

OPTIMALIZACE NÁVRHU SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ

Petr Kramoliš, Projekce OZE – solární systémy

OPTIMALIZACE NÁVRHU

Optimalizace : návrh prvků soustavy a jejich vzájemné sladění,
které odpovídá reálným potřebám investora

Koncepce – důsledné zjištění stávajícího stavu
návrh smysluplných potřeb přitápění

Realizační projekt – výběr komponentů – výpočty - realizace

Optimalizovaný návrh :

Výměníky tepla

Poměr velikosti kolektor.pole a zásobníku tepla

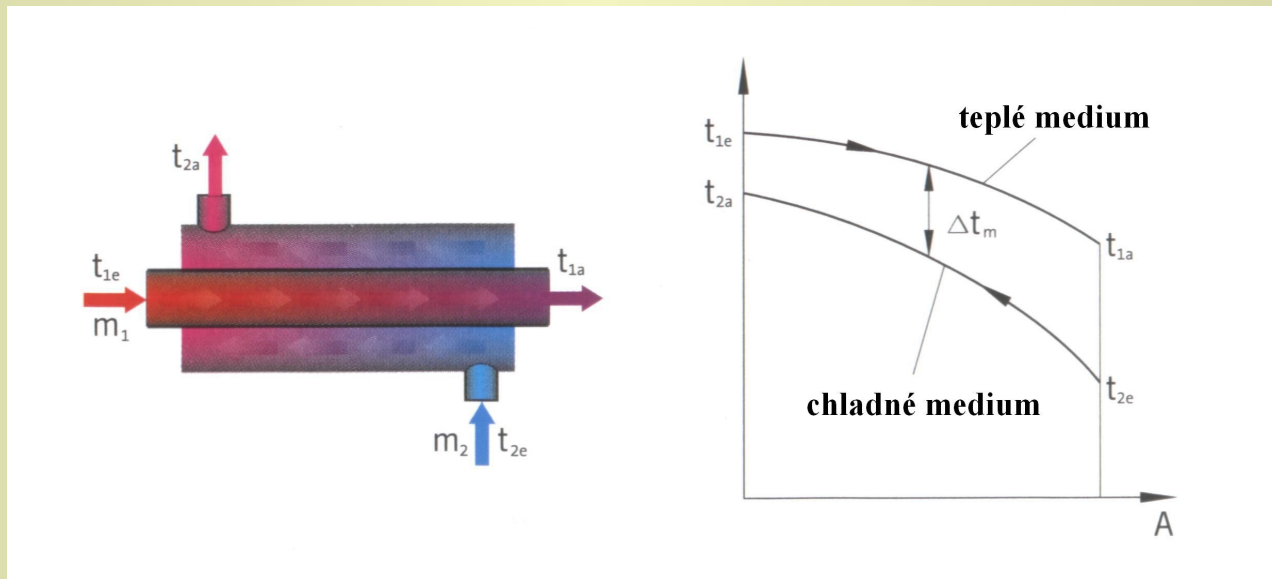
Zásobníky tepla včetně stratifikace

Regulace a řízení soustavy

Orientace kolektorového pole

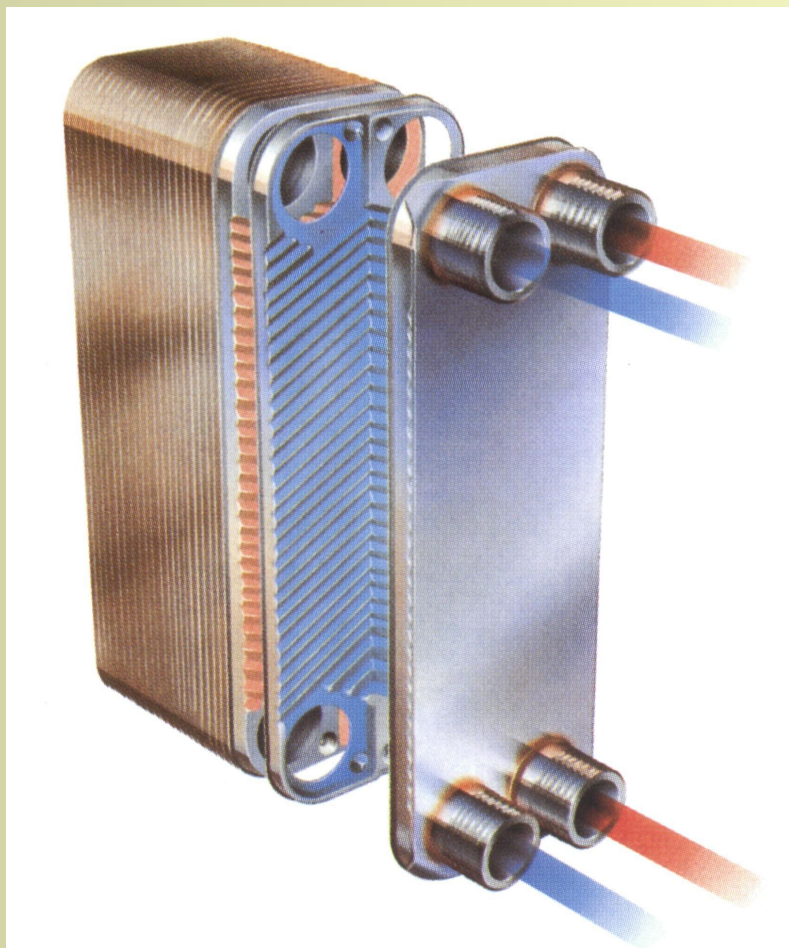
Teploty media v topném systému

Solární pokrytí spotřeby tepla

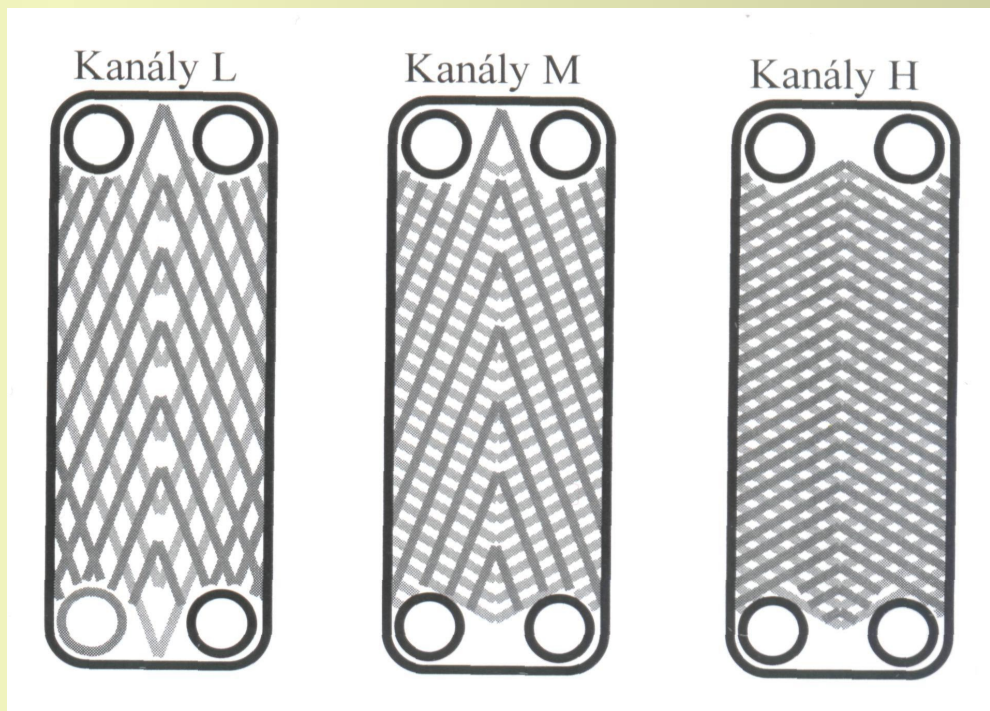


$$Q = k \cdot F \cdot \Delta T_m \quad \Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

- kde Q přenášený výkon [W případně kW]
 k součinitel prostupu tepla [W / m²k]
 F plocha tepelného výměníku [m²]
 ΔT_m střední logaritmická teplotní diference [K]
 ΔT₁ největší teplotní diference na tepelném výměníku [K]
 ΔT₂ nejmenší teplotní diference na tepelném výměníku [K]
 T_e, T_a vstupní a výstupní teploty příslušné teplotnosné kapaliny [°C]



Desky z různou mírou turbulence



Letovaný deskový výměník

Velikost výměníku :

„k“ – vyšší hodnota snižuje výhřevnou plochu

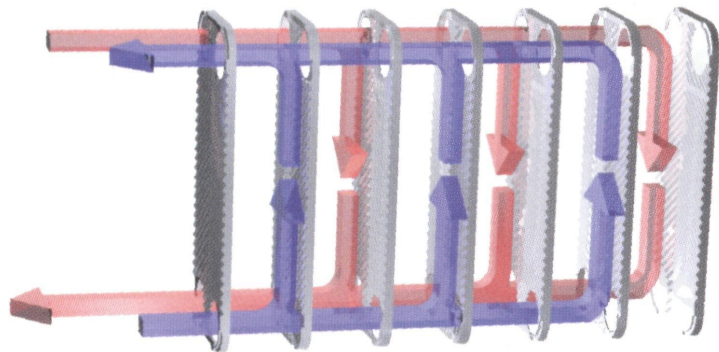
ΔT – vyšší hodnota snižuje výhřevnou plochu

NTU (Number of Transfer Units)

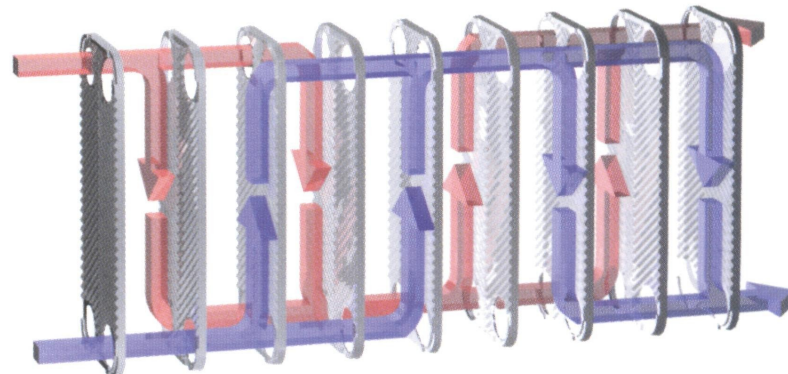
$$\text{NTU} = \frac{\Delta T}{\ln \Delta T} \quad (\Delta T \text{ menší z hodnot})$$

NTU = tepelné délka

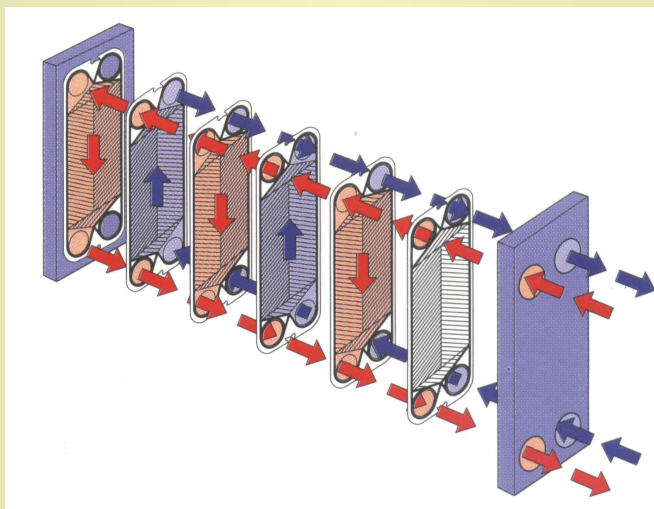
při velkém NTU : dvoj – třicestné (až sedmicestné u šroubových)



jednocestný



vícecestný



kvalitní návrh : $\Delta T = 5K$ (vliv na vyšší nabití zásobníku)

Výpočtová metoda 1 – malý $\ln \Delta T$ – rychlé nabití zásobníku, větší výhřevná plocha, menší průtokové množství (sekundární)

Low – Flow	600 W/m ²	15 lt/m ² h	Δt 39 K
High – Flow	600 W/m ²	30 lt/m ² h	Δt 19 K
High – Flow	600 W/m ²	45 lt/m ² h	Δt 13 K

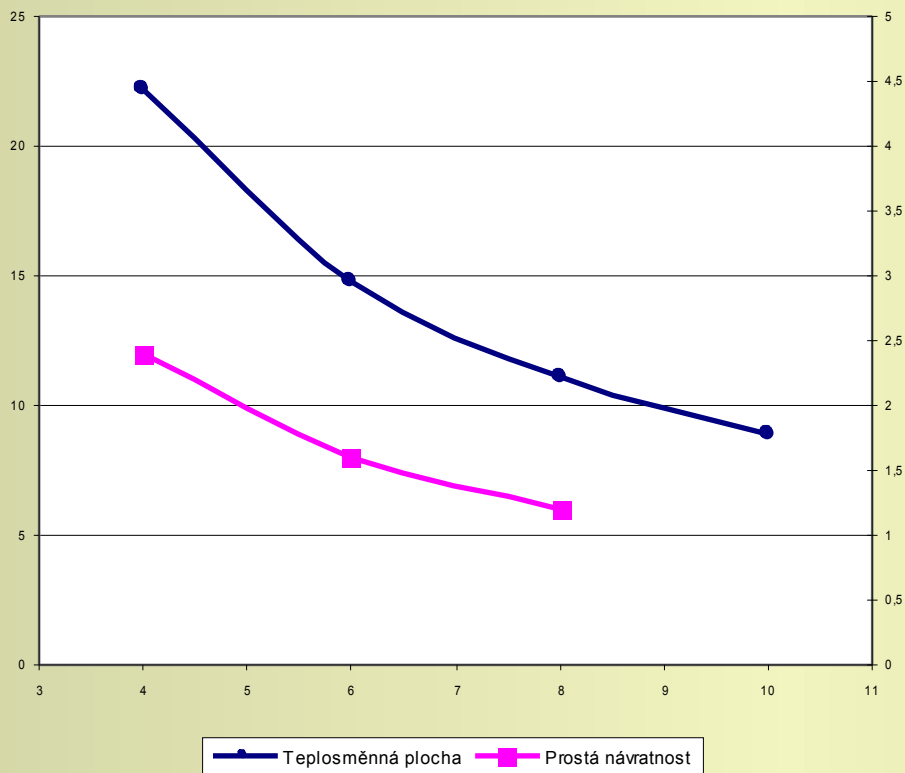
Výpočtová metoda 2 – větší $\ln \Delta T$ – menší plocha výměníku – vyšší průtoky (sekundární), vliv na primární zásobník

Výpočet 1	– vyšší investiční náklady	+ vyšší solární zisky
Výpočet 2	+ nižší investiční náklady	- nižší solární zisky

Při výpočtu s malými průtoky – zkontrolovat proudění v kanálech výměníku, zda je turbulentní – pokud není, skokový pokles

Příklad : výměník 240 kW (400 m² abs.plochy), k = 2 700 W/m²K

Rozdíl teplot	°C	10°	8°	6°	4°	Pozn.
Teplosměnná plocha	m ²	8,89	11,1	14,81	22,22	pro 240 kW
Poměr zvětšení pl.	%	100	125	166	250	
Poměr zmenšení Δt	%	100	80	60	40	
Prostá návratnost	r	/	1,2	1,6	2,4	

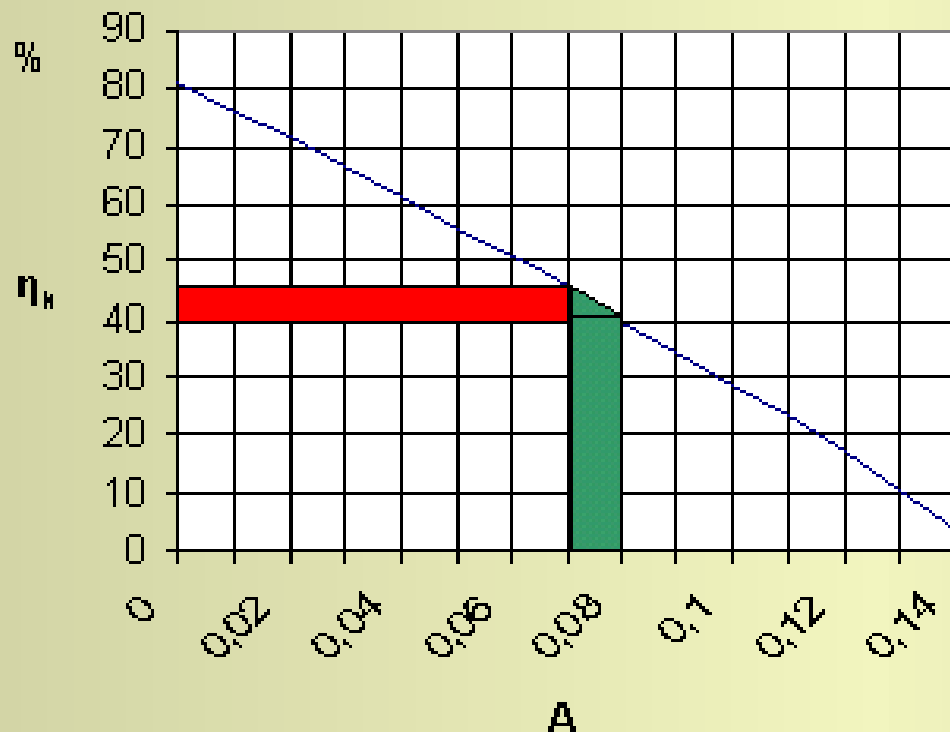


Návratnost – systémová cca 15 let (prostá)
Návratnost zvětš.výměníku 1,2 – 2,4 roku (prostá)

Výkon (kW) Typ výměníku	100 kW M6/49	150 kW M6/74	200 kW M6/99	250 kW M6/123
plocha celkem (m ²)	7,1	10,8	14,6	18,2
m ² / 1 kW	0,071	0,072	0,073	0,0728
cena m ² (z ceny souboru desek, Kč)	4 003	3 974	3 933	3 920
cena m ² (z ceny za výměník, Kč)	9 507	7 833	6 712	6 396
cena 1 kW (z ceny souboru desek, Kč)	284,2	286,1333	287,1	285,36
cena 1 kW (z ceny za výměník)	675	564	490	465,6
k (W/(m ² *K))	1 575	1 555	1 535	1 540
cena desky (Kč)	580	580	580	580
cena souboru desek (Kč)	28 420	42 920	57 420	71 340
cena celého výměníku (Kč)	67 500	48 600	98 000	116 400

Parametry deskového výměníku ALFA - LAVAL

Vliv teplot na η kolektoru



$$A = \frac{t_m - t_v}{I}$$

změna A 0,07 – 0,08 $\eta = 0,5 - 0,6 \%$

změna t_m o 1°C $\eta = 0,7 - 0,9 \%$
 o 2°C $\eta = 1,4 - 1,8 \%$
 o 4°C $\eta = 2,8 - 3,6 \%$

100% = 450 kWh/m²r

104% = 470 kWh/m²r

Poměr velikosti kolektorového pole a zásobníku tepla

a) Vysoká náhrada primární energie :

předpoklad : vysoké solární pokrytí – letní období 100% pokrytí – horší ekonomie
celoroční 55 – 70 % pokrytí

a) Nižší ceny solárního tepla :

předpoklad : vysoké využití systému – nižší pokrytí 15 – 45 %- vysoké solar.zisky

Zásadní : rozhodnutí investora má vliv na investiční náklad

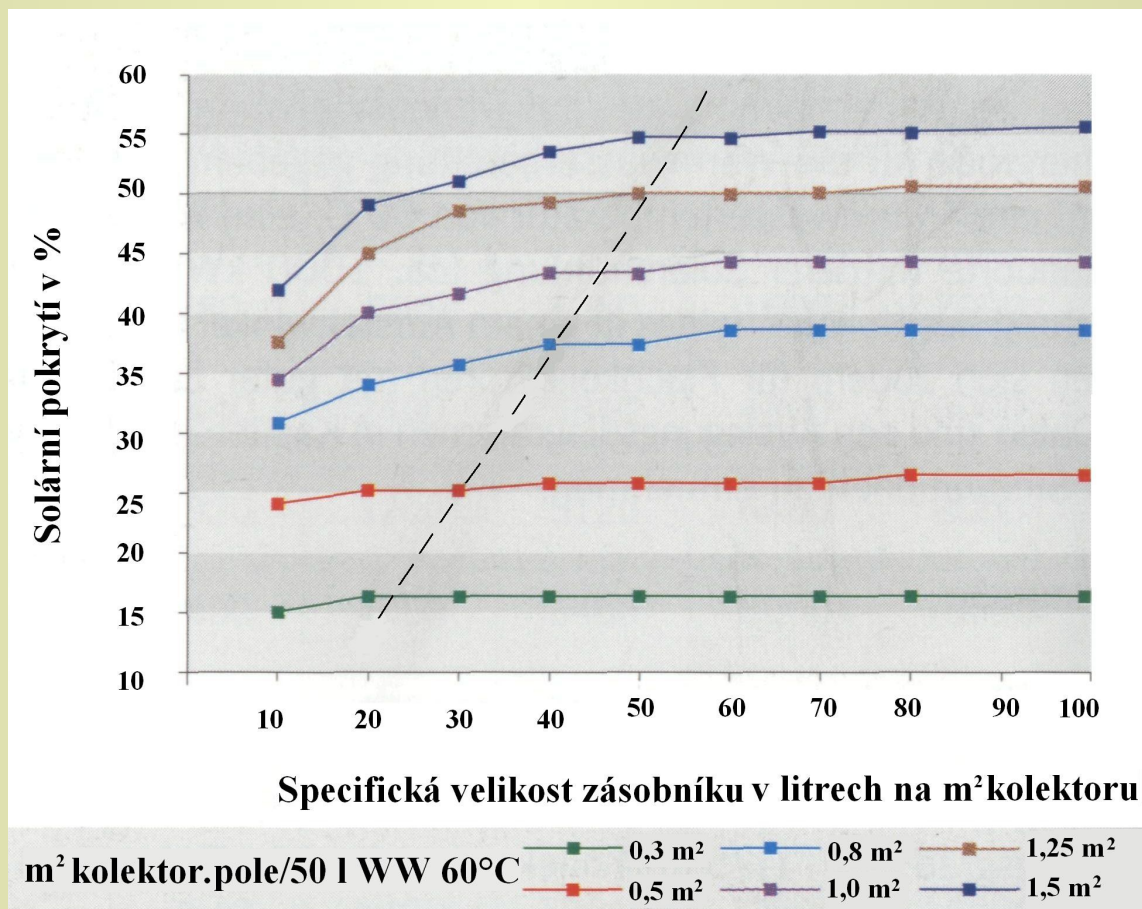
Pro další úvahy :

Kolektorové pole : velikost 0,5 – 1,5 m²/50 lt, den (60/10°C) tj. 2,9 kWh

Zásobník tepla : rozsah objemu 10 – 100 lt/m² kolektoru

Velikost vyrovn. zásobníku [l / m ²]	Kolektorové pole [m ²]					
	48	80	128	160	200	240
10	480	800	1280	1600	2000	2400
30	1440	2400	3840	4800	6000	7200
40	1920	3200	5120	6400	8000	9600
50	2400	4000	6400	8000	10000	12000
60	2880	4800	7680	9600	12000	14400
70	3360	5600	8960	11200	14000	16800
80	3840	6400	10240	12800	16000	19200
100	4800	8000	12800	16000	20000	24000

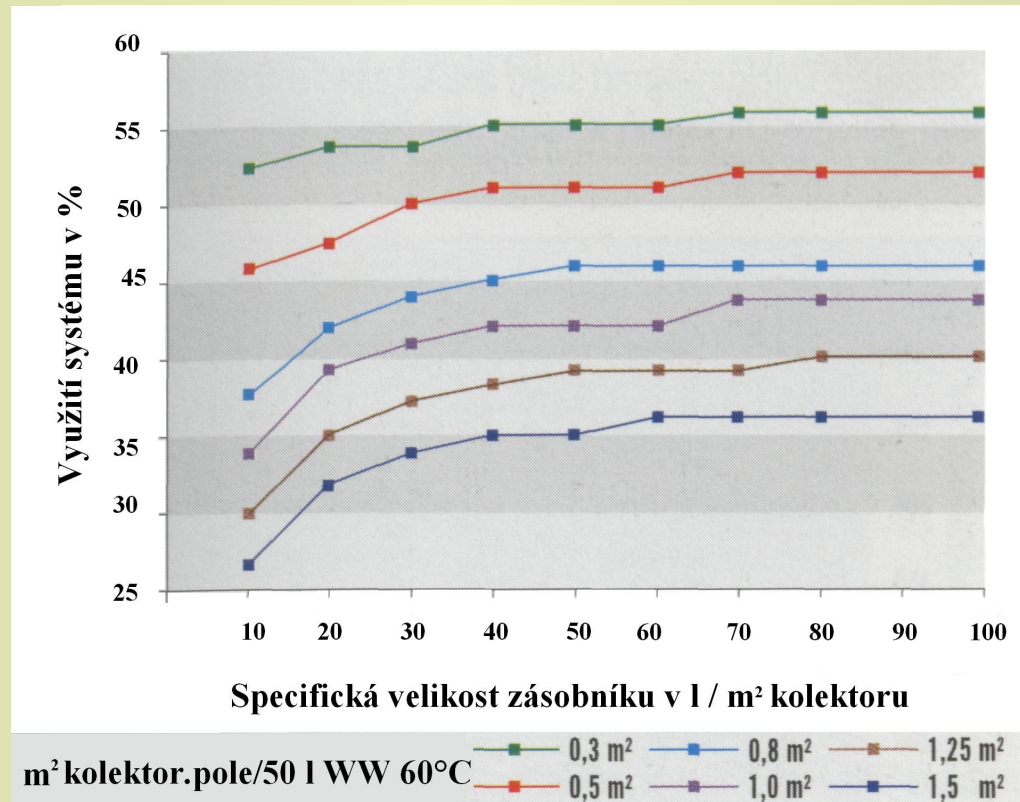
Předběžný návrh (grafy) – solární pokrytí



Větší abs.plocha kolektorů a větší zásobník = větší pokrytí

Pozor = ekonomická hranice

Využití systému

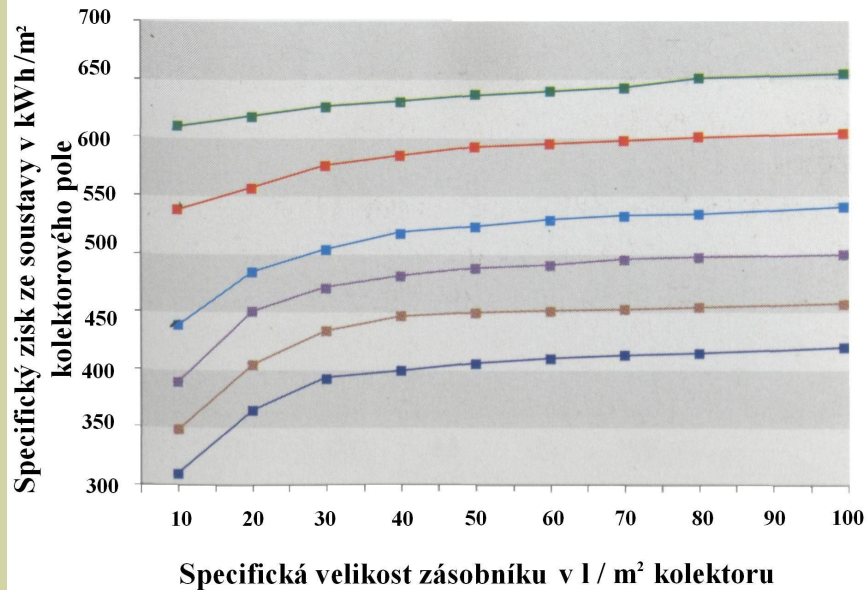


Využití systému se chová opačně k solár.pokrytí

Poddimenzování soustavy – nejvyšší využití – malé celk.zisky

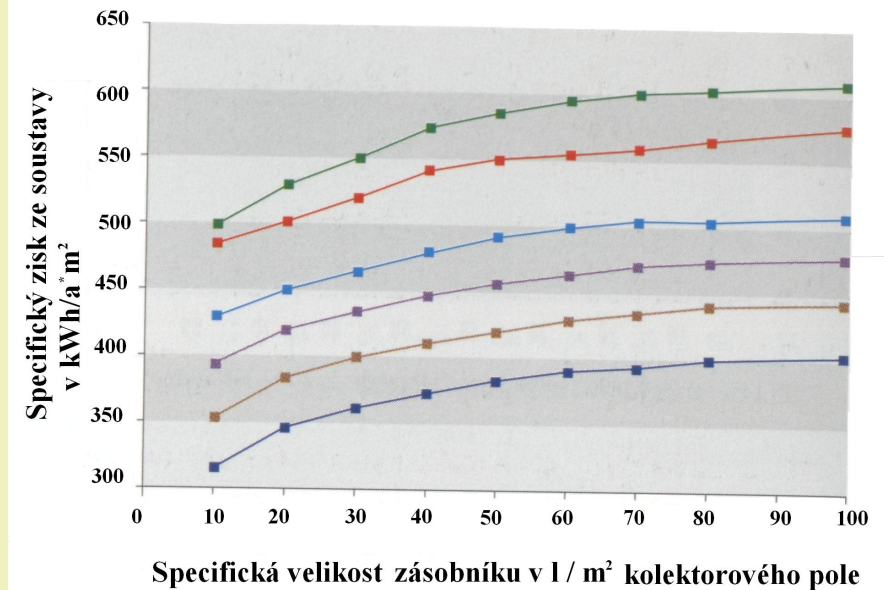
Předimenzování soustavy – menší využití – velké celk. zisky

Specifický roční solární zisk



m² kolektor.pole/50 l WW 60°C

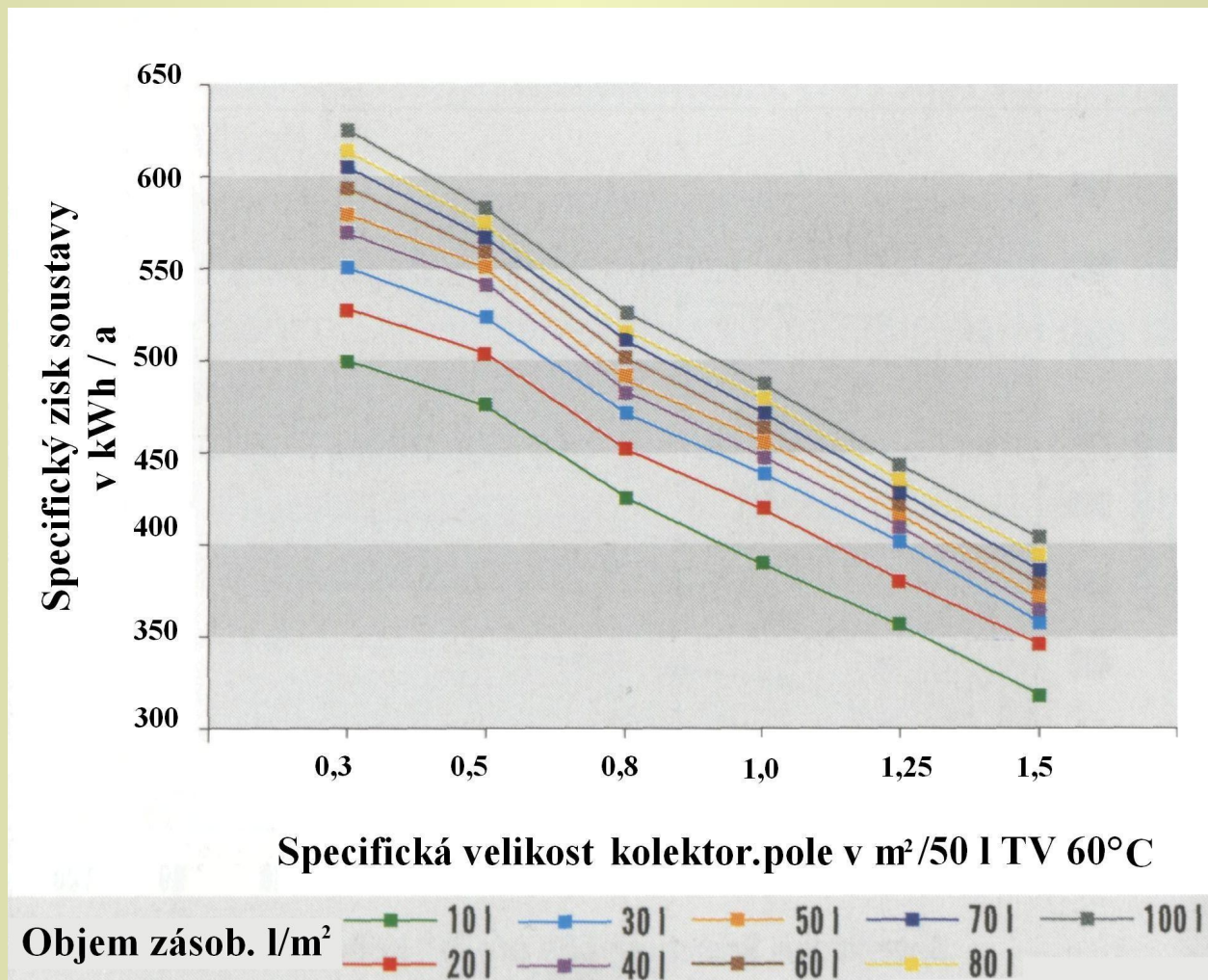
■ 0,3 m² ■ 0,8 m² ■ 1,25 m²
■ 0,5 m² ■ 1,0 m² ■ 1,5 m²



m² kolektor.pole/50 l WW 60°C

■ 0,3 m² ■ 0,8 m² ■ 1,25 m²
■ 0,5 m² ■ 1,0 m² ■ 1,5 m²

Vliv velikosti kolektorového pole na spec.zisk solární soustavy



Specifická velikost kolektor.pole v m²/50 l TV 60°C

Objem zásob. l/m²

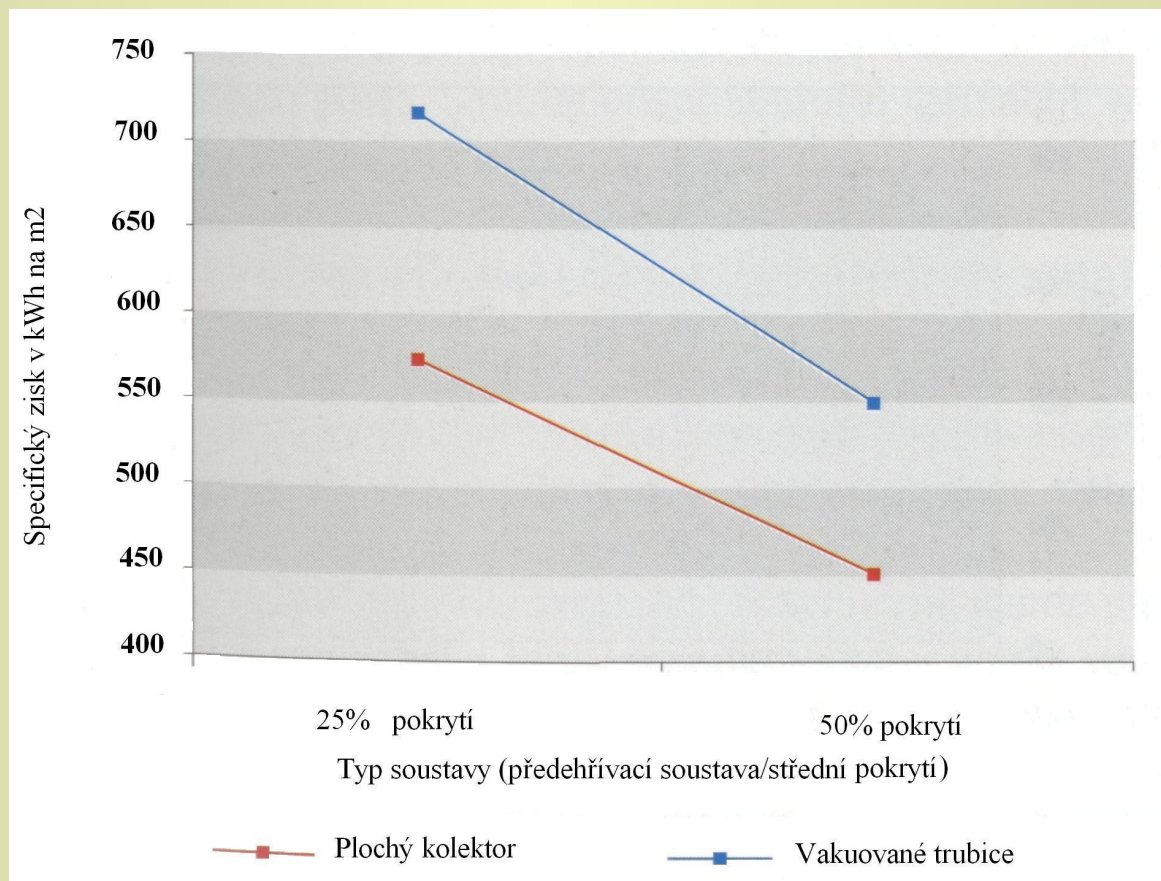
10 l	30 l	50 l	70 l	100 l
20 l	40 l	60 l	80 l	

Vliv víkendového snížení odběru tepla na měrný zisk

Specifická velikost zásobníku	Specifický zisk soustavy s využitím o víkendu	Specifický zisk soustavy s víkendovou dírou	Procentuální snížení zisku
30 l / m ²	573 kWh/a	522 kWh/a	9%
50 l / m ²	589 kWh/a	548 kWh/a	7%
70 l / m ²	596 kWh/a	563 kWh/a	5,5%

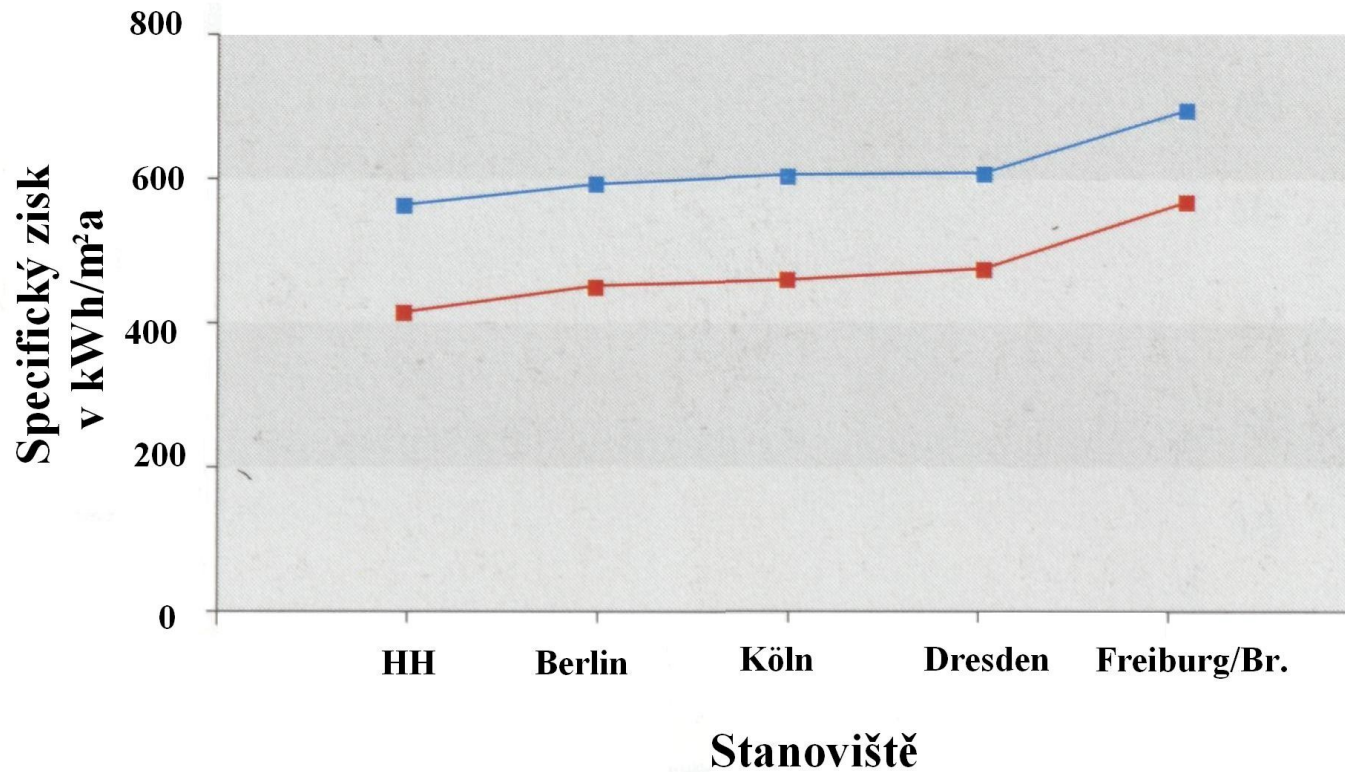
Zpracováno pro 0,5 m²/50 lt.d (60/10°C) a různé velikosti zásobníku
lokalita : Berlín – 52,5°s.š. (Praha 50°s.š.)

Vliv konstrukce kolektoru na solární zisk



při 50% pokrytí je zvětšení měrného solárního zisku o cca 23%
zvýšení – zásadní vliv izolační schopnosti vakuové trubice

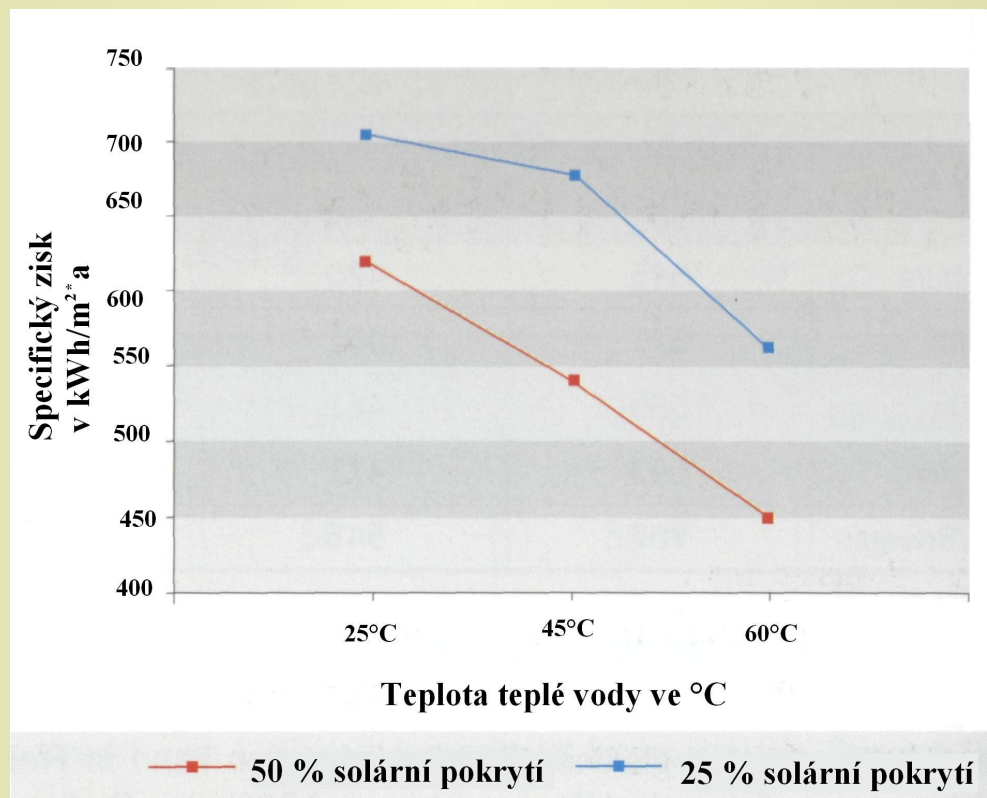
Vliv stanoviště na specifický solární zisk



% pokrytí ve srovnávané soustavě v Berlíně

—■— 50 % pokrytí
—■— 25 % pokrytí

Vliv teploty ohřívané vody na solární zisk



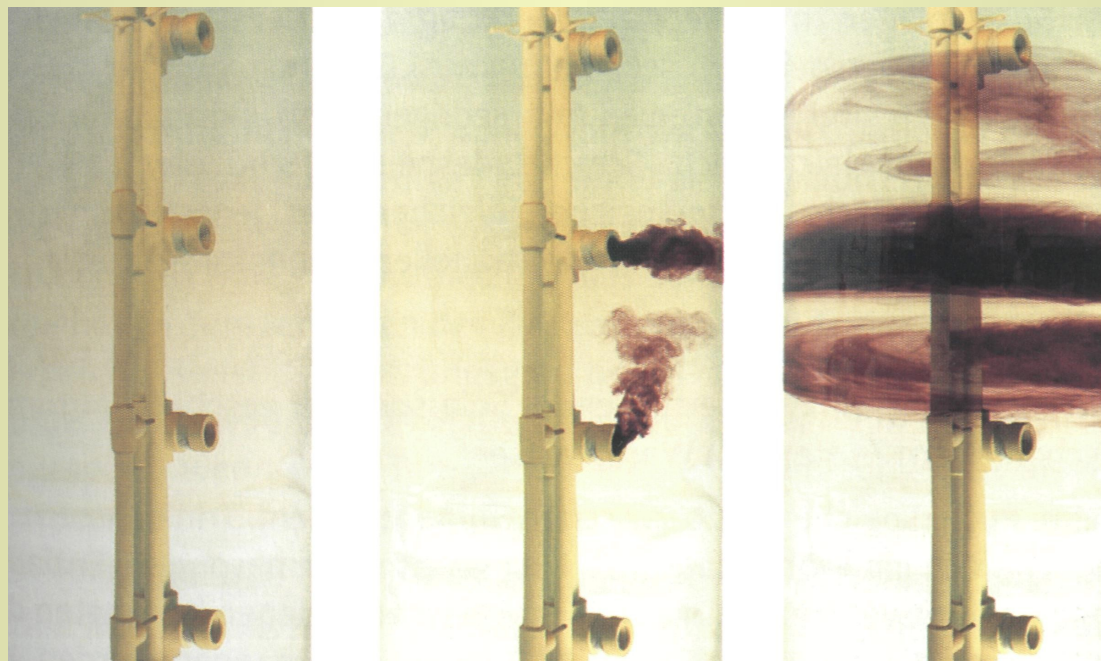
Simulace byla provedena pro soustavu s denní spotřebou teplé vody 8 000 lt.

Shrnutí – měrný zisk kolektoru stoupá se snižujícím se solárním pokrytím a nižší teplotou požadované teplé vody.

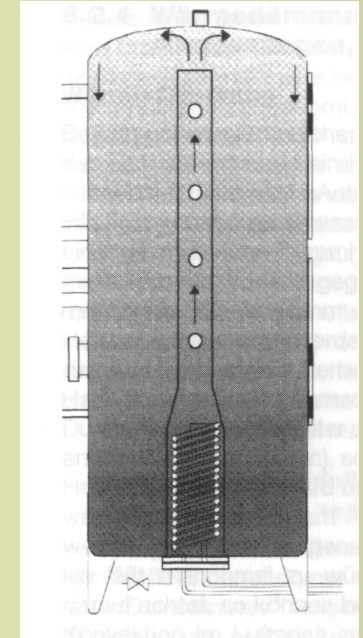
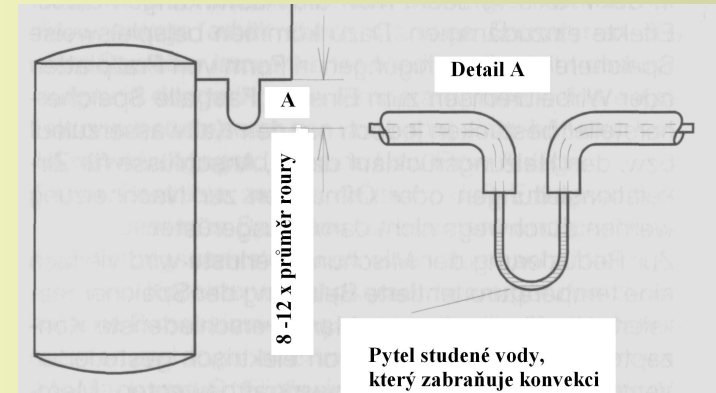
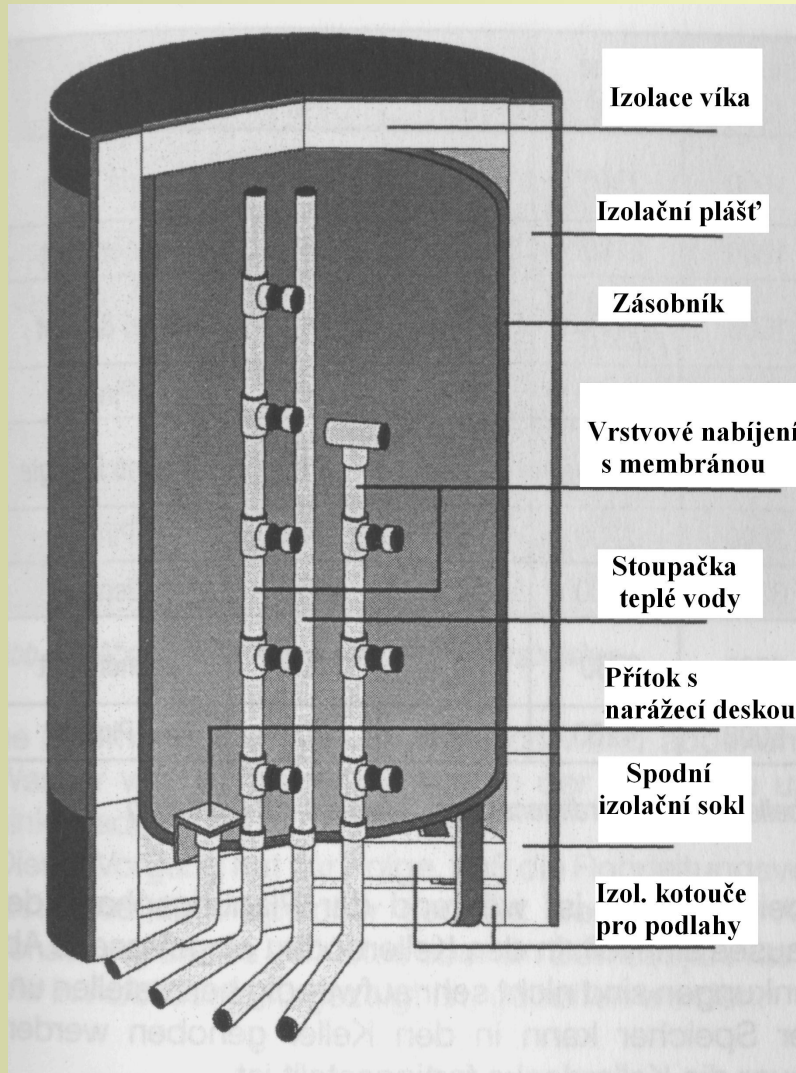
Zásobníky tepla

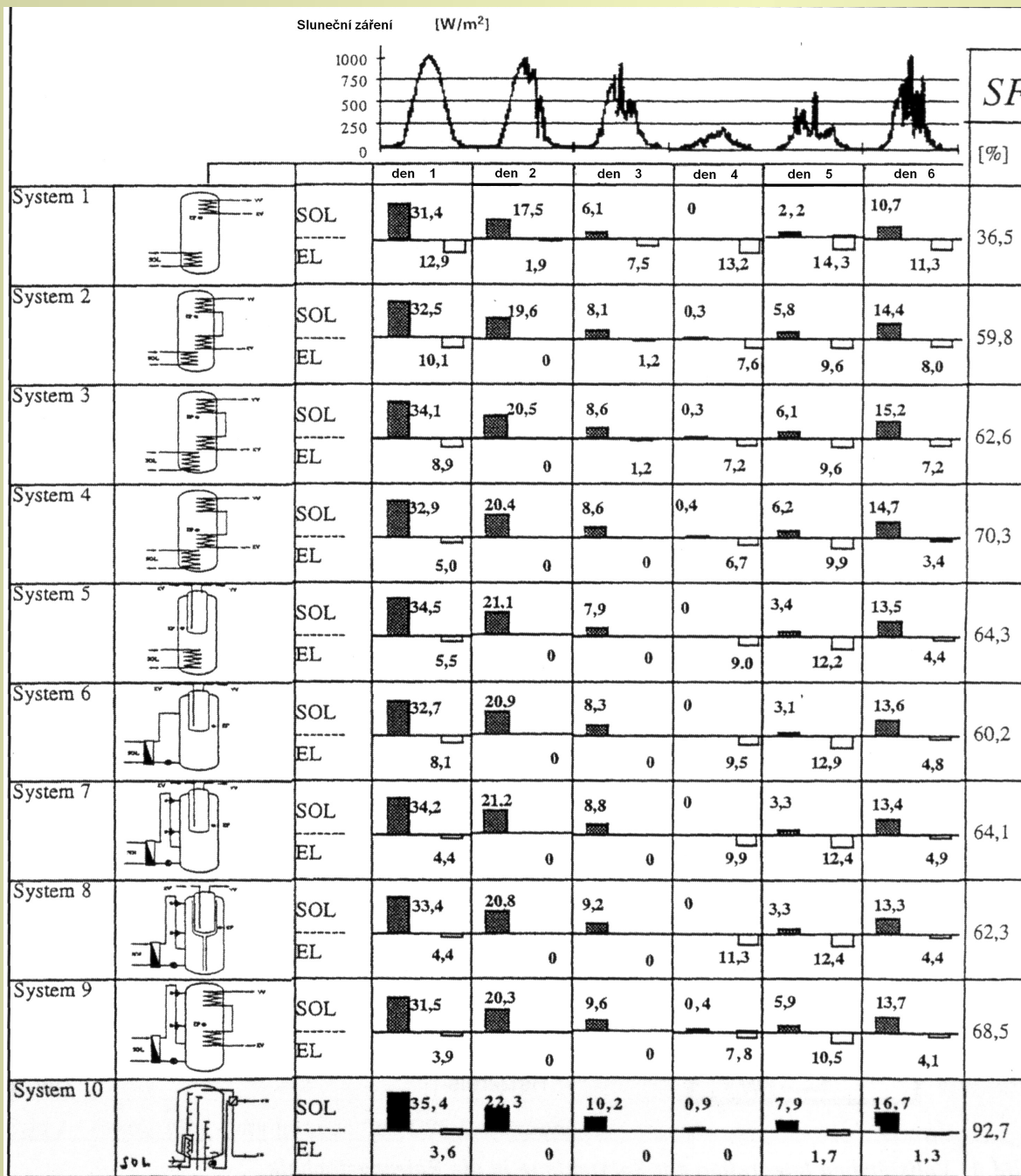
Solární zisk závisí nejen na η kolektorů, ale také na kvalitě zásobníku. Solární zisk může dobrá stratifikace zvýšit o cca 15%.

Stratifikace :



Stratifikační zásobníky





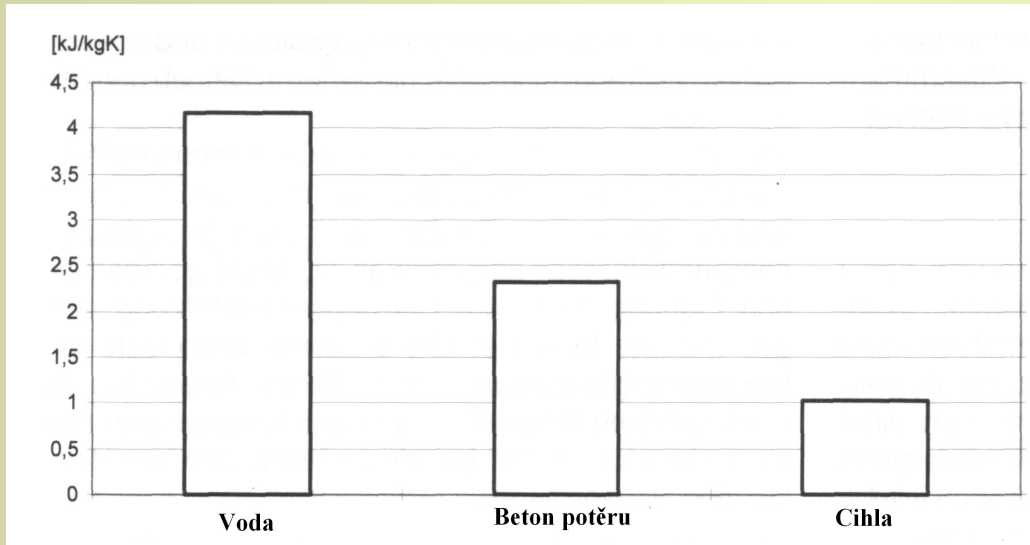
Posouzení různých typů zásobníků

Testování proběhlo na reálném solárním systému s 10 m² abs.kolektor.plochy.

SF – solární pokrytí

EL – dohřívání na požadovanou teplotu el.energií

Srovnání látek s různou tepelnou kapacitou



měrná tepelná kapacita vody

měrná tepelná kapacita tuhého chloridu

měrné skupenské teplo tání chloridu

hustota tekutého chloridu

hustota vody

teplota tuhnutí chloridu

$$c_v = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$c_{\text{pcm}} = 1,40 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$l_{\text{pcm}} = 192 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\rho_{\text{pcm}} = 1530 \text{ kg.m}^3$$

$$\rho_v = 1000 \text{ kg.m}^3$$

$$t_{\text{pcm}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

PCM (Phase Change Material)
– využití latentního
(skupenského) tepla

Ochlazením 1 lt chloridu vápenatého při teplotě těsně nad bodem tuhnutí na 20°C se uvolní tolik tepla jako při ochlazení vody z 94°C na 20°C.

























Děkuji za pozornost

Petr Kramoliš, Projekce OZE
Slavíkova 6143, Ostrava – Poruba
Tel. : 596 927 121
e - mail : kramolis@mybox.cz