



1/61

## Stagnační chování solárních soustav a vliv na návrh jejich prvků

- stagnace
- teplotná kapalina
- potrubí
- tepelné izolace
- pojistný ventil
- expanzní nádoba



2/61

## Potrubí a izolace pro solární soustavy

- požadavky
- materiály
- návrh světlosti potrubí
- návrh tloušťky izolace



## Potrubí a izolace

3/61



## Obecné požadavky

4/61

- **funkčnost**
  - musí odpovídat typu a použití soustavy
- **životnost**
  - odolnost vůči tlakům a teplotám, stárnutí, atmosférickým vlivům
- **energetická náročnost**
  - potrubí – nízké třecí ztráty (drsnost), vliv na spotřebu čerpací práce a el. energie pro pohon čerpadel
  - tepelná izolace – nízké tepelné ztráty, vliv na účinnost a zisky soustavy, potřebu záložní energie



## Potrubí - materiály

5/61

- **plastové (EPDM)**
  - pouze bazénové aplikace
  - EPDM, polypropylen, polyester, polyetylen
  - s ochranou proti UV záření



## Potrubí - materiály

6/61

- **měděné potrubí**
  - nízká drsnost ( $k = 0,001 \text{ mm}$ ), neovlivňuje zpravidla součinitel třecí tlakové ztráty (laminární proudění)
  - (+) jednoduché spojování (pájení, lisované spoje)
  - (+) stejný materiál jako kolektory, nulový el.-chem. potenciál
  - (-) cena, zvláště při  $d > 28 \text{ mm}$





## Potrubí - materiály

7/61

- **ocelové bezešvé**
  - vyšší drsnost ( $k = 0,02 \text{ mm}$ ), neovlivňuje zpravidla součinitel třecí tlakové ztráty (laminární proudění)
  - (-) svařování, závity
  - (- - -) pozinkované chemické reakce zinek-glykol
  - (+) cena, zvláště při větších světlostech



## Potrubí - materiály

8/61

- **nerez ocel (vlnovec)**
  - (-) vyšší tlakové ztráty
  - (-) cena
  - (+) hygienický atest pro pitnou vodu
  - (+) ohebné ( $r_o = 2D$ ), tvarovatelné (kombiflex)
  - (+) rychlá a jednoduchá montáž

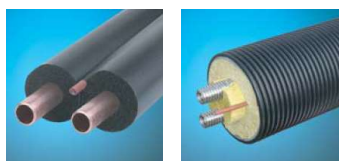
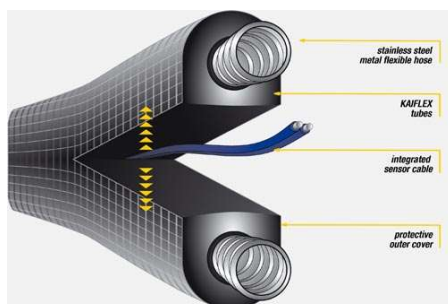




## Potrubí - materiály

9/61

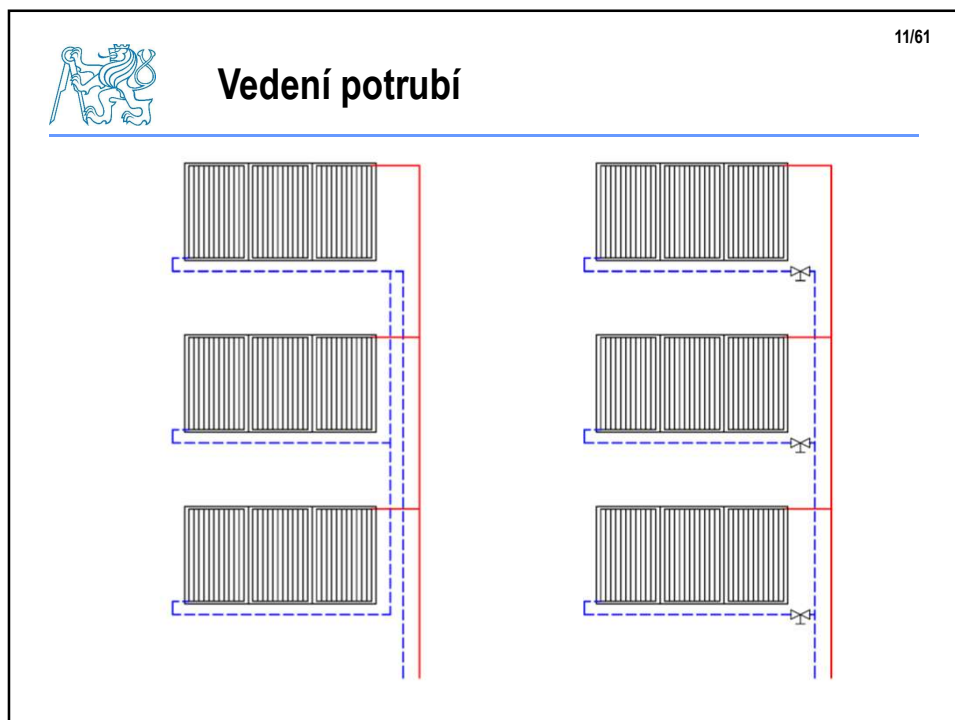
- **kompaktní potrubní systémy**
  - flexi nebo Cu potrubí  
minerální nebo kaučuková izolace  
kabel čidla
  - ochranná vrstva



## Vedení potrubí

10/61

- **vedení potrubí**
  - výstupní potrubí vést co nekratší cestou (tepelné ztráty)
  - Tichelmannův rozvod na **vstupním** potrubí do kolektoru  
nebo
  - vyvažovací ventily (teplotní odolnost !)
  - co nejméně potrubí ve venkovním prostředí (odolná izolace)
  - potrubí nevést v nejvyšším místě (korozní potenciál)
  - řádné odvzdušnění soustavy



12/61

## Vedení potrubí

- **délková dilatace – tepelná roztažnost**
  - pevné body x dilatační prvky (U smyčky, ohyby, kompenzátory)
  - zpravidla každých 10 až 15 m

KLUZNÉ ULOŽENÍ

KOMPENZÁTOR

PEVNÝ BOD



13/61

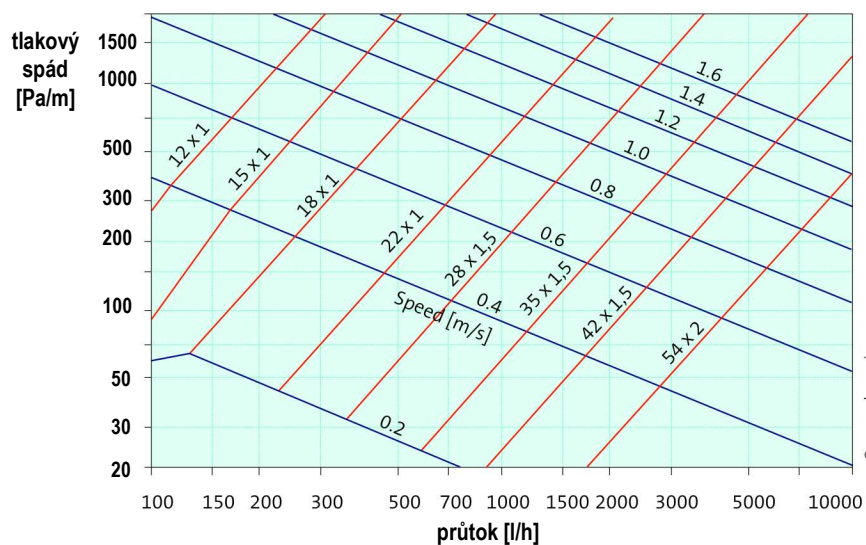
## Návrh světlosti potrubí

- požadovaný průtok kolektorovým polem
  - soustavy s nízkým průtokem (**low-flow**): 10 až 15 l/h.m<sup>2</sup>  
vysoké  $\Delta T$  na kolektorech 25 až 40 K
  - soustavy s vysokým průtokem (**high-flow**): 50 až 70 l/h.m<sup>2</sup>  
nízké  $\Delta T$  na kolektorech 5 až 10 K
- ekonomická rychlost, ekonomický tlakový spád
- rychlost v potrubí 0,2 až 0,6 m/s (analogicky jako u otopných soustav)



14/61

## Návrh světlosti potrubí





15/61

## Návrh světlosti potrubí

**Návrhové tabulky** (tlakový spád, rychlost, průtok, světlost)

**voda:**

Laboutka, K., Suchánek, T.: *Výpočtové tabulky pro vytápění (Sešit projektanta č. 9)*. Společnost pro techniku prostředí, Praha 2001.

**propylenglykol-voda (Solaren):**

Kramoliš, P., Vrtek, M.: *Tabulky pro stanovení hydraulické ztráty třením v kruhovém potrubí a hydraulické ztráty místními odpory při proudění teplotně kapalinou Solaren*. Technické vydavatelství Praha, 2004. ISBN 80-803261-1-0

**analytické vztahy (etylenglykol, propylenglykol):**

Matuška, T.: *Solární tepelné soustavy*. Sešit projektanta č. 1. STP 2009.

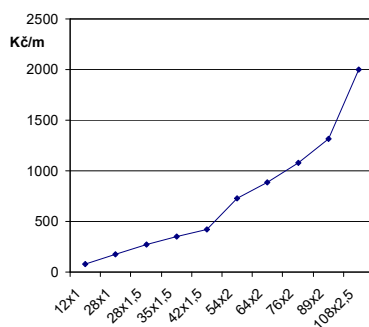


16/61

## Návrh světlosti potrubí

- **požadovaná max. světlost potrubí**

- světlosti Cu potrubí > 28 x 1.5 mm velmi drahé
- dělení primárního okruhu do větví



- **požadovaný objem potrubí**

- objem potrubí jako ochrana expanzní nádoby proti pronikání páry při stagnaci
- $V_p = V_k$





17/61

## Tepelná izolace - požadavky

- **odolnost vůči teplotám**
  - v blízkosti kolektoru: stagnační teploty  
minimálně 150 °C až 250 °C
  - vzdálenější místa:  
provozní teploty max. 120 °C



18/61

## Tepelná izolace - požadavky

- **odolnost vůči venkovnímu prostředí**
  - vlhkost  
zvýšení tepelných ztrát  
degradace izolace  
**nenasákavá izolace**
  - UV záření  
(-) kaučukové izolace
  - ptáci, hlodavci  
vyzobávání, vykusování  
(-) kaučukové izolace





19/61

## Tepelná izolace – materiály

- **EPDM pěny, syntetický kaučuk**

- (+) nízká tepelná vodivost
- (+) nenasákavost  
uzavřená struktura
- (+) UV ochrana
- (-) potrava pro ptáky
- teplotní odolnost:  
170 °C krátkodobě  
130 °C dlouhodobě

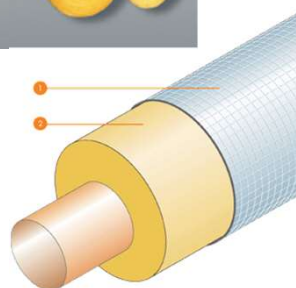


20/61

## Tepelná izolace – skelná vlna

- **skelná a minerální vlna**

- (+) odolnost vůči UV záření
- (-) otevřená struktura  
nutnost uzavírat do krytu,  
hliníková folie, oplechování
- (+) dlouhodobá odolnost do  
280 °C





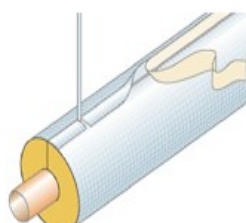
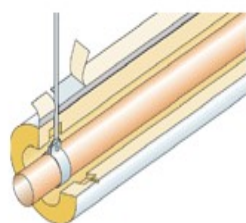
## Tepelná izolace – oplechování

21/61



## Tepelná izolace – tepelné mosty

22/61



úchyty, objímky  
armatury  
čerpadla  
výměníky tepla



## Návrh tloušťky izolace

23/61

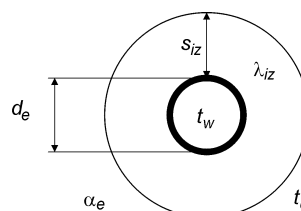
### legislativa pro tepelné soustavy

- vyhláška 193/2007 Sb.
- požadavek na minimální součinitel prostupu tepla  $U$  [W/m.K]

Cu $d_e$ [mm]	požadavek $U_N$ [W/m <sup>2</sup> .K]	0,035 $s_{iz}$ [mm]	0,040 $s_{iz}$ [mm]
18	0,15	25	34
22	0,15	32	43
28	0,18	29	38
35	0,18	38	48
42	0,18	46	59

$$U = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_{iz}} \ln\left(\frac{d_e + 2 \cdot s_{iz}}{d_e}\right) + \frac{1}{\alpha_e} \cdot \frac{1}{(d_e + 2 \cdot s_{iz})}}$$

$$\dot{Q}_z = U \cdot L \cdot (t_w - t_e)$$



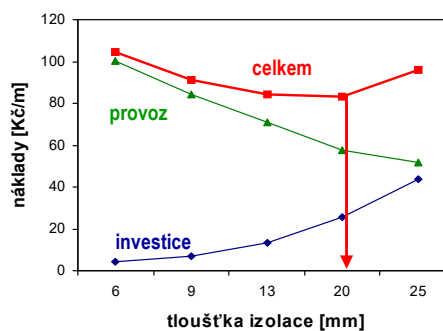
## Návrh tloušťky izolace

24/61

### optimalizační výpočet

(vyhláška 193/2007, § 2, odst. 3)

- cena izolace
- cena solárního tepla
- hospodárná tloušťka izolace



### typické hodnoty

- tloušťka izolace = světlost potrubí

$d_e$ [mm]	$s_{iz}$ [mm] *
< 22	20
28 až 42	30
> 42	$s_{iz} = d_e$

\* ČSN EN 12976-2: Tepelné solární soustavy a součásti - Soustavy průmyslově vyráběné. Kapitola 12. ČNI 2006



25/61

## Pojistná a zabezpečovací zařízení

- tlaky v solární soustavě
- pojistný ventil
- expanzní nádoba



26/61

## Pojistná a zabezpečovací zařízení

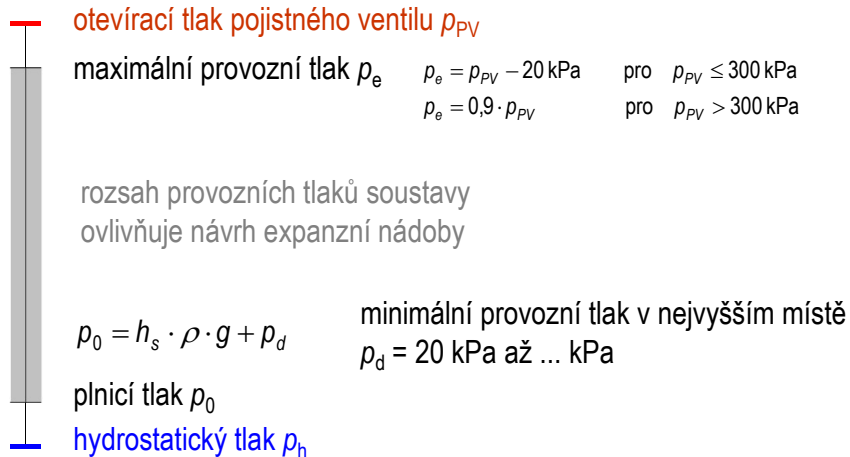
- **pojistný ventil**
  - chrání primární okruh solární soustavy proti nedovolenému tlaku
- **expanzní nádoba**
  - umožňuje změny objemu teplotnosné kapaliny vlivem tepelné objemové roztažnosti bez nedovoleného zvýšení tlaku a zbytečných ztrát kapaliny způsobených otevřením pojistného ventilu **a to ani v případě stagnace**

neexistují zvláštní normy pro jejich návrh v solárních soustavách,  
analogie s klasickými topenářskými, úprava vzhledem k odlišnostem



## (Pře)tlaky v solární soustavě

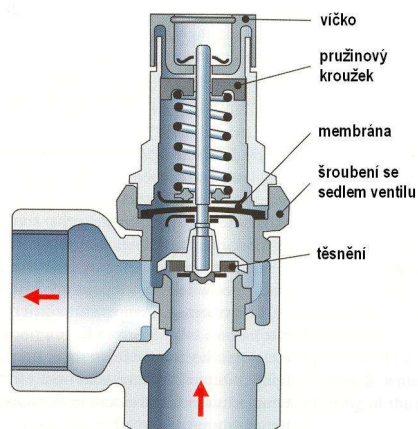
27/61



## Pojistný ventil

28/61

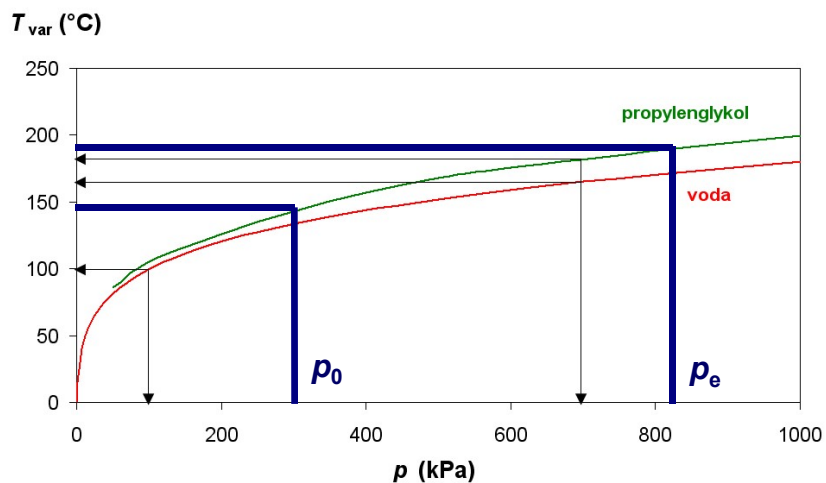
- volba pojistného tlaku
  - musí respektovat tlakovou odolnost prvků soustavy
  - ovlivňuje velikost expanzní nádoby
  - musí odpovídat volbě strategie potlačení nepříznivých účinků stagnace
    - s změnou skupenství
    - beze změny skupenství





## Teplota varu

29/61



## Pojistný výkon

30/61

- maximální tepelný výkon kolektorového pole při  $G = 1000 \text{ W/m}^2$

$$\dot{Q}_p = \eta_0 \cdot A_k \cdot G$$

- vnitřní průměr pojistného potrubí

$$d_p = 15 + 1,4 \sqrt{\dot{Q}_p}$$

ne méně než 19 mm



31/61

## Pojistný ventil - určení velikosti

- stanovení průřezu pro odvod výkonu v páře

- výpočet průtočného průřezu sedla ventilu

$$S_o \geq \frac{\dot{Q}_p}{\alpha_v \cdot K} \quad \text{mm}^2$$

$\alpha_v$  výtokový součinitel [-]

$K$  konstanta (k dispozici pro sytou vodní páru), [kW/mm<sup>2</sup>]

$\dot{Q}_p$  pojistný výkon [kW]

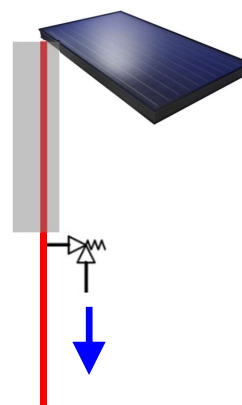
<b>p<sub>ot</sub> [kPa]</b>	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1000
<b>K [kW.mm<sup>-2</sup>]</b>	1,12	1,26	1,41	1,55	1,69	1,83	1,97	2,1	2,37	2,64	2,91	3,18



32/61

## Umístění pojistného ventilu

- pojistný ventil musí být umístěn v **pojistném úseku**
- zajištěn volný odtok, bez akumulace nečistot
- musí být **pravidelně kontrolován**
- ČSN EN 12828**
  - v pojistném úseku **nesmí být uzavěř**
  - pojistný úsek – tlaková ztráta nesmí přesáhnout 3 % otevíracího přetlaku při požadovaném průtoku







33/61

## Umístění pojistného ventilu

- pojistný průtok (pro páru)

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{Q}_p \text{ [kW]}}{r_p \text{ [kJ/kg]}} \text{ [kg/s]}$$

$r_p$  výparné teplo páry při otevíracím tlaku [kJ/kg]

$$r_p = 0.58 \text{ kWh/kg}$$

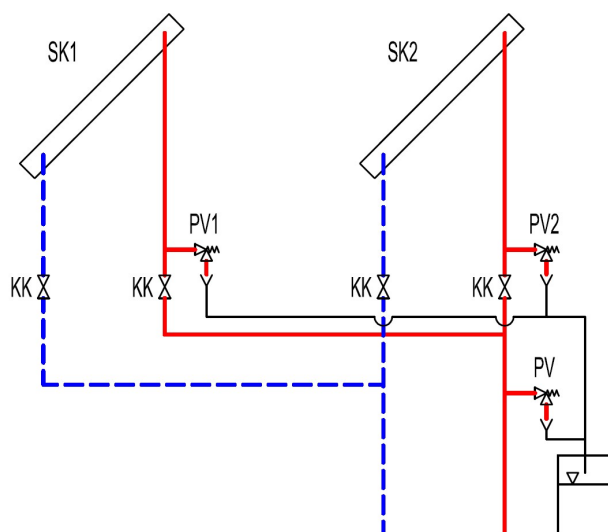
$$\rho = 0.395 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 4.1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$



34/61

## Umístění pojistného ventilu

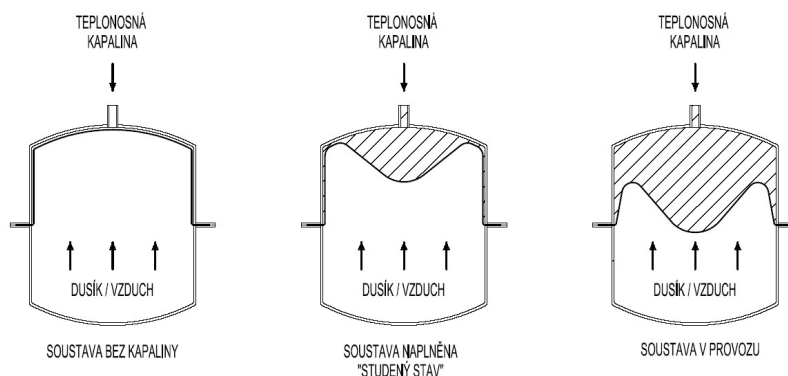




## Expanzní nádoba

35/61

- uzavřené soustavy
  - tlaková expanzní nádoba s membránou

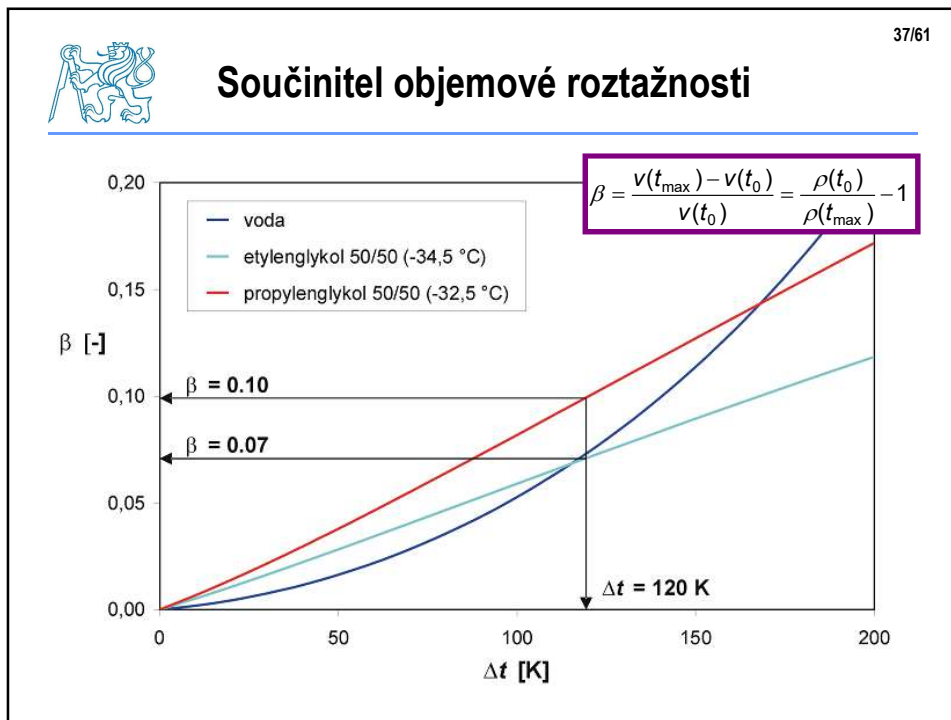


## Návrh expanzní nádoby

36/61

- minimální objem expanzní nádoby
  - min. objem kapaliny v EN ve studeném stavu  $V_s$ 
    - 2 % objemu solární soustavy, min. 2 litry
  - změna objemu kapaliny v solární soustavě  $V$  objemovou roztažností  $\beta$  z teploty  $t_0 = 10 \text{ °C}$  na  $t_{\max} = 90 \text{ až } 130 \text{ °C}$
  - pohlcení objemu kolektorů  $V_k$  vytlačeného při stagnaci (případně i přívodních potrubí – změna v parní skupenství)

$$V_{\text{EN,min}} = V_s + V \cdot \beta + V_k$$



38/61

**Návrh expanzní nádoby**

- stupeň využití expanzní nádoby

$$\eta = \frac{\rho_e - \rho_0}{\rho_e + \rho_b}$$

$\rho_e$       maximální tlak v solární soustavě

$\rho_0$       minimální tlak v solární soustavě

$\rho_b$       atmosférický tlak (100 kPa)

$$V_{\text{EN}} = (V_s + V \cdot \beta + V_k) \cdot \frac{\rho_e + 100}{\rho_e - \rho_0} \quad (\times 1.3)$$

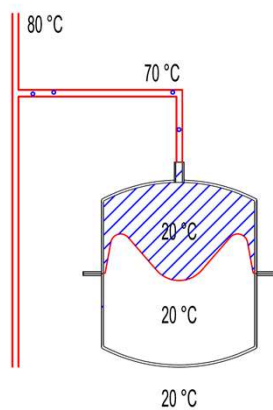
**výběr EN s nejbližším vyšším objemem z řady**



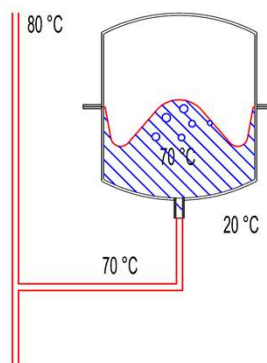
39/61

## Umístění expanzní nádoby

správně



nesprávně



přednastavení tlaku EN:  $p_v = p_0 - 30 \text{ kPa}$