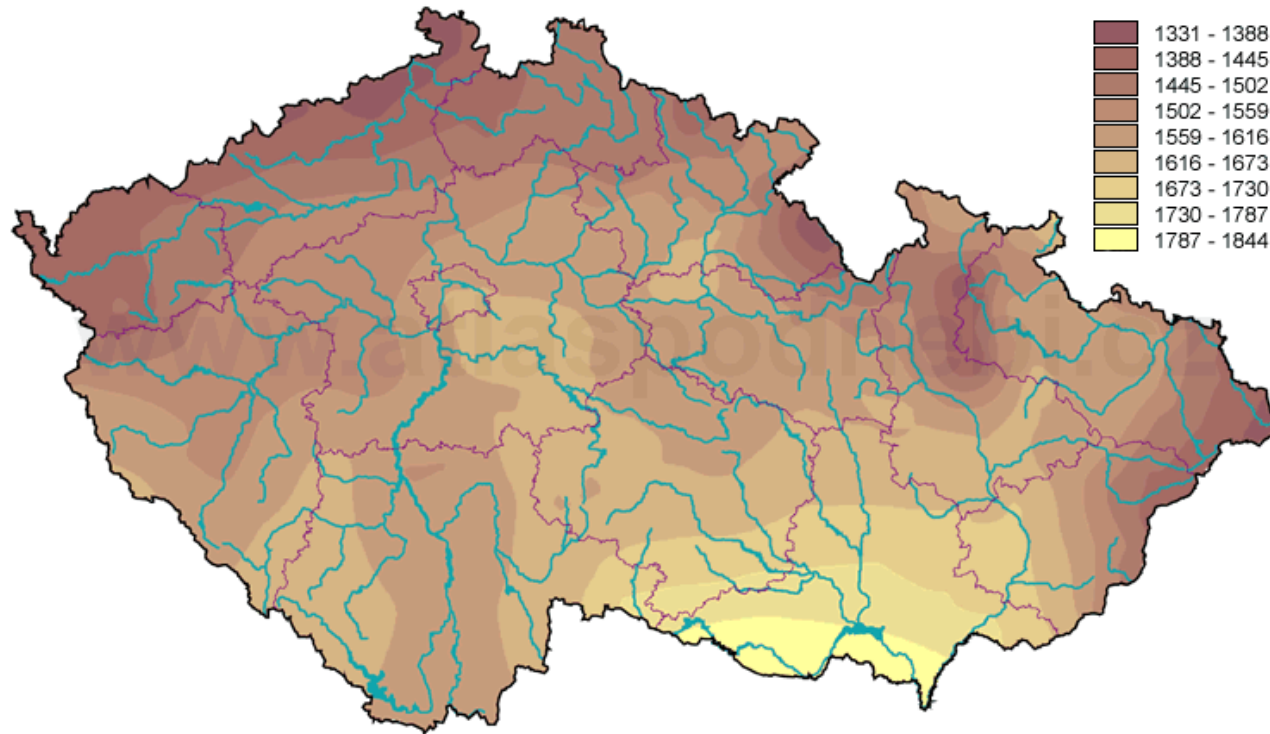
zdroj: ČHMÚ

Roční dávka ozáření v ČR:

- pro sklon 30 až 45°, jižní orientace: **1000 až 1200 kWh/m²**
- pro sklon 90°, jižní orientace: **750 až 900 kWh/m²**



Skutečná doba slunečního svitu v ČR



zdroj: ČHMÚ

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



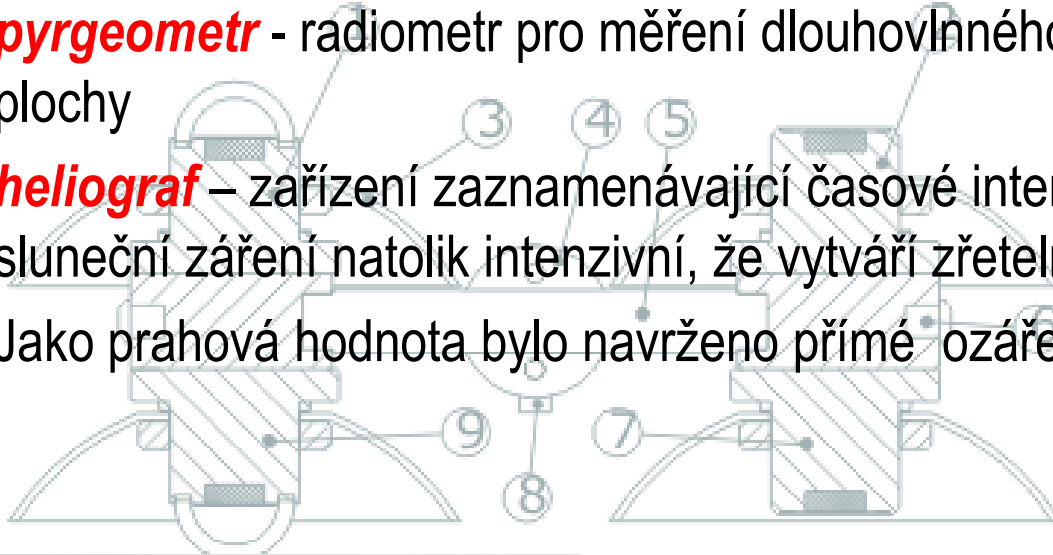
Měření slunečního záření



pyrgeometr - radiometr pro měření dlouhovlnného ozáření rovinné přijímací plochy

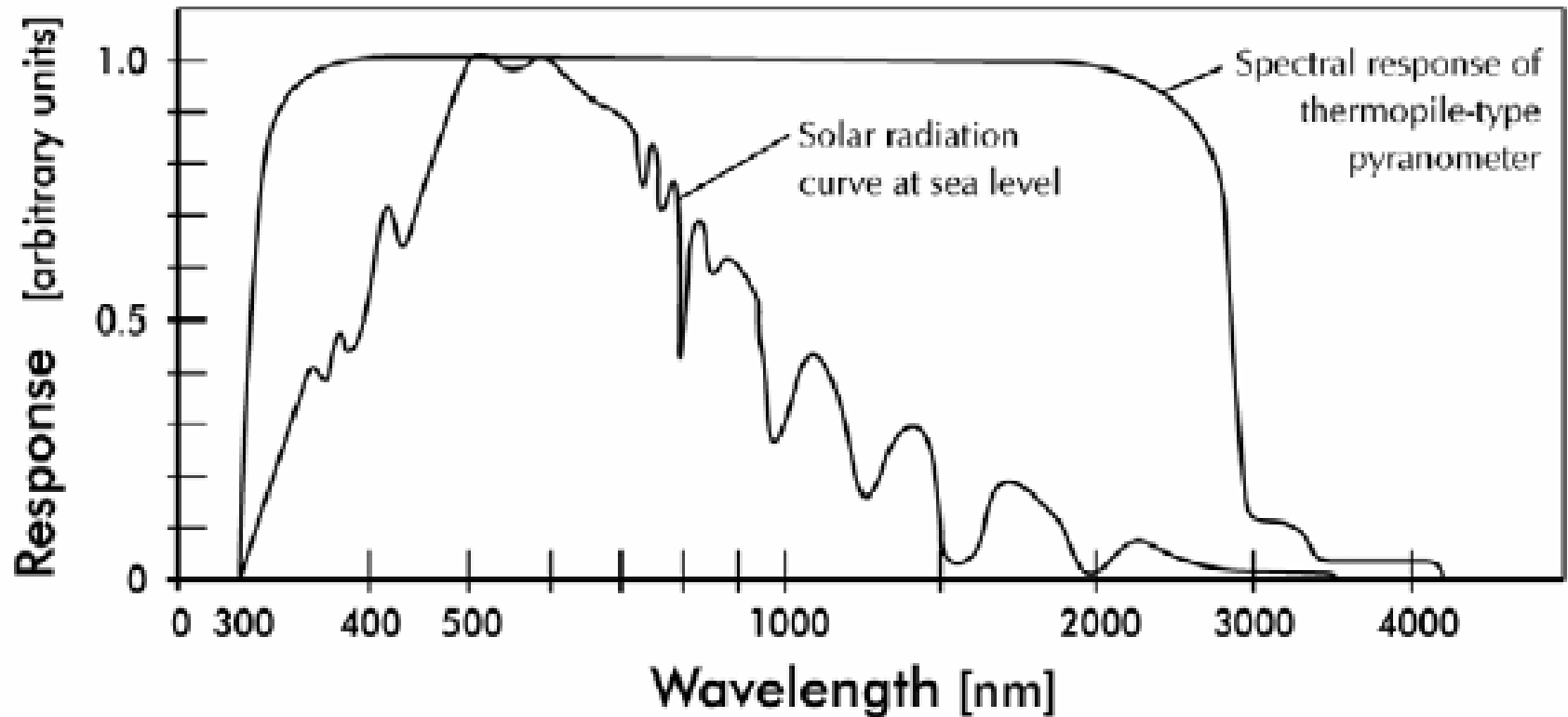
heliograf – zařízení zaznamenávající časové intervaly, během nichž je sluneční záření natolik intenzivní, že vytváří zřetelné stíny [WMO H0470]

Jako prahová hodnota bylo navrženo přímé ozáření $120 \pm 24 \text{ (W/m}^2\text{)}$



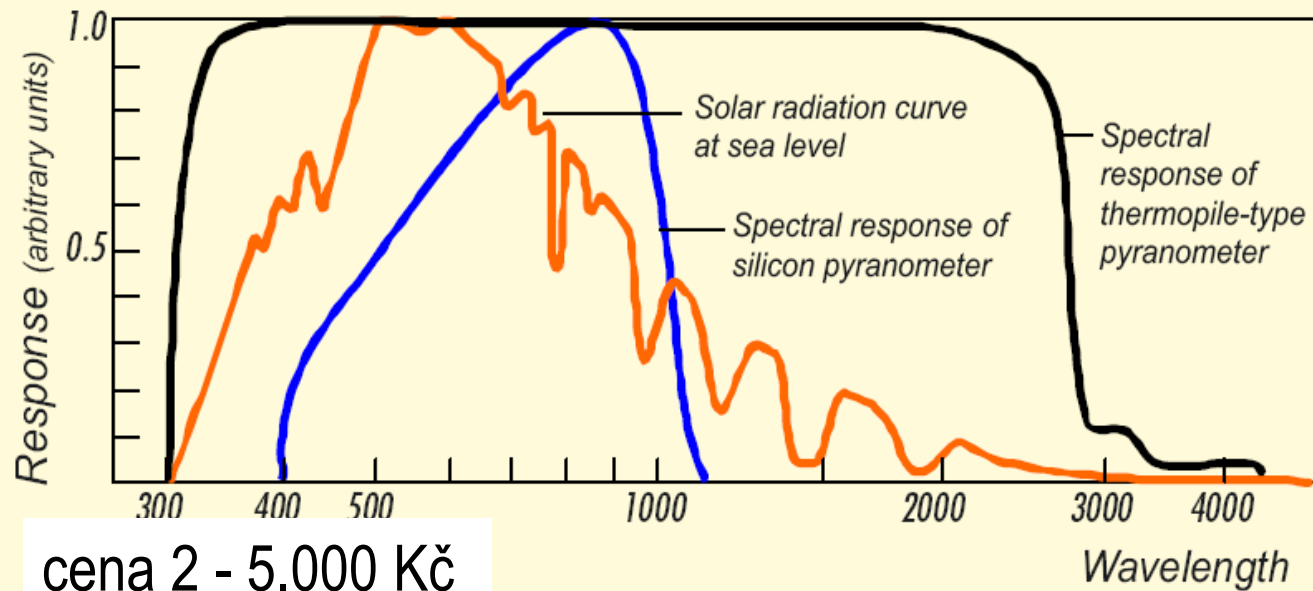
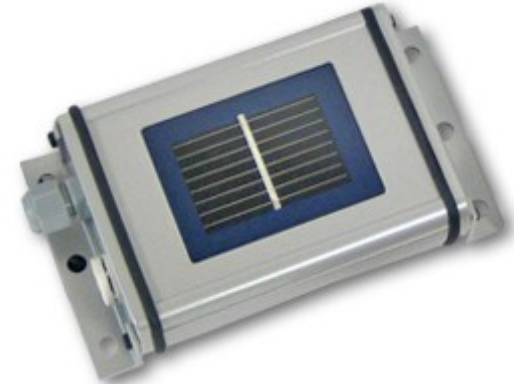


Sluneční ozáření - pyranometry



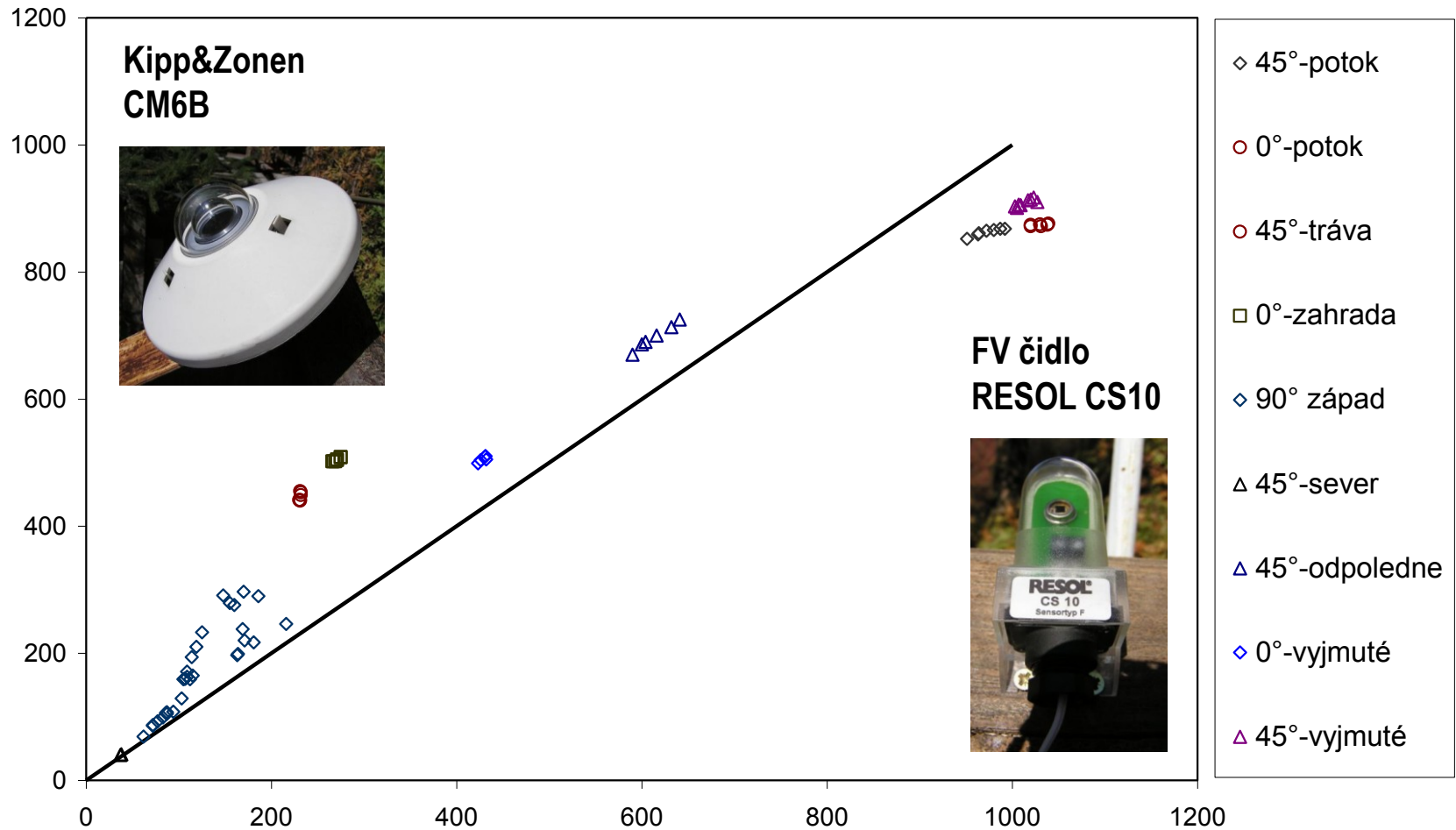


Fotovoltaická čidla





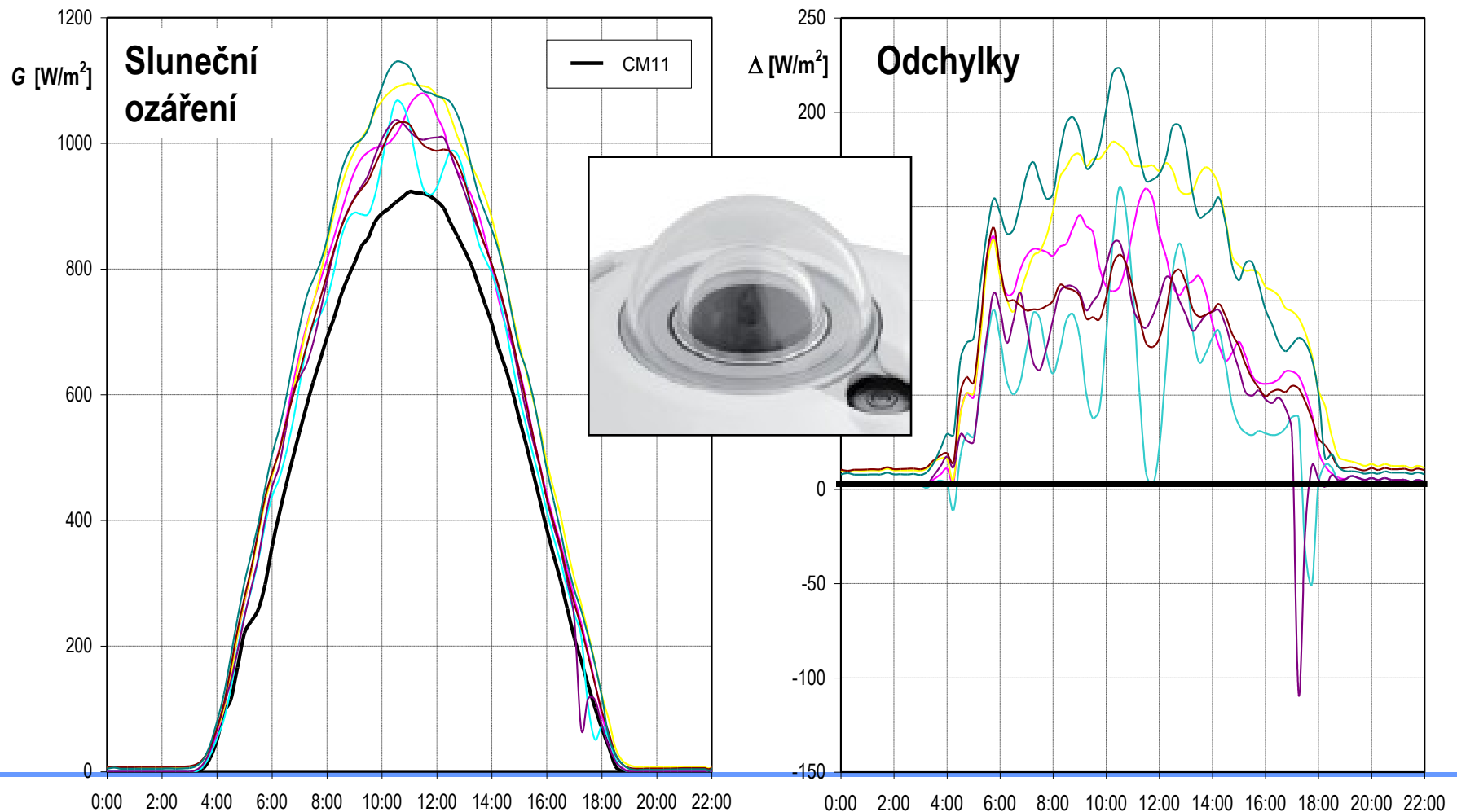
Porovnání FV čidlo a pyranometr





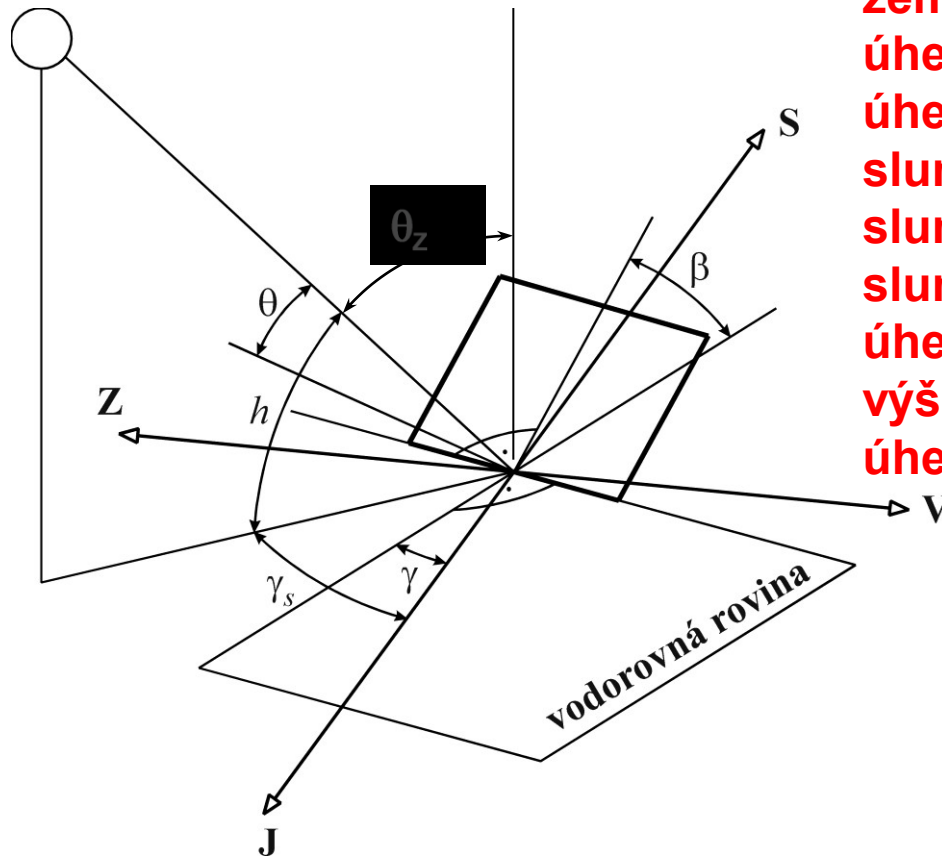
Kvalita pyranometrů

Secondary standard pyranometer Kipp&Zonen CM11 x český výrobce Tlust'ák





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; -
 $90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$,

úhel sklonu β - úhel mezi vodorovnou rovinou a rovinou sledovaného
povrchu; $-180^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$, ($\beta > 90^\circ$ 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; $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.



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 +)

$$\delta = 23,45^\circ \sin(0,98^\circ D + 29,7^\circ M - 109^\circ)$$

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 spojnici 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 $h = 90^\circ - \theta_z$

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



Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet



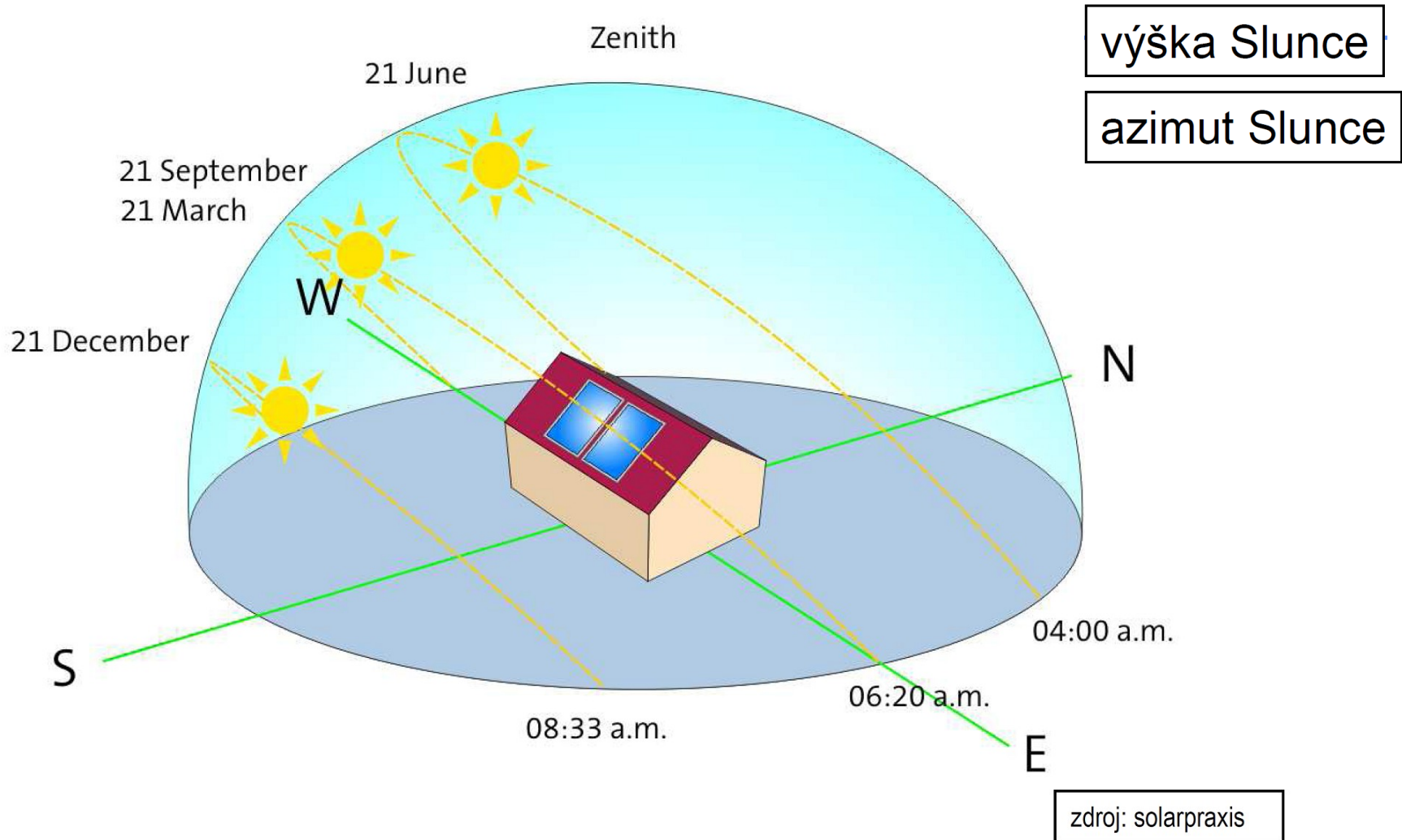
sluneční azimut γ_s - úhel, který svírá svislý průmět spojnice místa pozorovatele a momentální polohy Slunce do vodorovné roviny v místě pozorovatele s přímkou směřující od místa pozorovatele k jihu (na severní polokouli) nebo k severu (na jižní polokouli). **!!! pozor na ostré úhly !!!**

- Úhel se měří ve směru chodu hodinových ručiček na severní polokouli a proti směru 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





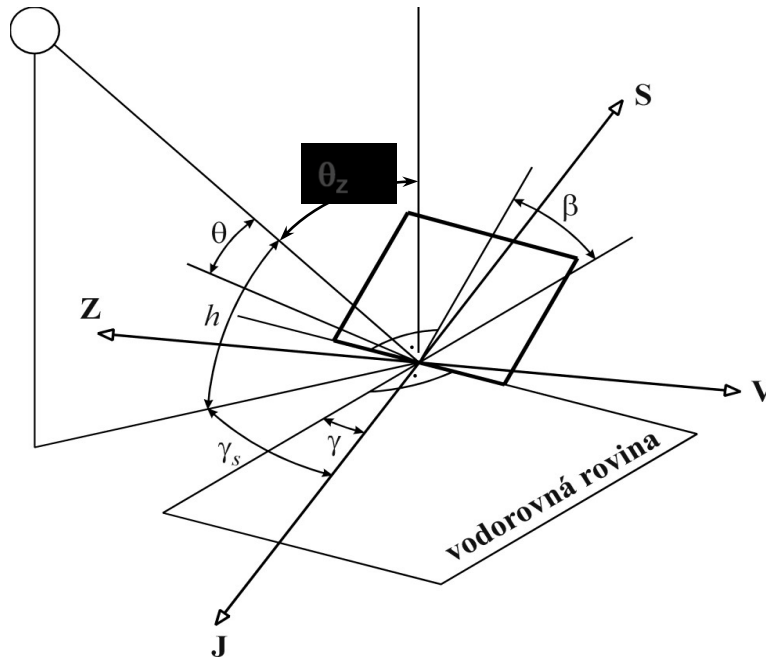
Geometrie slunečního záření a teoretický výpočet



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

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

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





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

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

Úhel sklonu oslněné plochy α	Teoreticky možná energie dopadající za den na plochu v jednotlivých měsících Q_S den tepr (kW.h.m ⁻²)						
	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
		XI.	X.	IX.	VIII.	VII.	
Azimutový úhel oslněné plochy $\alpha_s = \pm 0^\circ$ (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 oslněné plochy $\alpha_s = \pm 15^\circ$							
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 oslněné plochy $\alpha_s = \pm 30^\circ$							
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 oslněné plochy $\alpha_s = \pm 45^\circ$							
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

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

Úhel sklonu oslnučené plochy α	Energie difúzního záření $Q_{D \text{ den}}$ (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 $\bar{\tau} = \tau_{\text{skut}}/\tau_{\text{teor}}$ pro některá místa v ČR a SR

Měsíc	Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau} = \tau_{\text{skut}} / (\tau_{\text{teor}})$							
	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

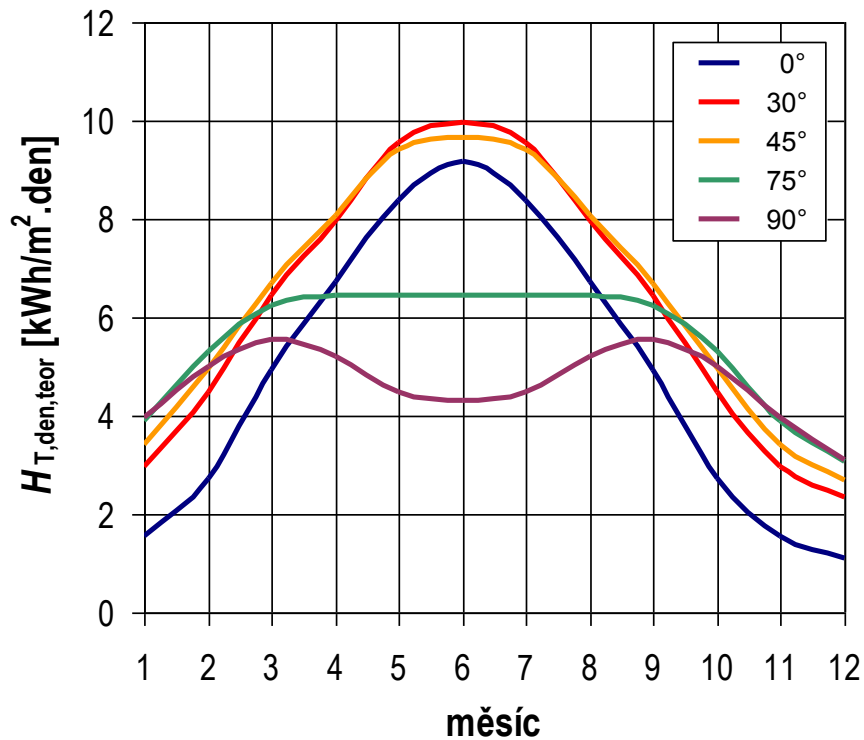
Úhel sklonu oslněné plochy β	Teoreticky možná energie $H_{T,den,teor}$ (kWh.m ⁻²) dopadající za den na jednotku plochy v jednotlivých měsících – pro horské oblasti s měsíčními součiniteli znečištění podle tabulky 2											
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Azimutový úhel oslněné plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (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 oslněné plochy $\gamma = \pm 15^\circ$												
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 oslněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
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 oslněné plochy $\gamma = \pm 45^\circ$												
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 $G_{T,stf}$ (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 $G_{T,stf}$ (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 oslněné plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (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 oslněné plochy $\gamma = \pm 15^\circ$												
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 oslněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
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 oslněné plochy $\gamma = \pm 45^\circ$												
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

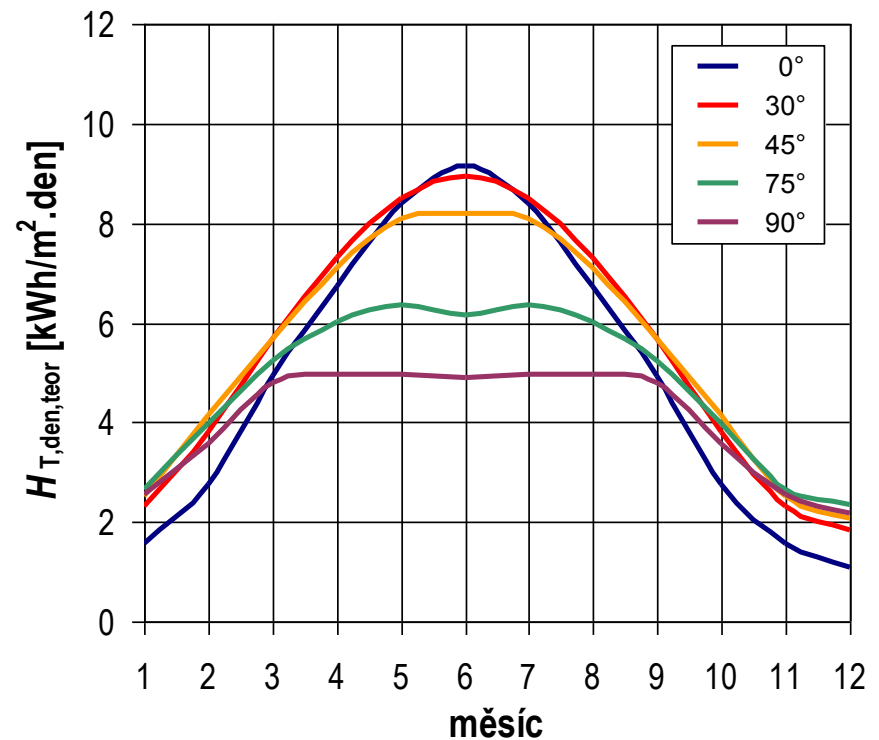


Grafické výsledky výpočtů



azimut 0° (jih)

optimální sklon: léto 20-30°



azimut 45° (JZ, JV)

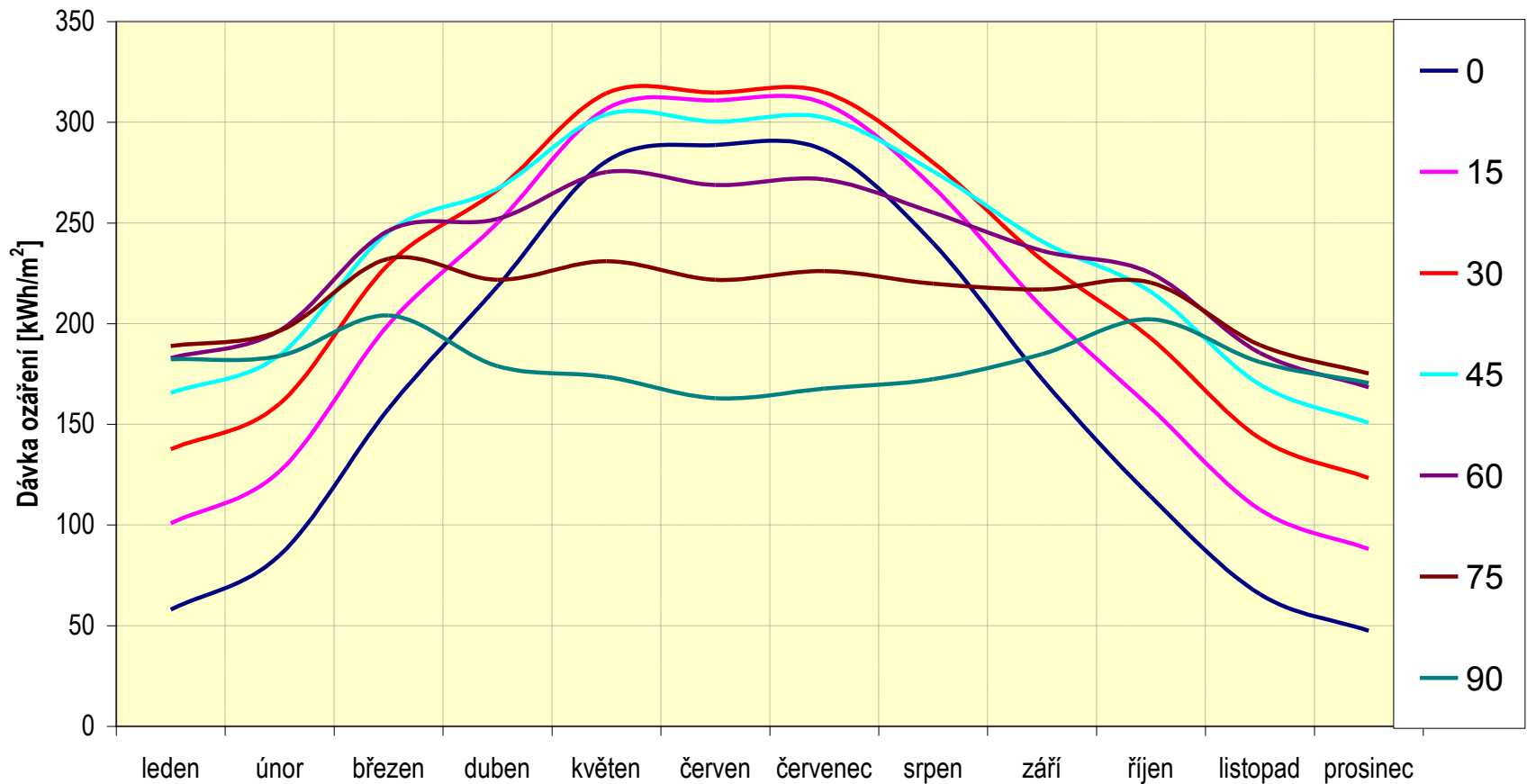
zima 75-90°

celoročně 35-45°



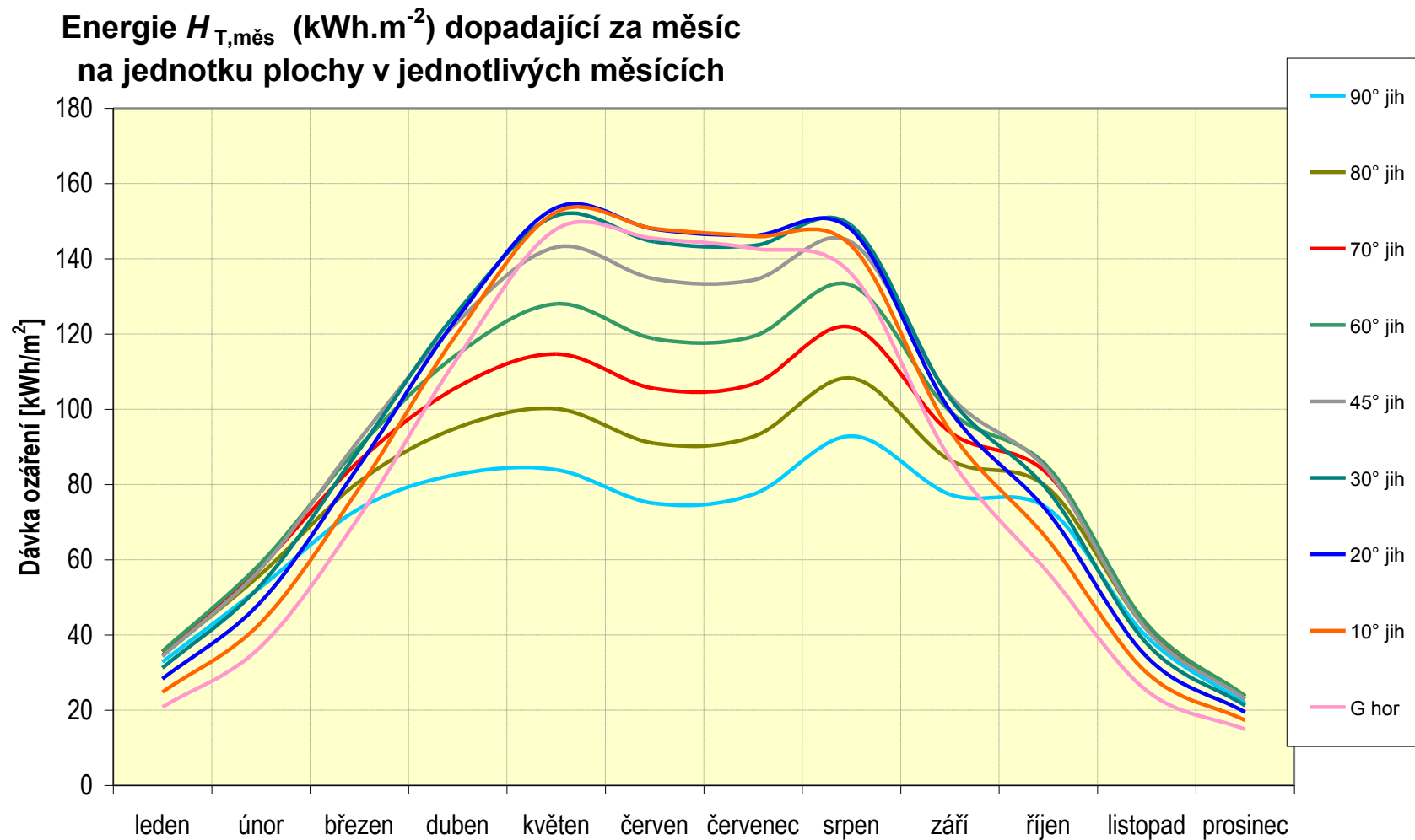
Grafické výsledky výpočtů

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



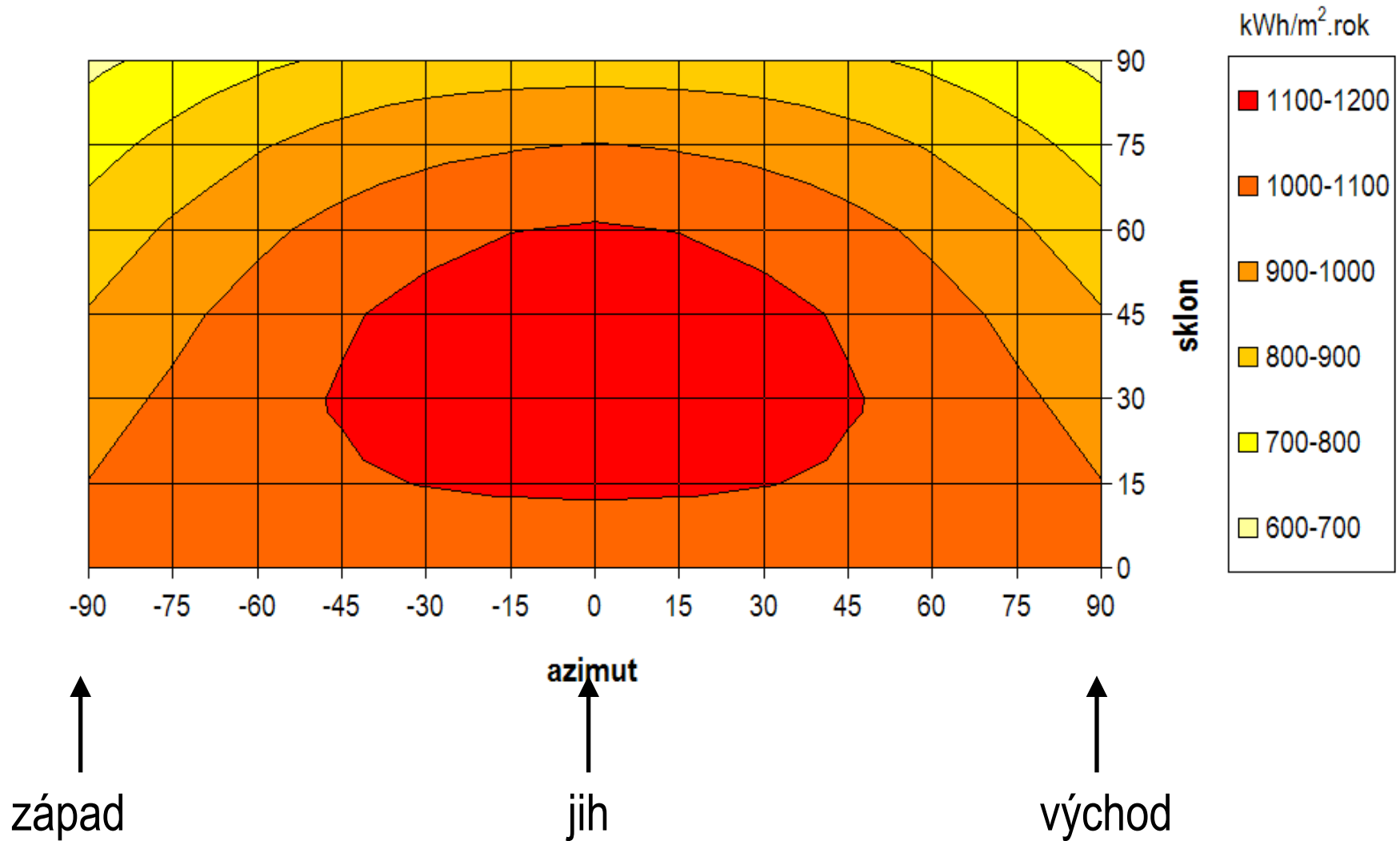


Výsledky z meteorologických dat





Dávka slunečního záření





Bilancování potřeb energie



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



Obscný postup návrhu plochy SK



- celková potřeba tepla Q_{pc} v daném období (den)
 - potřeba tepla v dané aplikaci Q_p (denní potřeba)
 - tepelné ztráty soustavy (rozvody, zásobník) v daném období Q_z
- měrný tepelný zisk q_k solárních kolektorů v daném období (den)
 - skutečná denní dávka slunečního ozáření plochy kolektoru $H_{T,den}$
 - účinnost solárního kolektoru v dané aplikaci η_k

$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{Q_p + Q_z}{\eta_k \cdot H_{T,den}} = \frac{(1 + p) \cdot Q_p}{\eta_k \cdot H_{T,den}}$$



Příprava TV



- **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 tepla na přípravu TV



- **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 tepla na přípravu TV



- **novostavby:**

- nejsou k dispozici reálná data
- směrné hodnoty z literatury
- **nepoužívat** údaje o potřebě TV z normy ČSN 06 0320 – Ohřívání užitkové vody – Navrhování a projektování

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

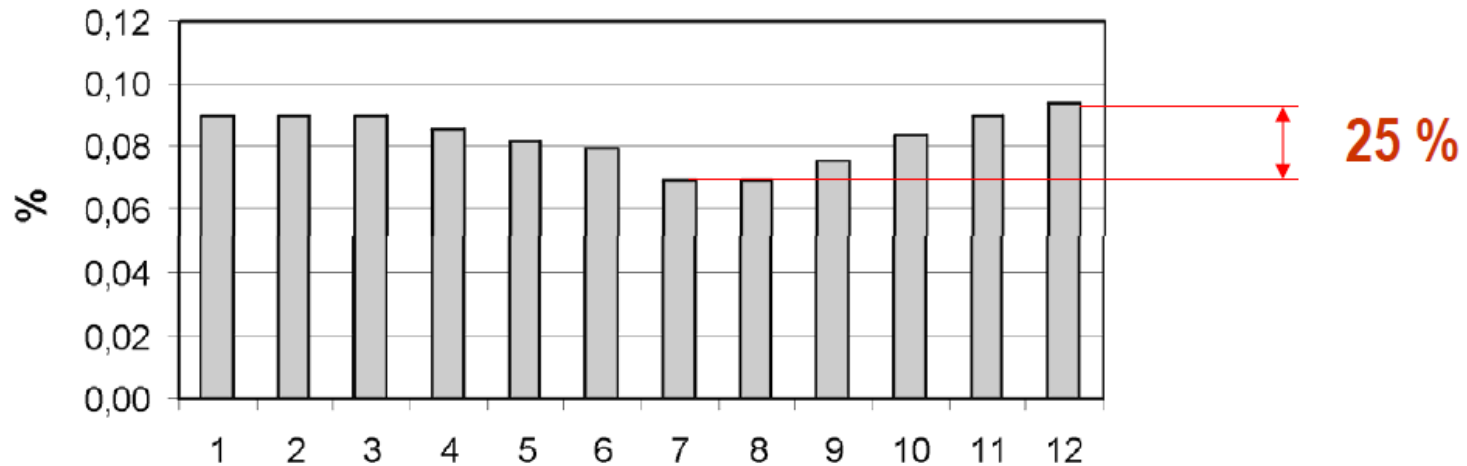
82 l/os.den; 4,3 kWh/os.den



Profil spotřeby TV

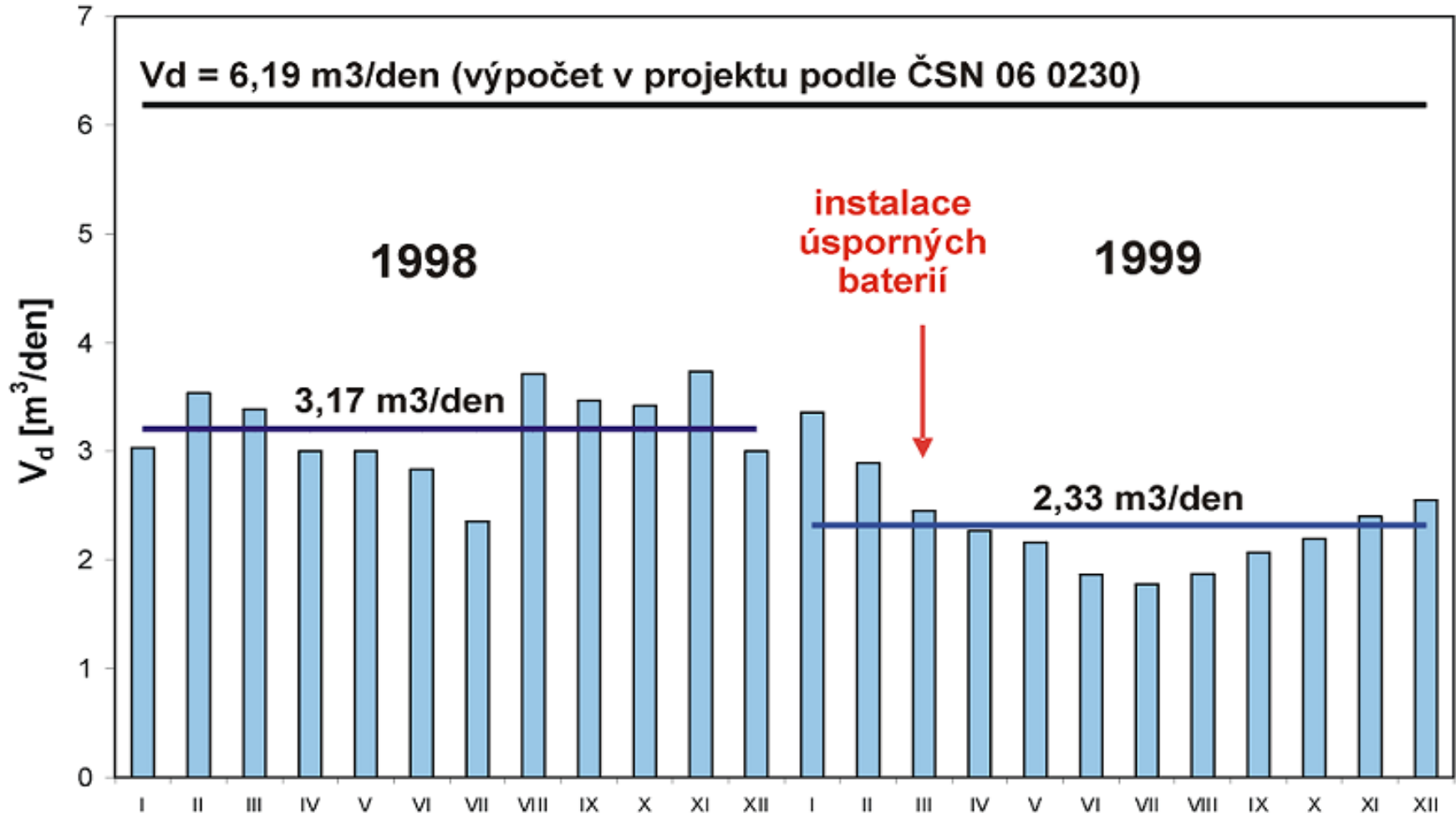


- **letní pokles (bytové domy) oproti zimnímu období:**
 - školní prázdniny, dovolená
 - vyšší teplota studené vody
 - chování uživatelů (letní sprcha, zimní vana)



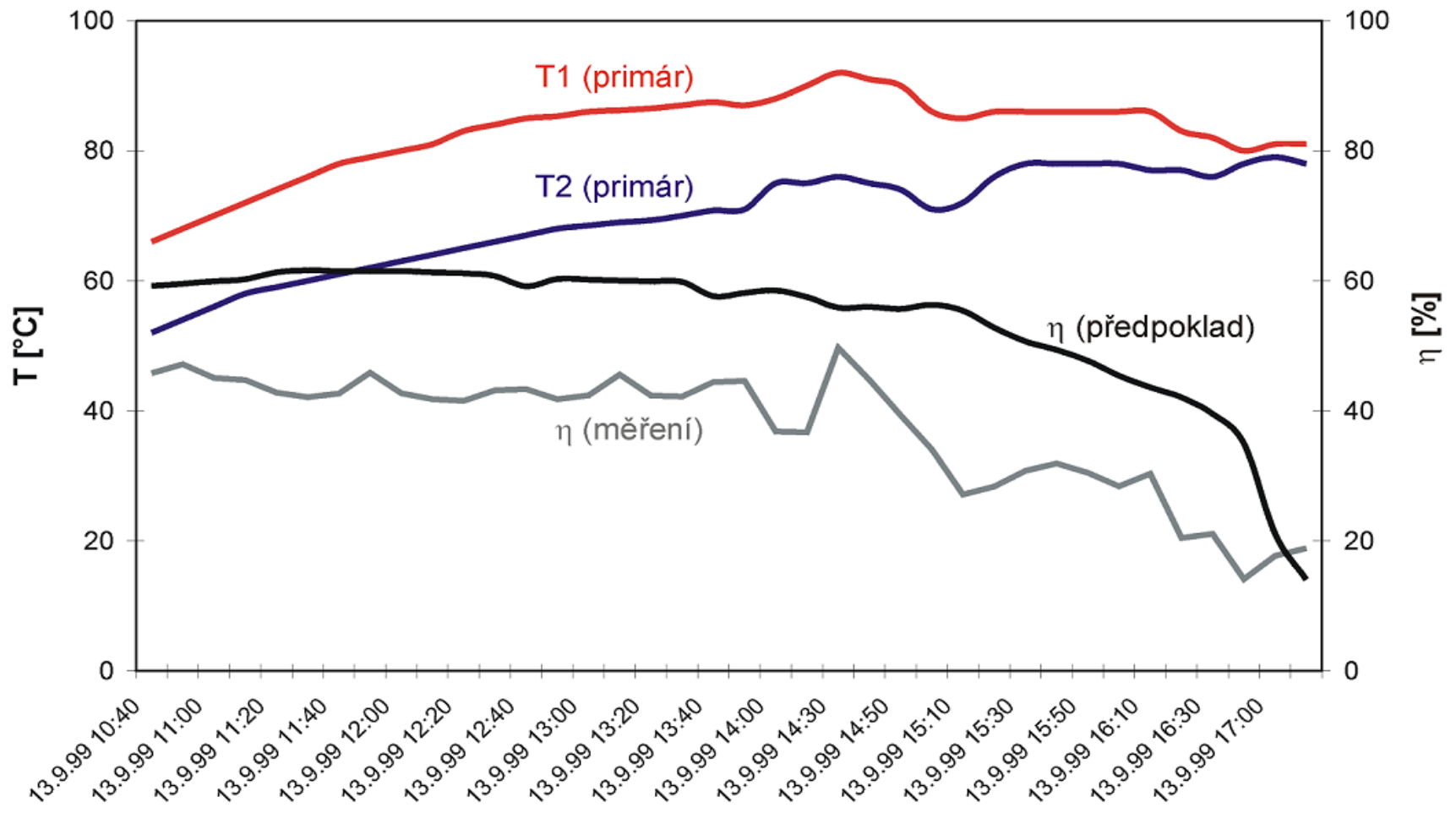


Předimenzovaná soustava (TV)





Předimenzovaná soustava (TV)





Denní potřeba tepla na přípravu TV



$$Q_{pc} = \frac{(1 + p / 100) \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6}$$

V [m ³ /den]	průměrná denní potřeba teplé vody	
ρ [kg/m ³]	hustota vody	998 kg/m ³
c [J/kg.K]	měrná tepelná kapacita vody	4187 J/kg.K
t_1 [°C]	teplota studené vody	10-15°C
t_2 [°C]	teplota teplé vody	45-60°C
p [%]	přirážka na tepelné ztráty soustavy (5 až 15 %)	



Návrh plochy kolektorů



- **rodinné domy**

- návrhové měsíce **duben a září**
- střední teplota teplonosné kapaliny $t_m = 40\text{ °C}$
- odpovídá pokrytí cca **60 %** roční potřeby tepla na přípravu TV

- **bytové domy**

- návrhové měsíce **červenec**
- střední teplota teplonosné kapaliny $t_m = 40\text{ °C}$
- odpovídá pokrytí **40 - 50 %** roční potřeby tepla na přípravu TV



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

- **denostupňová metoda**

denní potřeba tepla [kWh]

$$Q_{\text{vyt}} = 24 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_p \cdot \eta_r} \cdot Q_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})}$$

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 (z literatury, výpočtové nástroje)

η_r, η_p [-] účinnost obsluhy (regulace), účinnost rozvodu



Potřeba tepla na vytápění



- **ČSN EN 832** – Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy

měsíční bilance [kWh/měs]

tepelná ztráta prostupem a větráním [kWh/měs]

- vnitřní tepelné zisky
- solární zisky s ohledem na světové strany průsvitných konstrukcí
- stupeň využití tepelných zisků na základě akumulární 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



Denní potřeba tepla

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

$$Q_{pc} = (1 + p / 100) \cdot (Q_{TV} + Q_{VYT})$$

p [%]

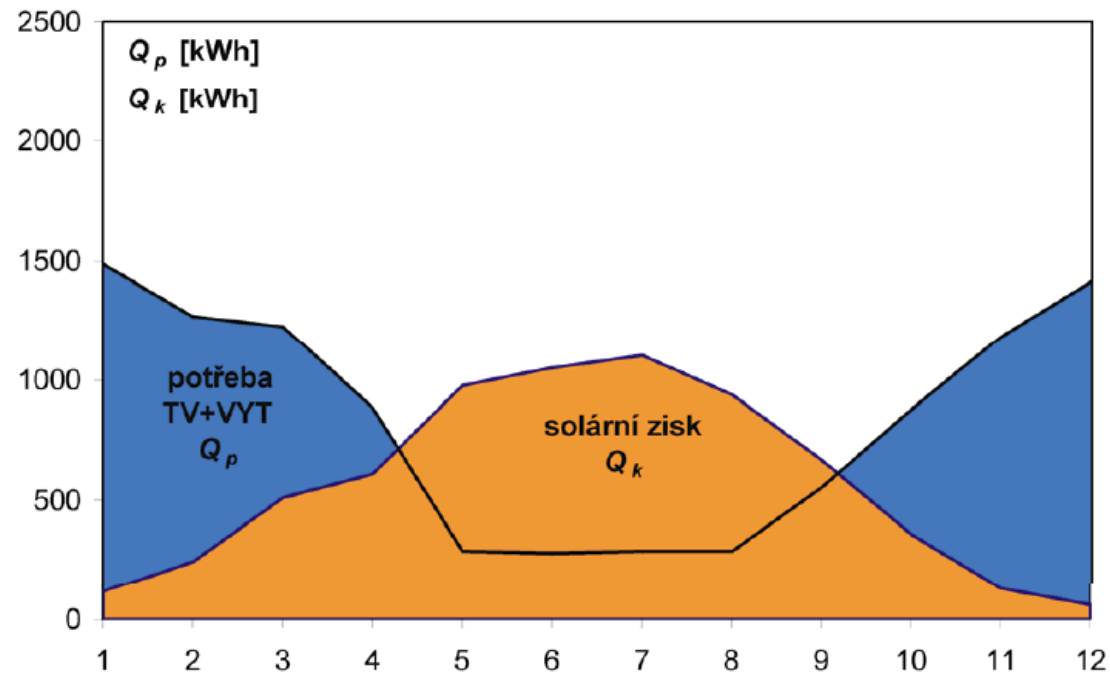
přirážka na tepelné ztráty soustavy (5 %), tepelné ztráty se využijí pro vytápění budovy



Návrh plochy kolektorů



- **příprava TV a vytápění**
 - návrhové měsíce **duben** a **září**
 - střední teplota teplonosné kapaliny $t_m = 50\text{ °C}$





Ohřev bazénové vody



- **energeticky náročný**
- **jednoduché využití** sluneční energie pro sezónní aplikace (rohože)
- **nízká teplota** bazénové vody
 - **venkovní** otevřené bazény $t_w = 18 - 25 \text{ °C}$ (sezónní, sklon 15-30°)
 - **vnitřní** kryté bazény $t_w = 25 - 28 \text{ °C}$ (celoročně, sklon 30-50°)
- teplotu bazénové vody není nutné dále zvyšovat:
 - bazén přestává být osvěžující
 - roste tepelná ztráta, roste spotřeba tepla
 - kolísání teploty bazénové vody s venkovní teplotou **nemá vliv** na návštěvnost (u venkovních bazénů)



Potřeba tepla pro ohřev bazénové vody



- hrazení tepelných ztrát přestupem z vodní hladiny
 - sálání
 - proudění
 - **vypařování**
- hrazení tepelných ztrát prostupem tepla stěnami bazénu (pod úrovní hladiny)
- ohřívání přiváděné čisté vody
 - vystříkání, vynesení vody z bazénu plavci
 - voda pro praní filtrů
 - ředicí voda 30 až 60 l/os.den



Tepelná ztráta bazénu

$$Q_z = (\alpha_s + \alpha_k + \alpha_v) \cdot S \cdot (t_w - t_v)$$

α_s [W/m ² .K]	součinitel přestupu tepla sáláním	5 W/m².K
α_k [W/m ² .K]	součinitel přestupu tepla konvekci 5-8 W/m².K pro vnitřní kryté bazény 10-15 W/m².K pro venkovní otevřené bazény	
α_v [W/m ² .K]	součinitel přestupu tepla vypařováním z hladiny bazénu	
S [m ²]	plocha hladiny bazénu	
t_w [°C]	teplota bazénové vody	
t_v [°C]	teplota okolního vzduchu (vnitřní, venkovní)	



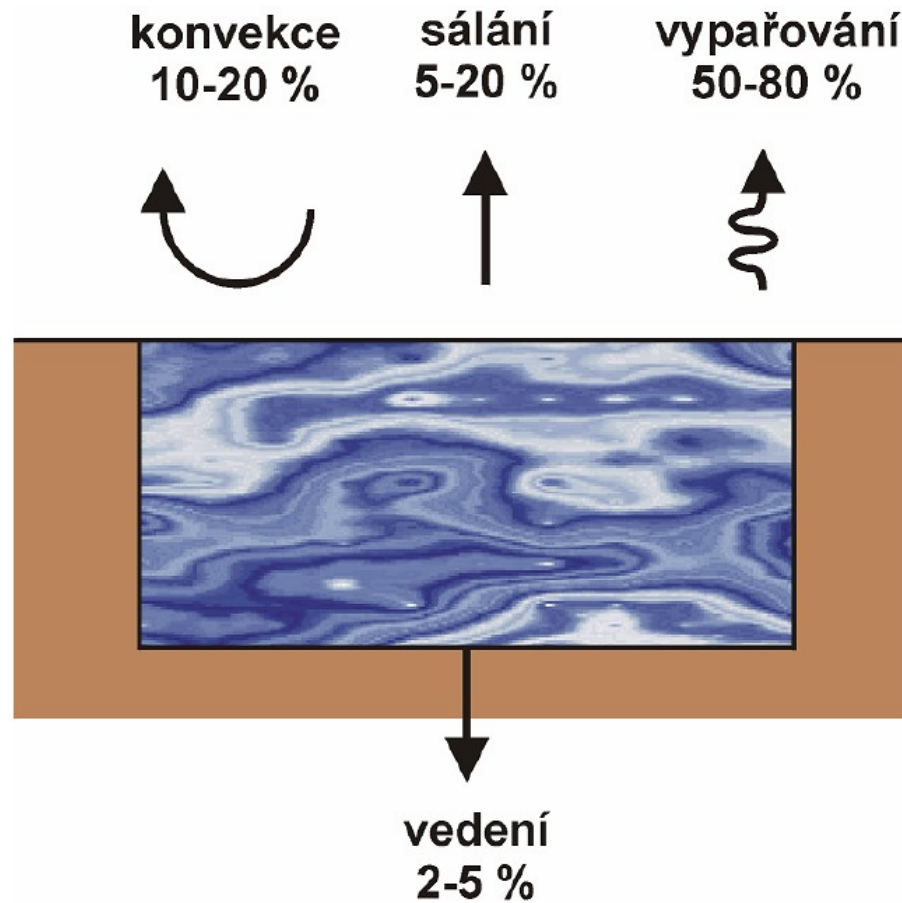
Tepelná ztráta bazénu

$$\alpha_v = \frac{\alpha_k}{c_v} \cdot \frac{x_w'' - x_v}{t_w - t_v} \cdot r$$

x_w'' [kg/kg sv]	měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě t_w
x_v [kg/kg sv]	měrná vlhkost okolního vzduchu při teplotě t_v a relativní vlhkosti φ_v
r [J/kg]	výparné teplo vody ($r = 2,4 \cdot 10^6$ J/kg)
c_v [J/kg.K]	měrná tepelná kapacita vzduchu ($c_v = 1010$ J/kg.K)



Podíl tepelných ztrát





Venkovní bazén - bilance



- bilance potřeby tepla **během dne** (během doby slunečního svitu)

$$Q_{p,d} = (\alpha_s + \alpha_k + \alpha_v) \cdot S \cdot (t_w - t_{es}) \cdot \tau_d - H_{den} \cdot \eta_a \cdot S$$

zahrnutí pohlcení slunečního záření na hladině (přímé zisky)

- bilance potřeby tepla **během noci** (během doby bez slunečního svitu)

$$Q_{p,n} = (\alpha_s + \alpha_k) \cdot S \cdot (t_w - t_{en}) \cdot \tau_n$$

noční zakrývání hladiny



Vnitřní bazén - bilance



- bilance potřeby tepla **během dne**

$$Q_{p,d} = (\alpha_s + \alpha_k + \alpha_v) \cdot S \cdot (t_w - t_i) \cdot \tau_d$$

- bilance potřeby tepla **během noci**

$$Q_{p,n} = (\alpha_s + \alpha_k) \cdot S \cdot (t_w - t_i) \cdot \tau_n$$

noční zakrývání hladiny



Denní potřeba tepla pro ohřev BV



- potřeba tepla pro ohřev bazénové vody se vyhodnocuje pro celý den v referenčním období pro krytí bazénové ztráty solárními zisky

$$Q_{pc} = (1 + p / 100) \cdot (Q_{p,d} + Q_{p,n})$$

p [%]

přirážka na tepelné ztráty soustavy (**5 %**), nejsou zahrnuty tepelné akumulace (není)



Návrh plochy kolektorů



- **ohřev bazénové vody**

- návrhové měsíce podle požadavku pokrytí potřeby tepla sluneční energií
- střední teplota teplotonosné kapaliny $t_m = 30 - 35 \text{ °C}$
podle typu bazénu (vnitřní, venkovní)
- solární soustava pro přípravu teplé vody, vytápění a ohřev bazénové vody – nepřičítat potřebu tepla na vytápění

$$Q_p = Q_{TV} + Q_{BV}$$



Účinnost solárního kolektoru



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

t ... propustnost slunečního záření zasklení [-], běžně 0,91-0,93

a ... pohltivost slunečního záření absorberu [-], běžně 0,95

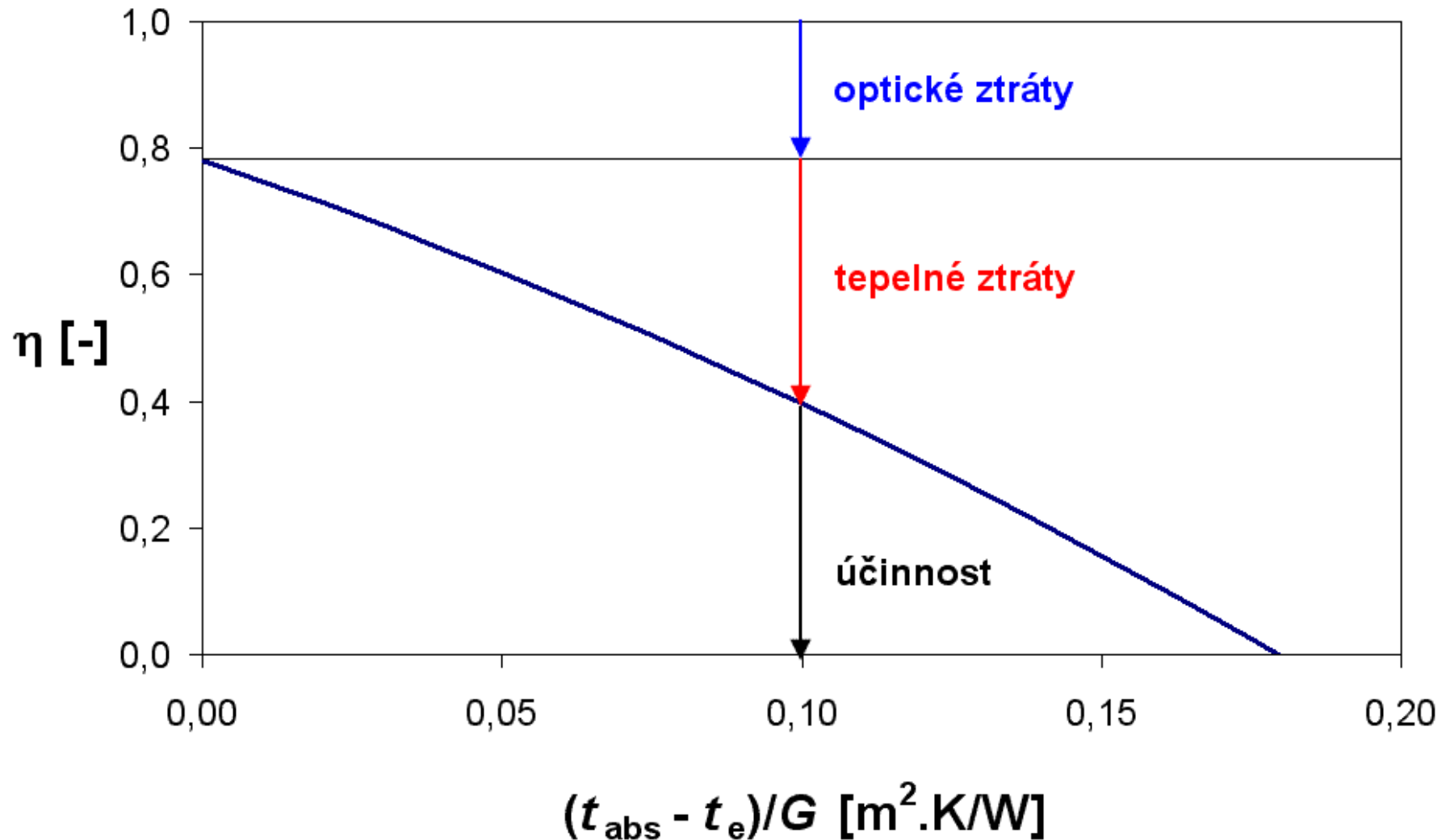
U ... součinitel prostupu tepla kolektoru [W/m².K]

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

t_e ... teplota okolí [°C]



Účinnost solárního kolektoru





Účinnost solárního kolektoru



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

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

F' ... účinnostní součinitel kolektoru > 0.90

závisí na geometrii a tepelných vlastnostech absorberu

t_m ... střední teplota teponosné kapaliny v kolektoru

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



Účinnostní součinitel kolektoru F'



závisí na geometrických vlastnostech absorberu

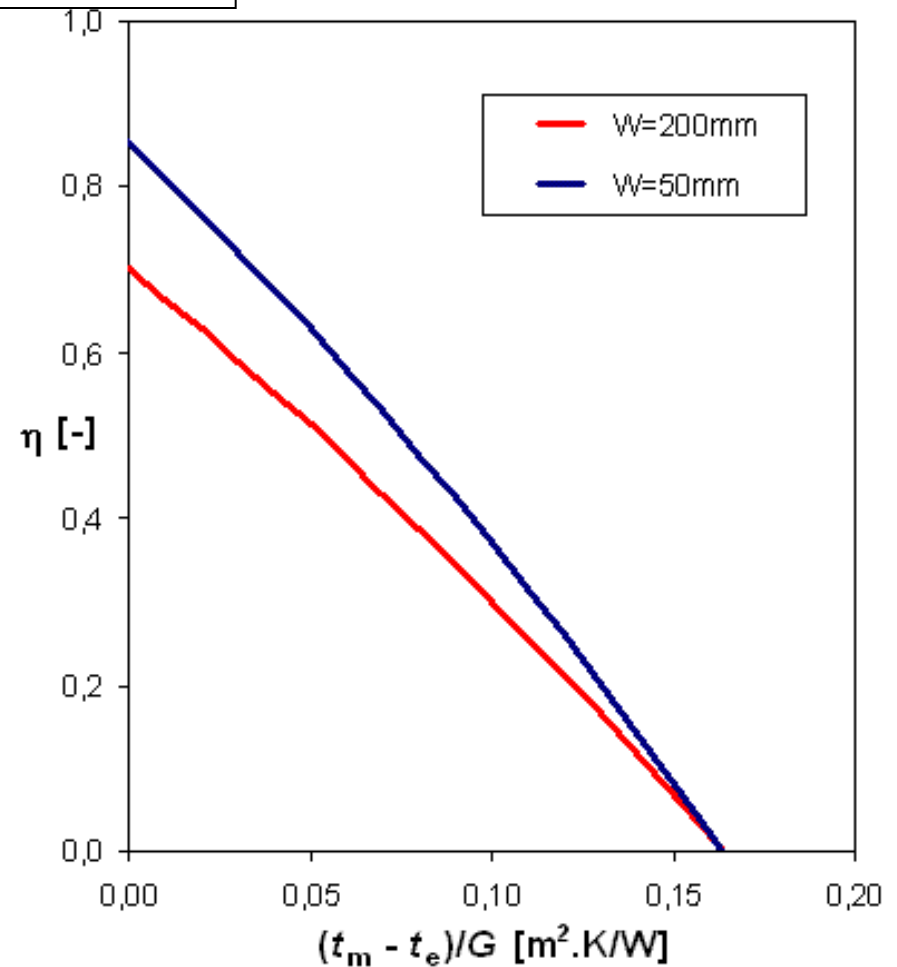
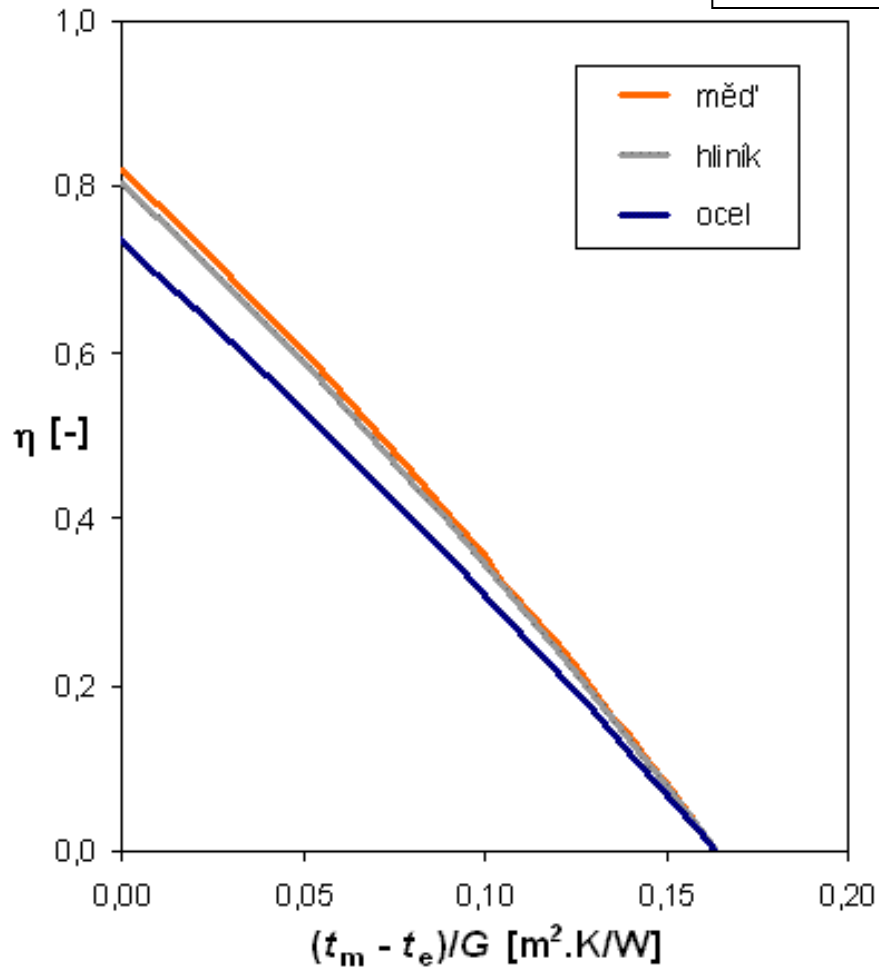
- geometrických vlastnostech absorberu:
 - **rozteč trubek, průměr trubek, tloušťka spoje trubka-absorbér, tloušťka absorberu**
- fyzikálních vlastnostech absorberu:
 - **tepelná vodivost absorberu, tepelná vodivost spoje trubka-absorbér**
- proudění uvnitř trubek: **přestup tepla ze stěny trubky do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



Vliv materiálu a geometrie absorbérů

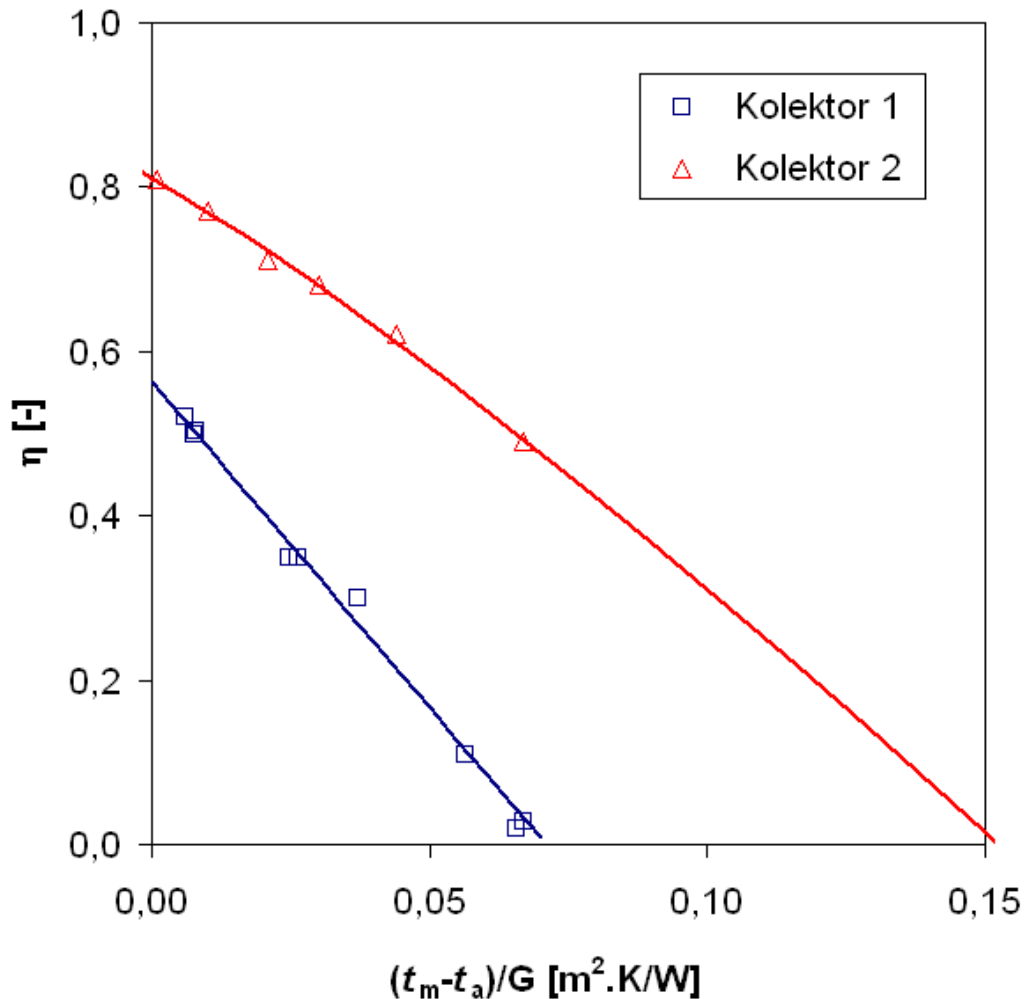


plochý kolektor





Účinnost plochého kolektoru



kolektor 1:

špatný tepelný spoj mezi absorbérem a trubkovým registrem

kolektor 2:

ultrazvukově svařovaný spoj



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 [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]

t_{k1} ... teplota teplonosné látky na vstupu do kolektoru [$^{\circ}\text{C}$]

t_{k2} ... teplota teplonosné látky na výstupu z kolektoru [$^{\circ}\text{C}$]



Účinnost solárního kolektoru (měření)



regresní parabola proložená naměřenými hodnotami

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

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

a_1 ... součinitel tepelné ztráty (lineární) [W/m².K]

a_2 ... součinitel tepelné ztráty (kvadratický) [W/m².K²]

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



Zkoušení solárních kolektorů (podle EN)



ČSN EN 12975-1,2

Zkoušky výkonové

- tepelný výkon a účinnost kolektoru (určení h_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 $> 700 \text{ W/m}^2$, kolmý dopad, časově náročné
- za **dynamických** podmínek
 - proměnlivé počasí, více určených parametrů, výstupem je dynamický model kolektoru



Zkoušení solárních kolektorů (podle EN)



ČSN EN 12975-1,2

Zkoušky spolehlivosti

- vnitřní přetlak
 - odolnost proti vysokým teplotám
 - vystavení vnějším vlivům
 - vnější tepelný ráz
 - vnitřní tepelný ráz
 - průnik deště (zasklené)
 - mechanické zatížení
 - odolnost proti nárazu
-
- vyhotovení protokolu o zkoušce (!)





Novela vyhlášky 150/2001



- bude stanovovat minimální účinnost solárního kolektoru ($\dot{Q}_k$ - ... kW)
- definice špičkového „výkonu“ solárního kolektoru: $\dot{Q}_k = \eta_r \cdot A_k$

Typ solárního kolektoru	Rozdíl teplot ($t_m - t_e$) [°C]	Minimální účinnost η_r *)
Nezasklený kolektor (absorbér)	10	0,70
Plochý zasklený kolektor	30	0,60
Trubkový vakuový kolektor	50	0,55

teto výsledky.

- (4) Základní podmínkou splnění minimální účinnosti solárních kolektorů** při jejich vkládání do systémů centrálního zásobování teplem (dále „systému“) je nesnížení celkové účinnosti systému.

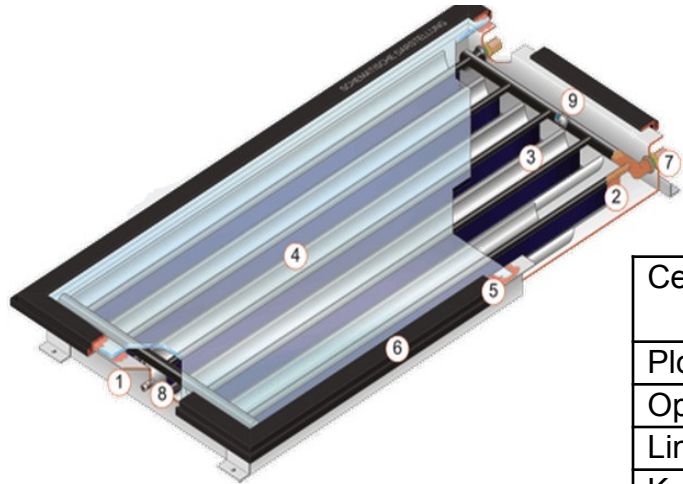


Přehled sortimentu solární techniky

KOLEKTORY

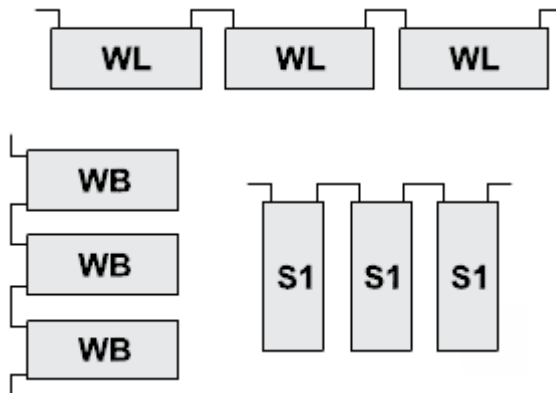


Kolektor Q7-CPC



Úhel dopadu paprsků [°]	50	20	40	60
Modifikátor úhlu dopadu [-]	0,91	1,03	1,09	0,89

Celkové rozměry – varianta S1	2,405 x 1,155 x 0,065	m
– varianta S1K	2,125 x 1,155 x 0,065	m
Plocha apertury S1 / S1K	2,523 / 2,2	m ²
Optická účinnost*	0,727	-
Lineární součinitel tepelné ztráty*	3,948	W/m ² .K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty*	0,022	W/m ² .K ²
Materiál vnitřních rozvodů	měď	
Zasklení kolektoru	Kalené solární sklo (4 mm)	
Absolutní tlak uvnitř kolektoru	10 000	Pa
Emisivita absorberu α	5	%
Absorptivita absorberu ε	95	%
Tlakové ztráty (S1) při průtoku 183 l/h	1813	Pa



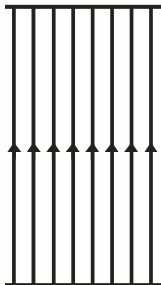
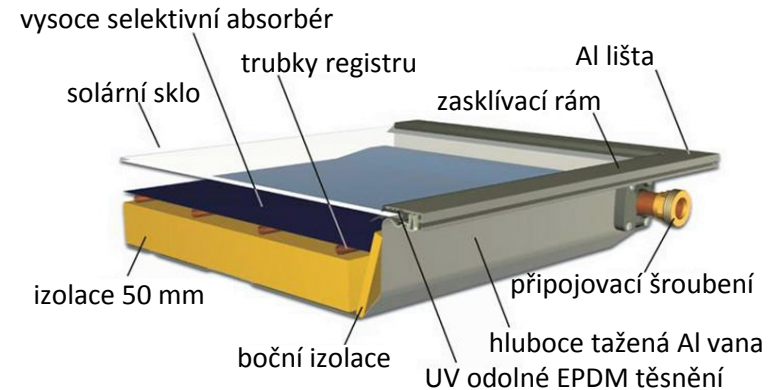


Přehled sortimentu solární techniky

KOLEKTORY



Kolektor Q7-3000-FKN/V



Celkové rozměry	2,356 x 1,081 x 0,1	m
Plocha apertury	2,157	m ²
Optická účinnost η_0^*	0,770	-
Lineární součinitel tepelné ztráty a_1^*	3,494	W/m ² .K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty a_2^*	0,017	W/m ² .K ²
Stagnační teplota (1000 W/m ² ; 30°C)	217,8	°C
Materiál vnitřních rozvodů	Měď	
Připojovací šroubení	1"	
Materiál skříně	Hliník	
Zasklení kolektoru	ESG solární sklo (4 mm)	
Hmotnost	43	kg
Objem kapaliny v kolektoru	1,4	l
Emisivita absorberu	5	%
Absorptivita absorberu	95	%
Modifikátor úhlu dopadu κ_{50°	0,95	[-]



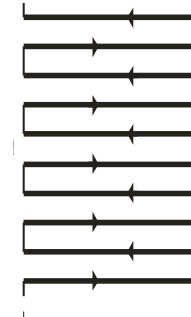
Přehled sortimentu solární techniky

KOLEKTORY

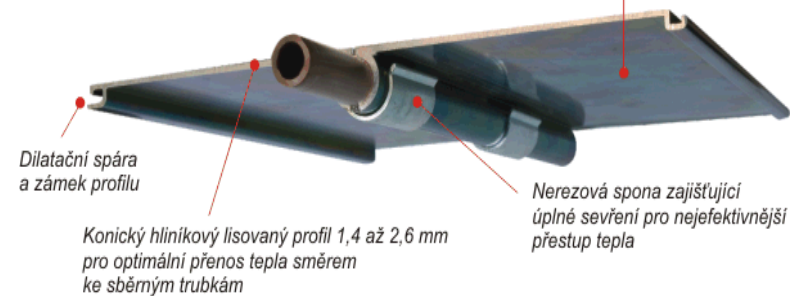


Kolektor EKS

Celkové rozměry	2,329 x 1,077 x 0,11	m
Plocha apertury	2,275	m ²
Optická účinnost η_0^*	0,816	-
Lineární součinitel tepelné ztráty a_1^*	3,480	W/m ² .K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty a_2^*	0,029	W/m ² .K ²
Materiál vnitřních rozvodů	měď	
Připojovací potrubí	22x1 Cu	
Materiál skříně	hliník	
Objem kapaliny v kolektoru	1,4	l
Emisivita absorbéru	5 až 15	%
Absorptivita absorbéru	95 až 97	%



Vysokoselektivní vrstva oxidu hlinitého pigmentovaná koloidním niklem
 $a = 0,95 - 0,97 / e = 0,08 - 0,11$





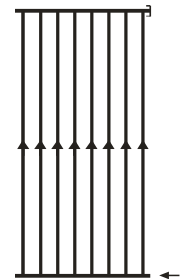
Přehled sortimentu solární techniky

KOLEKTORY



Kolektor Q7-500-MST, Q7-700-MST

Celkové rozměry	2,0 x 1,0 x 0,10	m
Plocha apertury	1,82	m ²
Optická účinnost η_0^* (typ 500/700)	0,72 / 0,75	-
Lineární součinitel tepelné ztráty a_1^*	6,3 / 3,82	W/m ² .K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty a_2^*	0,038 / 0,019	W/m ² .K ²
Max. provozní tlak	0,6	MPa
Doporučený průtok	100	l/hod
Stagnační teplota (1000 W/m ² ; 30°C)	112 / 177	°C
Materiál vnitřních rozvodů	měď	
Připojovací potrubí	22x1 Cu	
Objem kapaliny v kolektoru	1,5	l
Emisivita absorbéru	31 / 5	%
Absorptivita absorbéru (typ 500/700)	93 / 95	%
Modifikátor úhlu dopadu κ_{50°	0,94	[-]





Solární soustavy – podle plochy



- malé soustavy (**< 20 m²**)
 - rodinné domy, malé firmy, ...
- střední soustavy (**< 200 m²**)
 - zdravotnická a sociální zařízení, pečovatelské ústavy, sportovní zařízení a plovárny, hotely, školy s celoročním provozem, ...
- velké soustavy (**> 200 m²**)
 - soustavy centrálního zásobování teplem, výtopny pro sídliště (výhodná kombinace s biomasou), potravinářský a chemický průmysl, sportovní stadiony, ...



Solární soustavy – podle průtoku

- s vysokým průtokem (**high-flow**): **50 až 90 l/h.m²**
 - tradiční osvědčený provoz, pomalý náběh zásobníku, zvýšení teploty teplonosné látky v kolektoru o **8 až 15 K**
- s nízkým průtokem (**low-flow**): **10 až 20 l/h.m²**
 - výrazně snížený průtok, zvýšení teploty **až o 50 K**, výhodné pouze ve spojení se stratifikačními zásobníky
 - malé dimenze, malé ztráty, sériové zapojení kolektorů
 - teplo o využitelné teplotě, snížení četnosti dohřevu, **vyšší energetické výnosy (o 5 až 20%)**
- s proměnným průtokem (**matched-flow**) **10 až 40 l/h.m²**
 - optimalizace provozu soustavy, např. regulace na konstantní výstupní teplotu



- **analyzovat skutečnou potřebu tepla (!)**
- **příprava teplé vody**
 - dlouhodobé měření, sada krátkodobých měření, skutečná spotřeba tepla na přípravu (včetně ztrát)
 - směrné hodnoty: běžná spotřeba TV do **40 l/os.den** (60°C)
- **vytápění**
 - ČSN EN ISO 13 790 – pokročilý, detailní výpočet
 - denostupňová metoda – jednoduchá, pro účely hodnocení postačující



- **snížení potřeby tepla** - úsporná opatření provádět jako první !
- **příprava teplé vody**
 - úsporné armatury, zaregulování a zaizolování rozvodů, řízení cirkulace TV podle času a teploty
- **vytápění**
 - nízkoenergetické a energeticky pasivní domy (zateplení, ZZT)



Navrhování a bilancování sol. soustav

- klimatické údaje (sluneční ozáření $G_{T,m}$, dávky slunečního ozáření $H_{T,den}$, venkovní teplota v době slunečního svitu $t_{e,s}$) – střední **denní** hodnoty
- účinnost kolektoru (křivka od výrobce) η_k
 - pro typickou denní teplotu v kolektorech t_m pro danou aplikaci (provozní údaj)
 - pro dané klimatické údaje (denní, měsíční), sklon a orientace kolektoru

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

- teoretické zisky solárního kolektoru Q_k



Navrhování a bilancování sol. soustav

- tepelné ztráty solární soustavy $Q_{z,ss} = p \cdot Q_k$
 - zjednodušeně jako procentní srážka ze zisků p
 - paušální hodnota podle typu aplikace
 - obecně čím větší plocha, tím menší srážka (poměr)
- využitelné zisky kolektoru $Q_{k,u,den} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p)$
- potřeba tepla v dané aplikaci $Q_{p,c}$
 - vlastní potřeba tepla
např. ohřev daného množství vody
 - tepelné ztráty aplikace, které lze pokrýt solárními zisky
např. tepelné ztráty dohřívacího zásobníku nebo rozvodů vody



Modifikátor úhlu dopadu (K_θ , IAM)

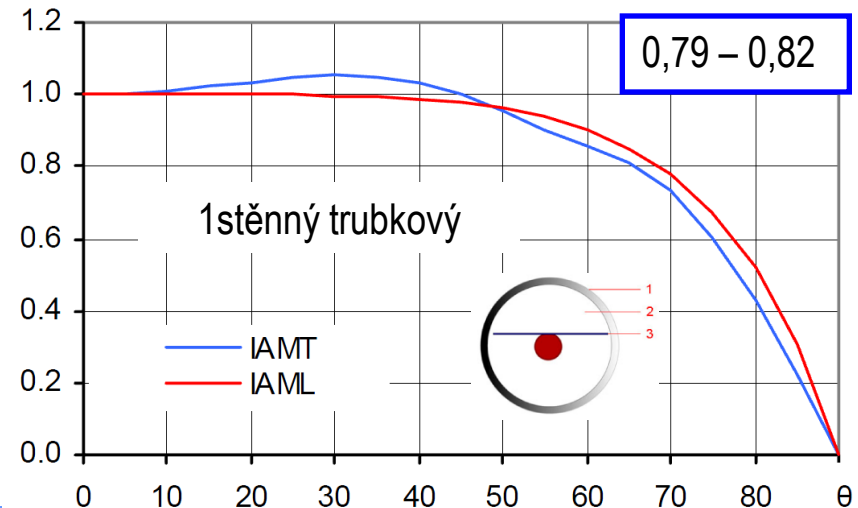
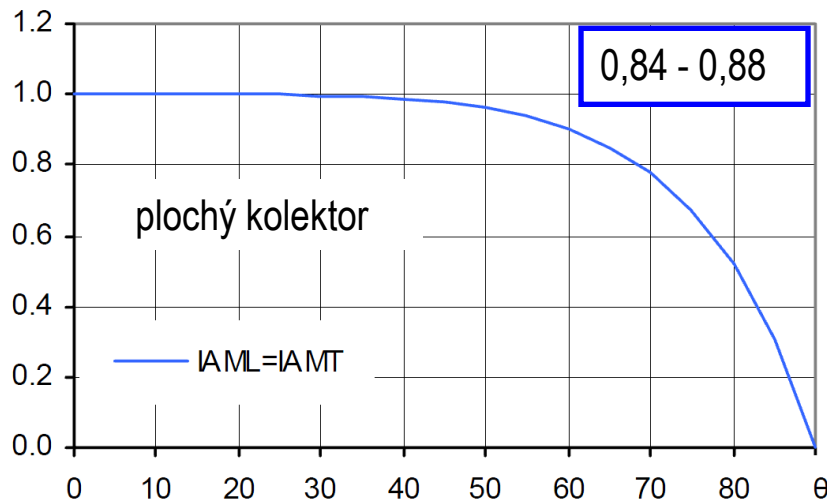


incidence angle modifier (IAM) – vliv geometrie slunečního záření na účinnost kolektoru

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

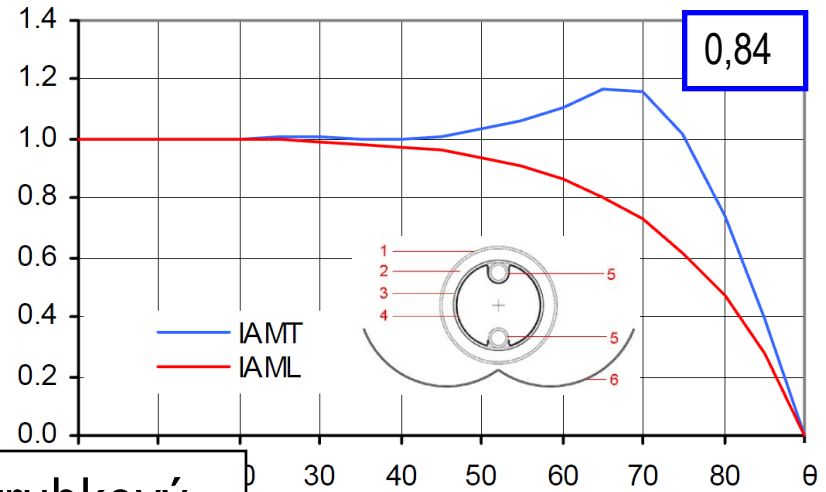
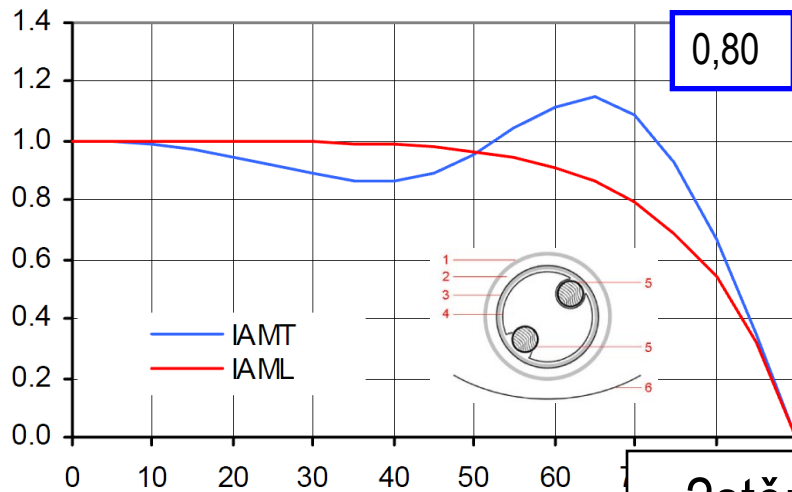
$$\dot{Q}_k = A_a F' (K_\theta (\tau\alpha)_n G_T - U(t_m - t_e))$$

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

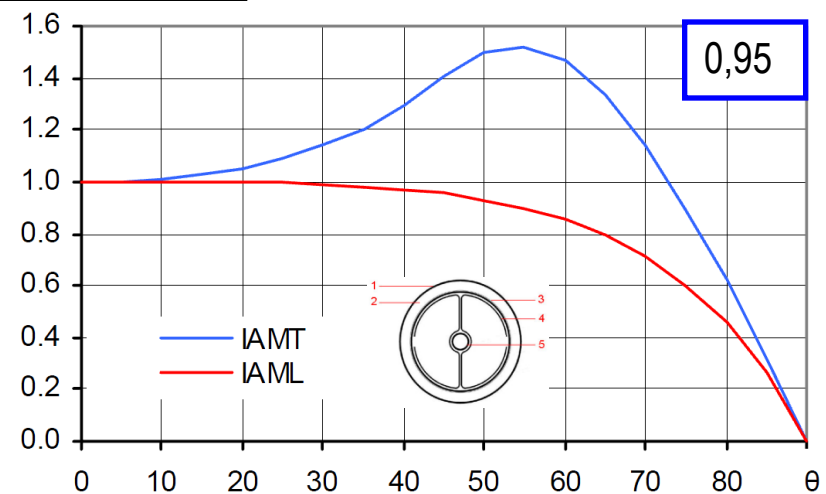
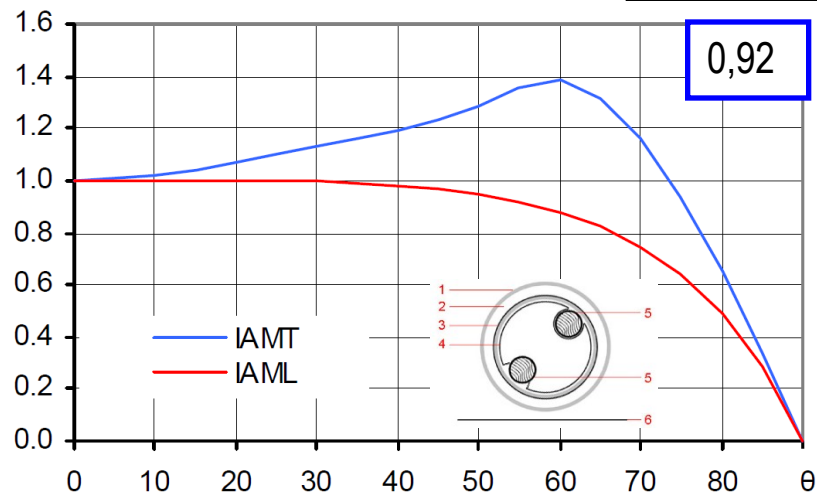




Modifikátor úhlu dopadu (K_θ , IAM)



2stěnný trubkový





Navrhování a bilancování sol. soustav

- **návrh plochy kolektorů**

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

- pro typický měsíc, kdy se očekává plné nebo částečné (podíl f) pokrytí potřeby tepla
- podle typu aplikace, podle místní dispozice

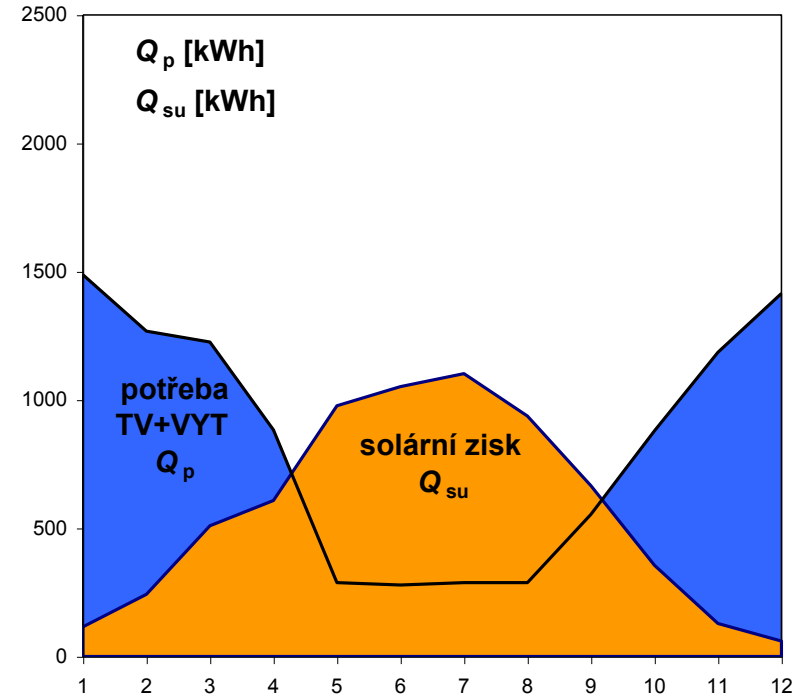
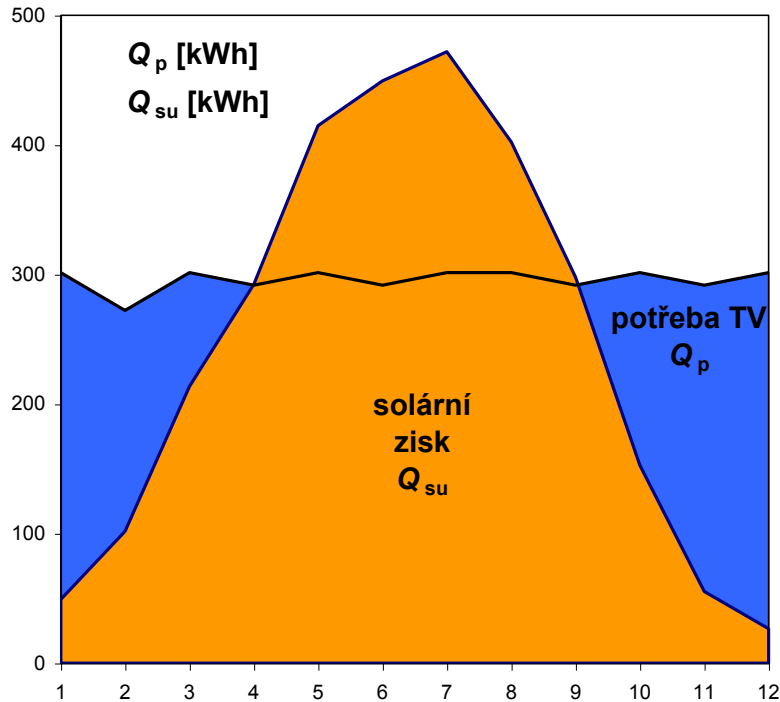
- **bilancování využitých zisků solární soustavy (TNI 73 0302)**

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

- v jednotlivých měsících (měsíční hodnoty, měsíční bilance)
- nevyužitelné přebytky se **nepočítají (!)**



Navržená plocha kolektorů



analyzovat možnosti využití letních přebytků !!!

maření energie v kolektorech, stagnace, var teplotnosné kapaliny



Bilancování využitých zisků solární soustavy (TNI 73 0302)



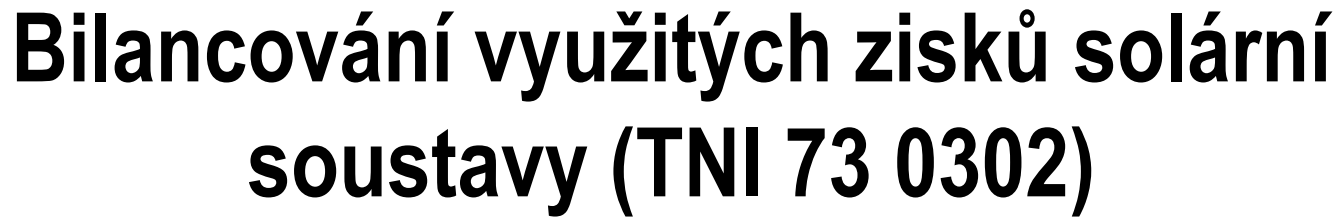
Akce:		Počet jednotek (osob, míst, lůžek, sprch ap.):	4	jednotek
Adresa:		Spotřeba na jednotku:	50	l/jedn.den
		Je snížená spotřeba tepla v letních měsících u obytných budov	NE	
Příprava teplé vody a vytápění				
Typ budovy	Typ spotřeby	$V_{TV, den, OS}$		
		[l/os.den]		
Obytné budovy	Nízký standard	10 - 20		
	Střední standard	20 - 40		
	Vysoký standard	40 - 80		
	Nízké (letní) vytížení	$0.75 \times V_{TV}$		
Nemocnice, domovy důchodců	Nízké (letní) vytížení	25 - 30		
	Zbýlá část roku	30 - 60		
Studentské domovy, koleje	Nízké (letní) vytížení	20 - 25		
	Zbýlá část roku	25 - 50		
Školy	Nízké (letní) vytížení	0		
	Zbýlá část roku	5 - 10		
Hostince, restaurace*	Nízký standard	5		
	Střední standard	15		
	Vysoký standard	30		
Ubytovací zařízení**	Nízký standard	20		
	Střední standard	35		
	Vysoký standard	70		
Sportovní zařízení***	Nízký standard	30		
	Střední standard	60		
	Vysoký standard	100		

Denní spotřeba teplé vody $V_{TV, den}$ (15°C / 60°C)	200	l/den
Studená voda t_{SV}	10	°C
Teplá voda t_{TV}	55	°C
Srážka z tepelných zisků kolektorů vlivem tep. ztrát p	0.2	Příprava teplé vody a vytápění, od 10 do 50 m ²
Přirážka na tep. ztráty při přípravě teplé vody z	0.3	Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací
Vytápění objektu - použít data z výpočtu podle ČSN EN 13790	ANO	
Tepelná ztráta domu Q_z	12	kW
Vnitřní výpočtová teplota t_{iv}	20	°C
Venkovní výpočtová teplota t_{ev}	-12	°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	24 m ²
Typ bazénu	Vnější - mimo doby provozu zakrývaný
Teplota bazénové vody v době provozu $t_{w,p}$	24 °C
Teplota bazénové vody mimo dobu provozu $t_{w,n}$	24 °C
Teplota vzduchu v prostorech bazénu v době provozu $t_{v,p}$	°C
Teplota vzduchu v prostorech bazénu mimo provoz $t_{v,n}$	°C
Denní provozní doba bazénu τ_p	8 h
Počet návštěvníků za měsíc	osob/měs

Parametry solárních kolektorů	
Optická účinnost η_0	0.78 -
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1	3.5 W/m ² .K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2	0.004 W/m ² .K ²
Počet kolektorů	4 ks
Plocha apertury solárního kolektoru A_{k1}	2 m ²
Celková plocha apertury kolektorů	8 m ²
Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	50 °C
Sklon kolektoru β	45 °
Azimut kolektoru γ (jih = 0°)	0 °

Vyhodnocení	
Měrný energetický zisk ze solární soustavy $q_{ss,u}$	406 kWh/m ² .rok
Celkový energetický zisk ze solární soustavy Q_{ss}	3247 kWh/rok
Solární pokrytí (podíl solární soustavy) f	65 %

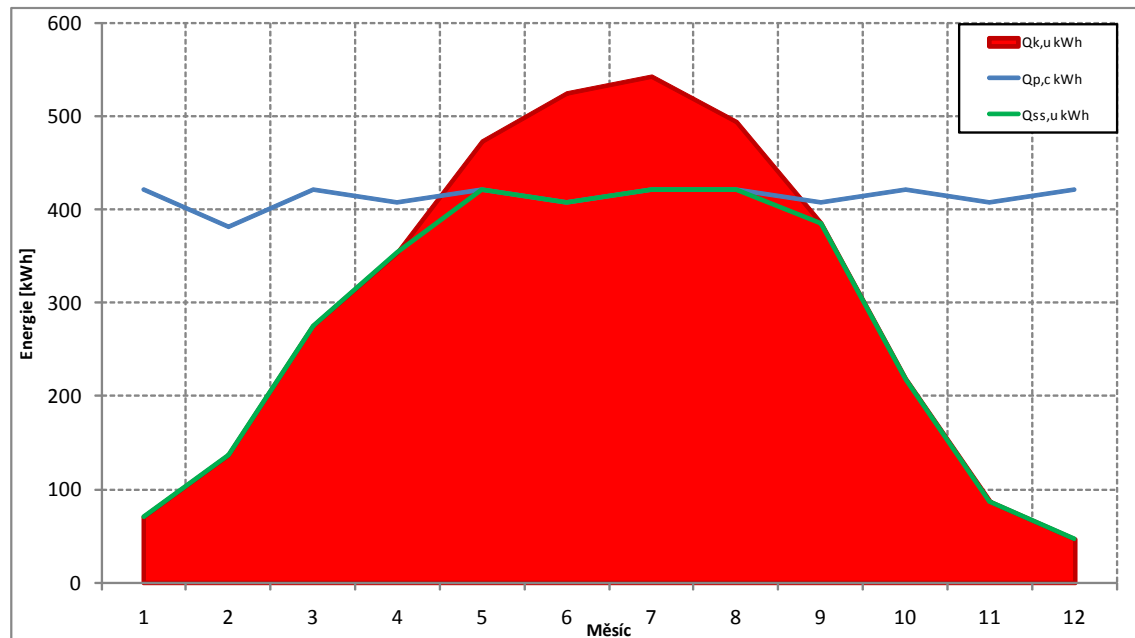


mésic	n	t_{ep}	t_{es}	$G_{T,m}$	η_k	$H_{T,den}$	$H_{T,més}$	$Q_{k,u}$	$Q_{p,TV}$	$Q_{p,VYT}$	$Q_{p,BV}$	$Q_{p,c}$	$Q_{ss,u}$
	dny	°C	°C	W/m2	—	kWh/m ² .den	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	31	-1.5	2.2	418	0.36	1.10	34.2	70	422	0	0	422	70
2	28	0	3.4	489	0.43	1.97	55.3	137	381	0	0	381	137
3	31	3.2	6.5	535	0.48	3.20	99.2	275	422	0	0	422	275
4	30	8.8	12.1	527	0.52	3.96	118.8	354	408	0	0	408	354
5	31	13.6	16.6	521	0.55	4.84	150.1	473	422	0	0	422	422
6	30	17.3	20.6	517	0.57	5.29	158.6	525	408	0	0	408	408
7	31	19.2	22.5	512	0.59	5.19	160.7	543	422	0	0	422	422
8	31	18.6	22.6	515	0.59	4.71	145.9	494	422	0	0	422	422
9	30	14.9	19.4	516	0.57	3.95	118.4	386	408	0	0	408	386
10	31	9.4	13.8	488	0.51	2.40	74.5	219	422	0	0	422	219
11	30	3.2	7.3	427	0.41	1.21	36.4	87	408	0	0	408	87
12	31	-0.2	3.5	387	0.34	0.77	24.0	47	422	0	0	422	47
							1176	3608	4967	0	0	4967	3247

[illegible]

Zadat profil spotřeby TV

**Zadat hodnoty získané výpočtem
podle ČSN EN 13 790**



$q_{ss,u}$	406	kWh/m ² .rok
f	65	%
$Q_{ss,u}$	3247	kWh/rok



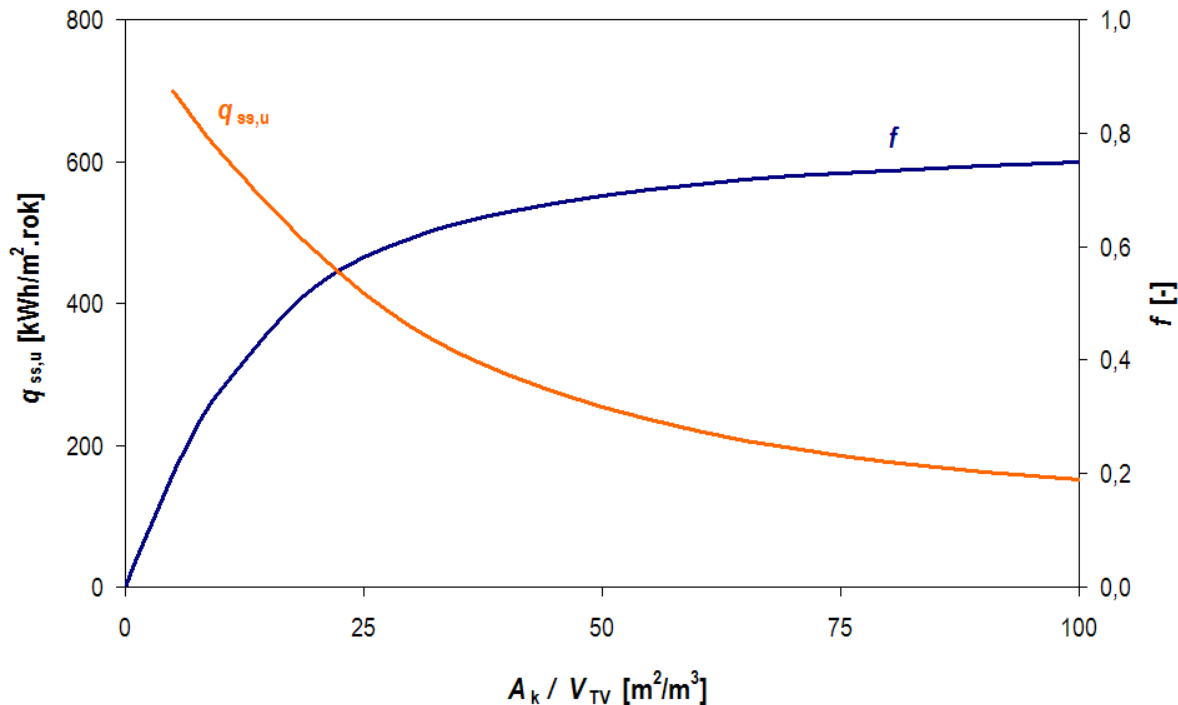
Solární soustavy – základní parametry



- měrné využitelné solární zisky $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok]

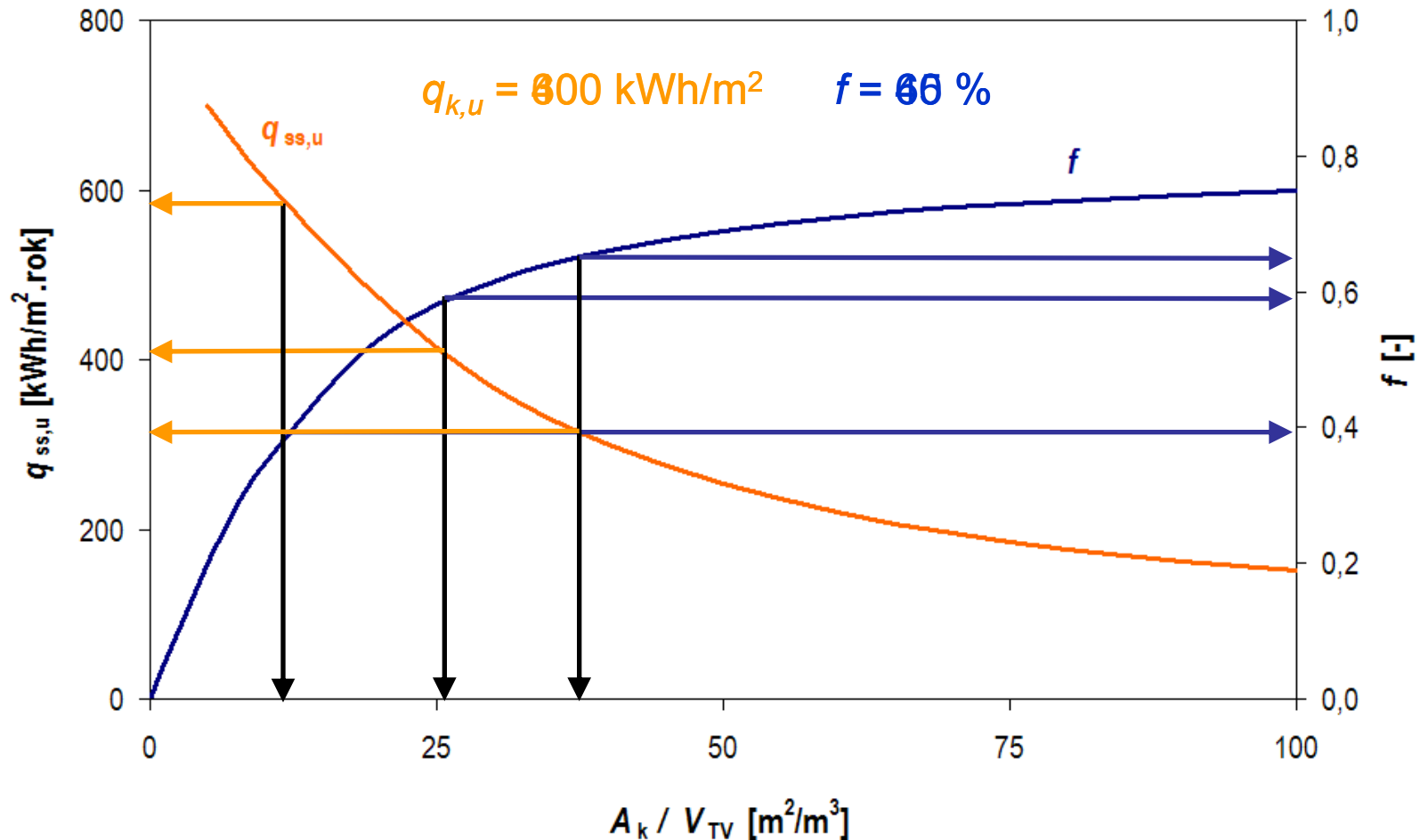
- solární podíl

$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} = 1 - \frac{Q_d}{Q_{p,c}} = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{s,u} + Q_d} \quad [-]$$





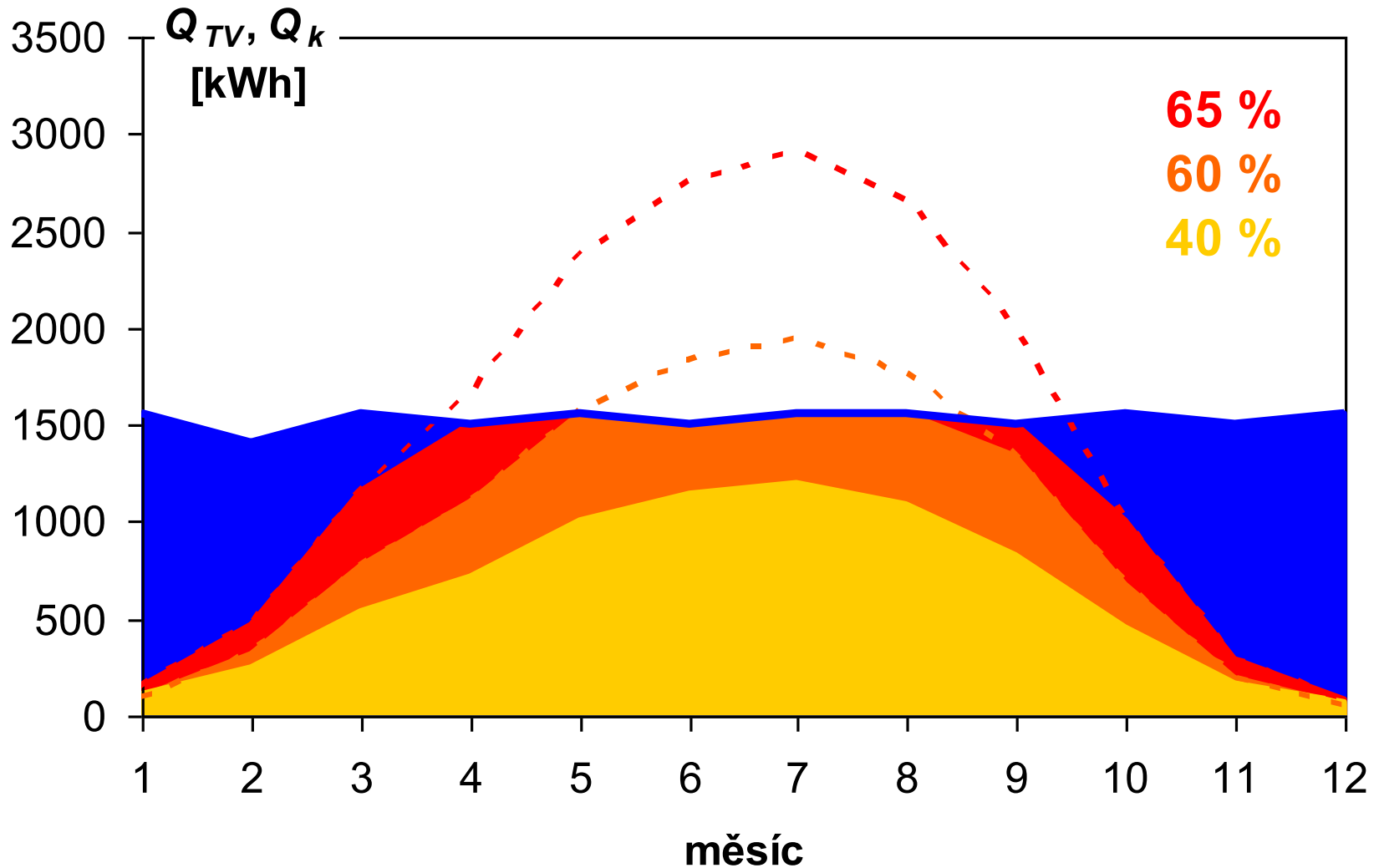
Bilance solární přípravy teplé vody



s rostoucím solárním pokrytím klesají měrné zisky z kolektorů



Bilance solární přípravy teplé vody





Solární soustavy pro přípravu TV



- **rodinné domy**

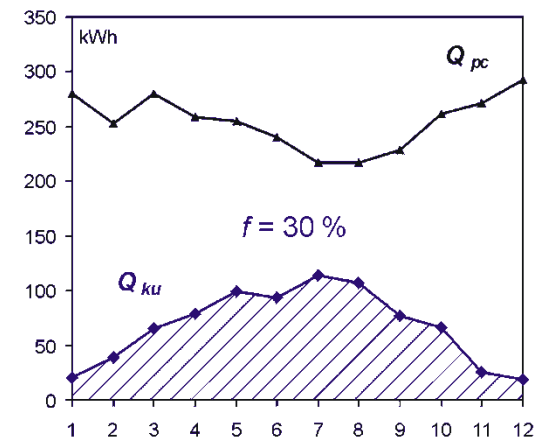
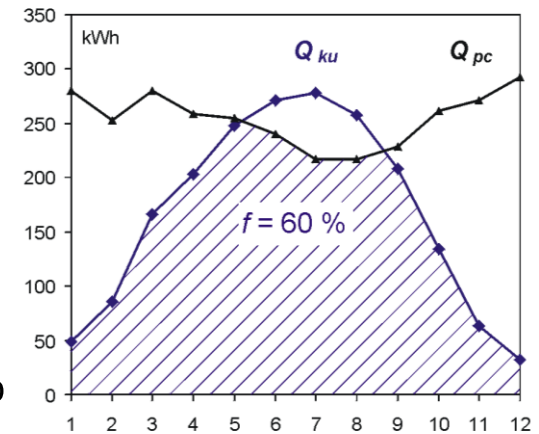
- (3 až 6 m²; 250 až 400 l), solární podíl 50 až 70 %
- solární zisky **300 až 400 kWh/m².r**

- **bytové domy, ústavy, hotely, ...**

- (od 25 až 200 m²; 1 až 8 m³), solární podíl 40 až 50 %
- solární zisky **400 až 500 kWh/m².r**

- **přehřev teplé vody**

- solární podíl 20 až 40 %
- solární zisky **500 až 600 kWh/m².r**

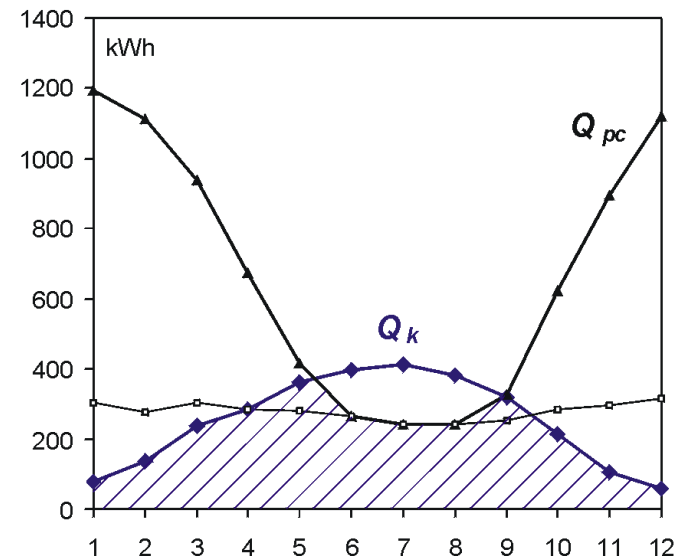


- **rodinné domy**

- (6 až 12 m²; 1000 až 4 000 l)
- solární podíl: standardní domy 10 až 20 %
 nízkoenergetické, pasivní domy 20 až 40 %
- solární zisky **250 až 350 kWh/m².r**

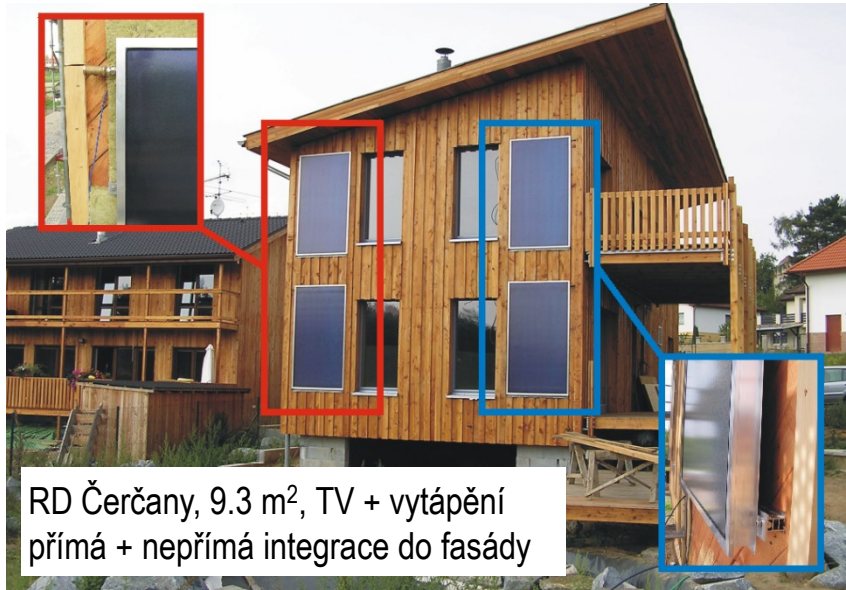
- **bytové domy**

- (40 až 200 m²; 4 až 16 m³)
- solární podíl 10 až 20 %
- solární zisky **350 až 450 kWh/m².r**





Příprava teplé vody a vytápění



RD Čerčany, 9,3 m², TV + vytápění
přímá + nepřímá integrace do fasády



RD Úvaly, 6 m², TV + vytápění
šikmá střecha



RD Mnichovice, 7,4 m², TV + vytápění
plochá střecha

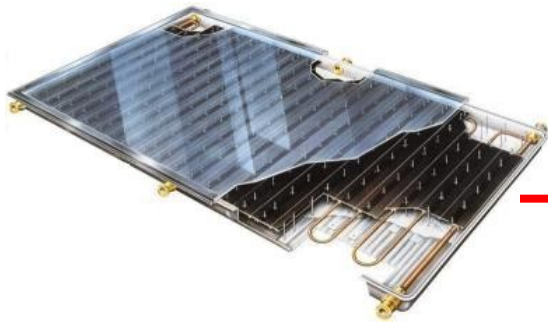




Akumulace pro solární tepelnou techniku



nepravidelná
dodávka tepla



- během dne
- během roku



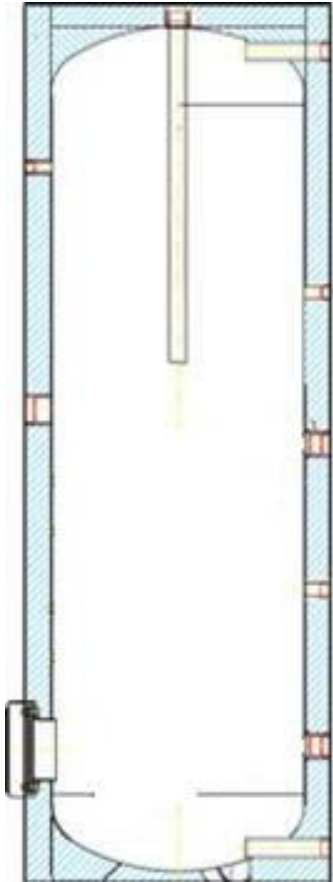
nepravidelná
spotřeba tepla



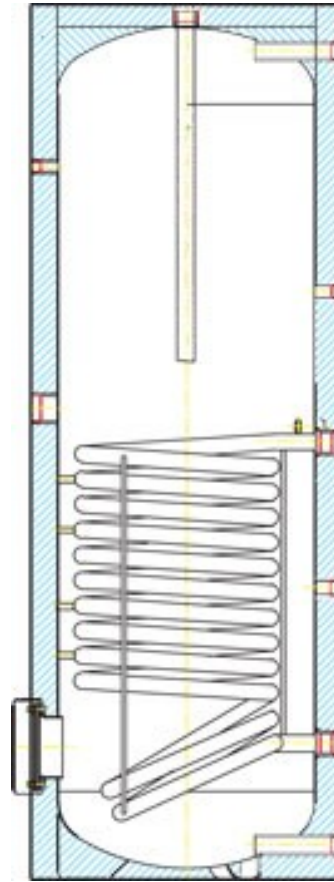
AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK = SRDCE SOLÁRNÍ SOUSTAVY
vysoce účinný kolektor + neúčinný zásobník = neúčinná soustava



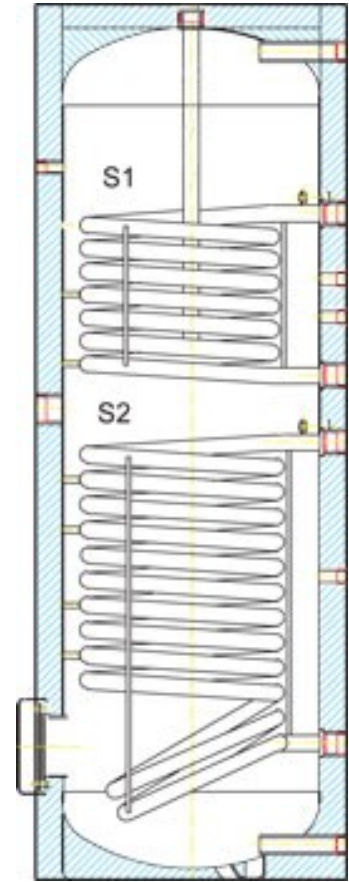
Vodní zásobníky TV – teplosměnné plochy



nádrže



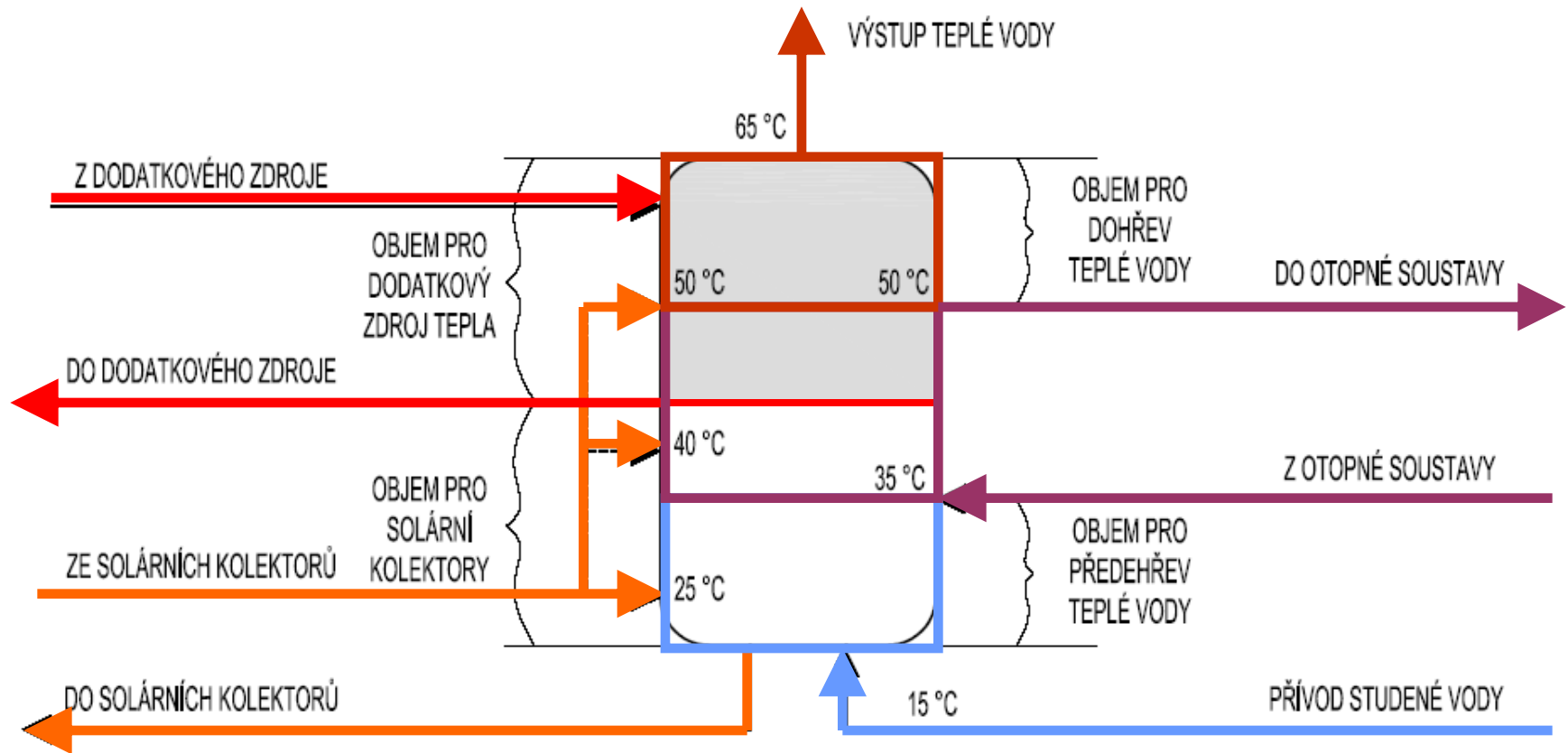
monovalentní



bivalentní



Vodní zásobníky kombinované (TV+VYT)





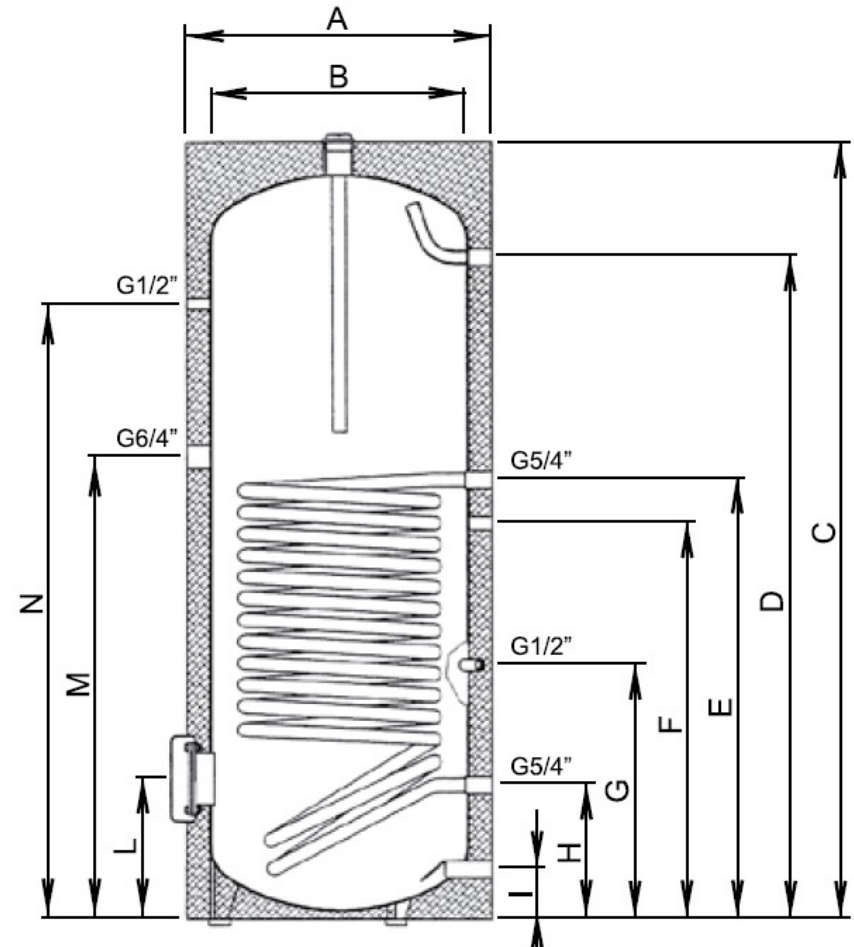
Přehled sortimentu solární techniky

Zásobníky a akumulční nádoby



Zásobníkové ohřívače vody nepřímotopné s jedním spirálovým výměníkem Q7-ZJV

Typ ohřívače	L	M	N	S (m ²)	l/h - kW 80/60/45 °C	Kv (mbar)	Hm. (kg)
Q7-150-ZJV	302		750	1	640-25	42	75
Q7-200-ZJV	302	705	1035	1,5	980-40	78	92
Q7-300-ZJV	302	930	1450	1,7	1250-50	147	108
Q7-400-ZJV	320	1025	1390	2	1410-57	245	130
Q7-500-ZJV	310	1050	1300	2,5	1750-70	288	155
Q7-800-ZJV	390	1095	1470	3,4	2430-98	340	226
Q7-1000-ZJV	390	1245	1620	4	2950-120	385	260
Q7-1500-ZJV	580	1250	1745	4	2950-120	470	330
Q7-2000-ZJV	620	1240	1640	4,5	3320-135	485	400





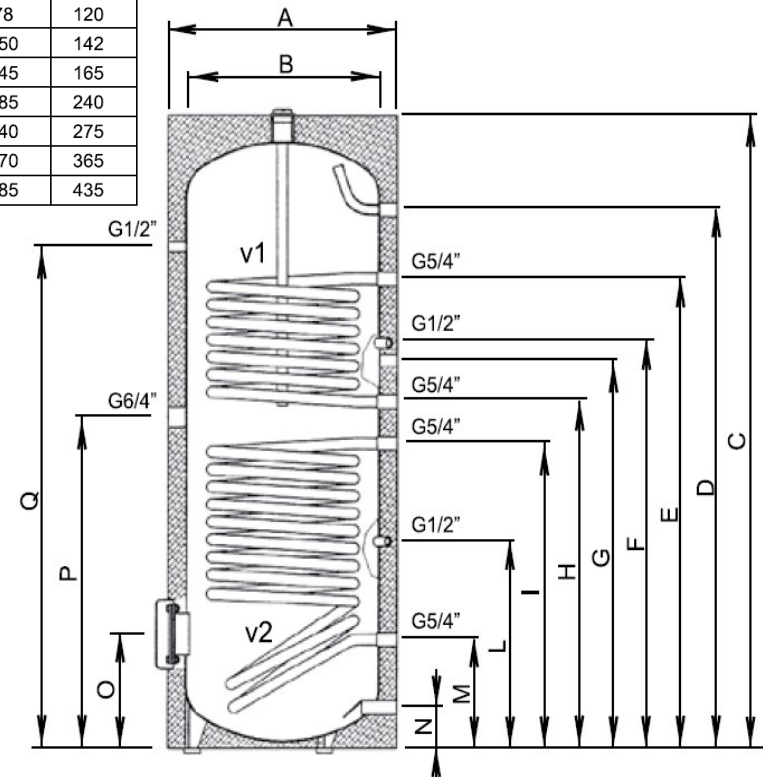
Přehled sortimentu solární techniky

ZÁSOBNÍKY



Zásobníkové ohřívače vody nepřímotopné se dvěma spirálovými výměníky Q7-ZDV

Typ ohřívače	N	O	P	Q	S1 (m ²)	S2 (m ²)	l/h - kW 80/60/45 °C		Kv1 (mbar)	Kv2 (mbar)	Hm. (kg)
							S1	S2			
Q7-200-ZDV	155-1"	302	705	1035	0,8	1,5	520-25	980-40	35	78	105
Q7-300-ZDV	155-1"	302	924	1450	1,0	1,5	640-25	980-40	42	78	120
Q7-400-ZDV	175-1"	322	900	1390	1,0	1,8	640-25	1320-52	42	150	142
Q7-500-ZDV	175-1"	310	910	1330	1,0	2,1	640-25	1450-58	42	245	165
Q7-800-ZDV	235-5/4"	390	975	1470	1,5	2,5	980-40	1750-70	78	285	240
Q7-1000-ZDV	235-5/4"	390	1095	1620	1,6	3,4	1050-42	2430-98	80	340	275
Q7-1500-ZDV	330-6/4"	580	1250	1745	2,0	4,0	1410-57	2950-120	245	470	365
Q7-2000-ZDV	370-6/4"	620	1240	1640	2,0	4,5	1410-57	3320-135	245	485	435





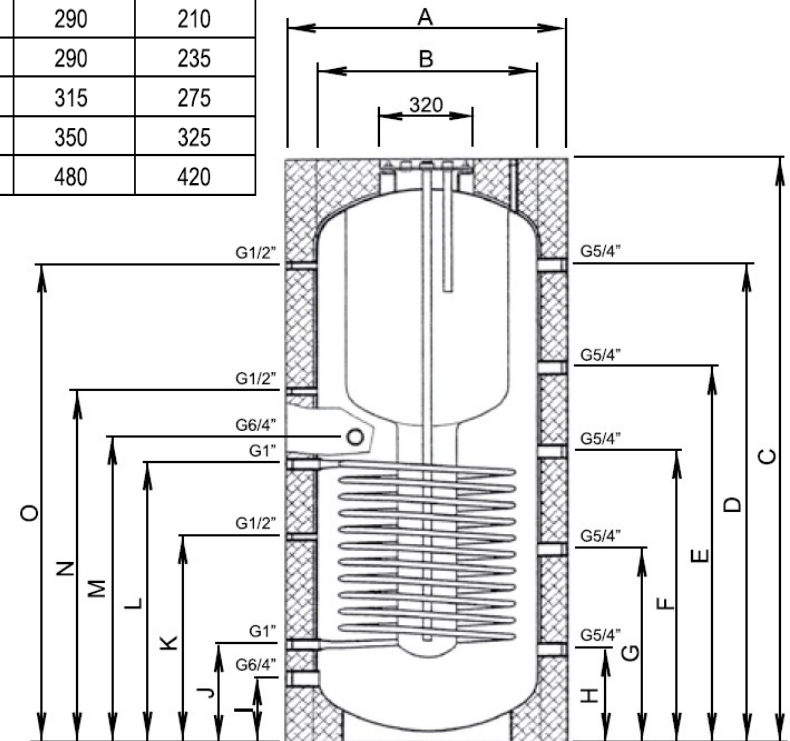
Přehled sortimentu solární techniky

ZÁSOBNÍKY



Zásobníkové ohřívače vody nepřímotopné s vnořenou nádobou
pro ohřev vody Q7-ZVN

Typ ohřívače	J	K	L	M	N	O	S (m ²)	Kv (mbar)	Hm. (kg)
Q7-500/180-ZVN	270	485	700	750	900	1400	2,5	290	210
Q7-800/230-ZVN	300	550	800	870	1000	1500	2,5	290	235
Q7-1000/250-ZVN	300	625	950	1050	1170	1700	3,0	315	275
Q7-1500/300-ZVN	350	600	900	1000	1170	1650	3,5	350	325
Q7-2000/400-ZVN	365	665	950	1100	1270	1745	4,5	480	420





Přehled sortimentu solární techniky

ČERPADLOVÉ JEDNOTKY



FV 70 Tacosol 4.0 ER
FV 70 Tacosol 4.0 ZR

Rozsah měření [l/min] (m ³ /h)	k _{VS} [m ³ /h]	Oběhové čerpdalo
1,5 – 6 (0,09 – 0,36)	1,5	WILO Star-ST 20/6
4,0 – 16 (0,24 – 0,96)	3,3	WILO Star-ST 20/6
4,0 – 16 (0,48 – 1,68)	3,5	WILO Star-ST 20/6

Tacosol EU21



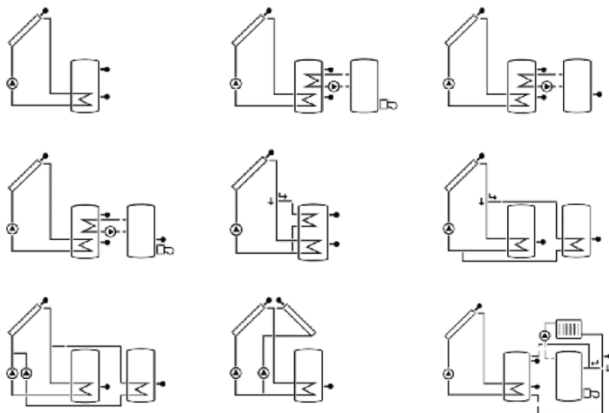
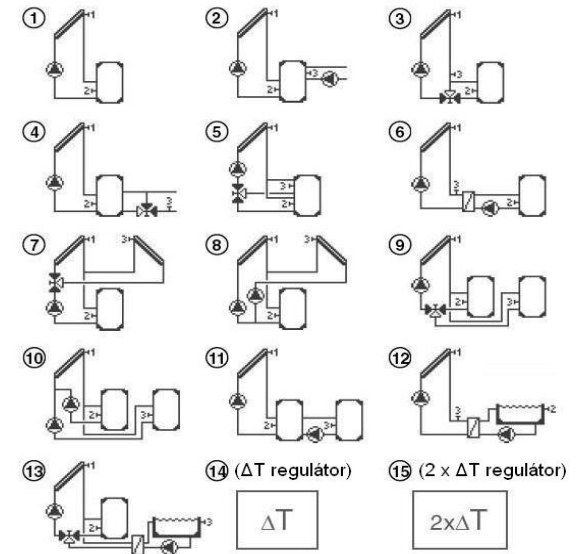
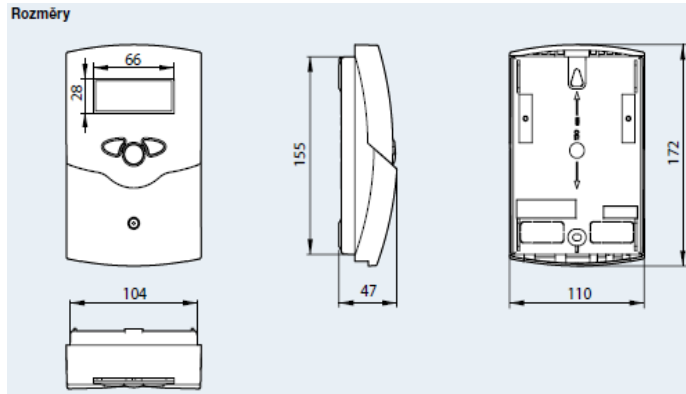


Přehled sortimentu solární techniky

REGULÁTORY



Solární regulátor RESOL DeltaSol® BS a DeltaSol® BS Plus



Solární regulátor SOREL TDC 1 a TDS 3

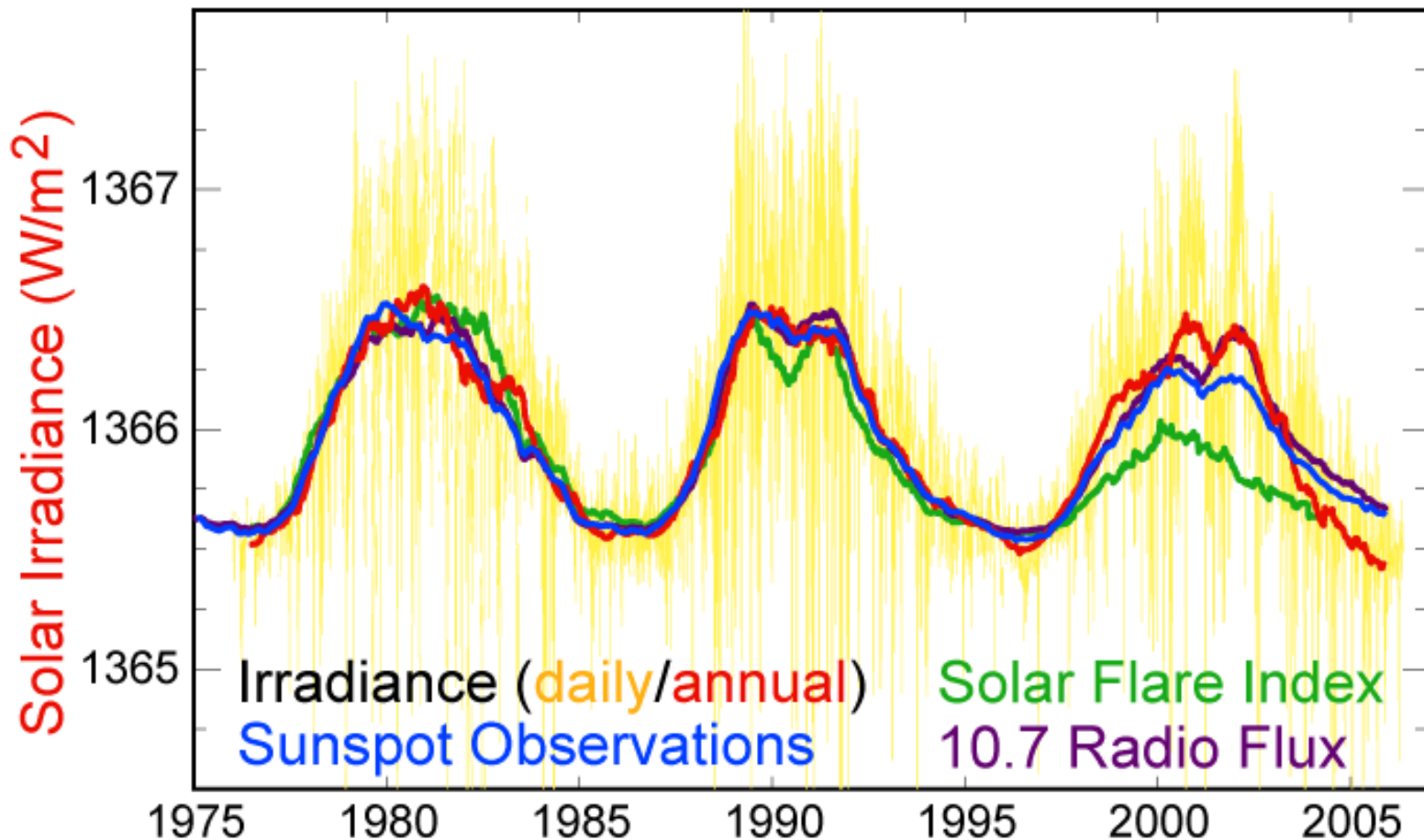




Děkuji za pozornost



Solar Cycle Variations

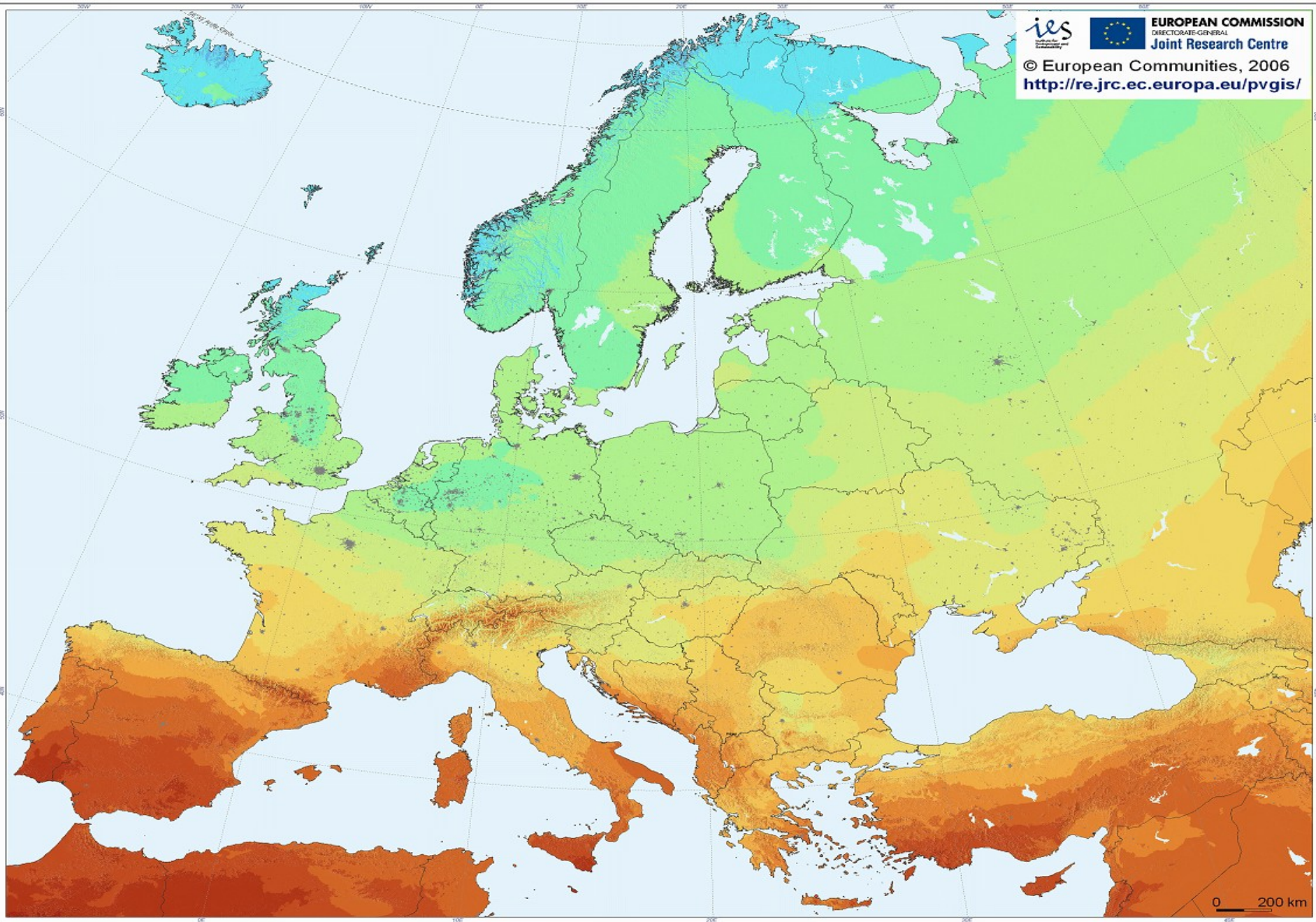




Součinitel znečištění



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>