



**ČVUT**

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**UCEEB**

**UNIVERZITNÍ CENTRUM  
ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH  
BUDOV**

# **SOLÁRNÍ KOLEKTORY A TEPELNÁ ČERPADLA**

Univerzitní centrum  
energeticky efektivních budov ČVUT

**2017**



Tato akce byla realizována s dotací ze státního rozpočtu v rámci Státního programu na podporu úspor energie na období 2017-2021 – Program EFEKT 2 na rok 2017.





**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

**UCEEB**  
UNIVERZITNÍ CENTRUM  
ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH  
BUDOV

Zpracovatelé energetických posudků, auditoři či projektanti pracují při návrhu a hodnocení systémů s obnovitelnými zdroji energie s prvky jako jsou solární kolektory, tepelná čerpadla či zásobníky tepla při použití podkladů od výrobců, které obsahují parametry těchto zařízení jako výsledek laboratorní zkoušky. Jednodenní seminář ukáže praktické pozadí testování těchto zařízení, jak parametry používat ve výpočtech při hodnocení energeticky úsporných opatření a dosažení plánovaných úspor, jak je přepočítat na jiné podmínky návrhu, apod. Součástí semináře bude exkurze v solární laboratoři, laboratoři tepelných čerpadel a laboratoři akumulace tepla s výkladem.

## PROGRAM

- 9:30 – 10:00 registrace, úvod
- 10:00 – 10:30 Solární kolektory  
- parametry a jejich zkoušení  
*Ing. Bořivoj Šourek, Ph.D.*
- 10:30 – 11:00 Tepelná čerpadla  
- parametry a jejich zkoušení  
*Ing. Tomáš Straka Ph.D.*
- 11:00 – 12:00 Štítkování tepelných čerpadel  
*Ing. Jan Sedlář*
- 12:00 – 12:45 Přestávka na občerstvení, oběd
- 12:45 – 13:30 Hodnocení solárních soustav  
a soustav s tepelnými čerpadly  
*Doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.*
- 13:30 – 14:00 Akumulační zásobníky  
a výměníky - parametry  
a jejich zkoušení  
*Doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.*
- 14:00 – 14:45 Navrhování zásobníků teplé  
vody a akumulace tepla  
*Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.*
- 14:45 – 15:00 Přestávka na kávu
- 15:00 – 16:00 Exkurze v laboratořích, ukázky  
zkoušení (solární kolektory,  
tepelné čerpadlo, akumulční  
zásobník)

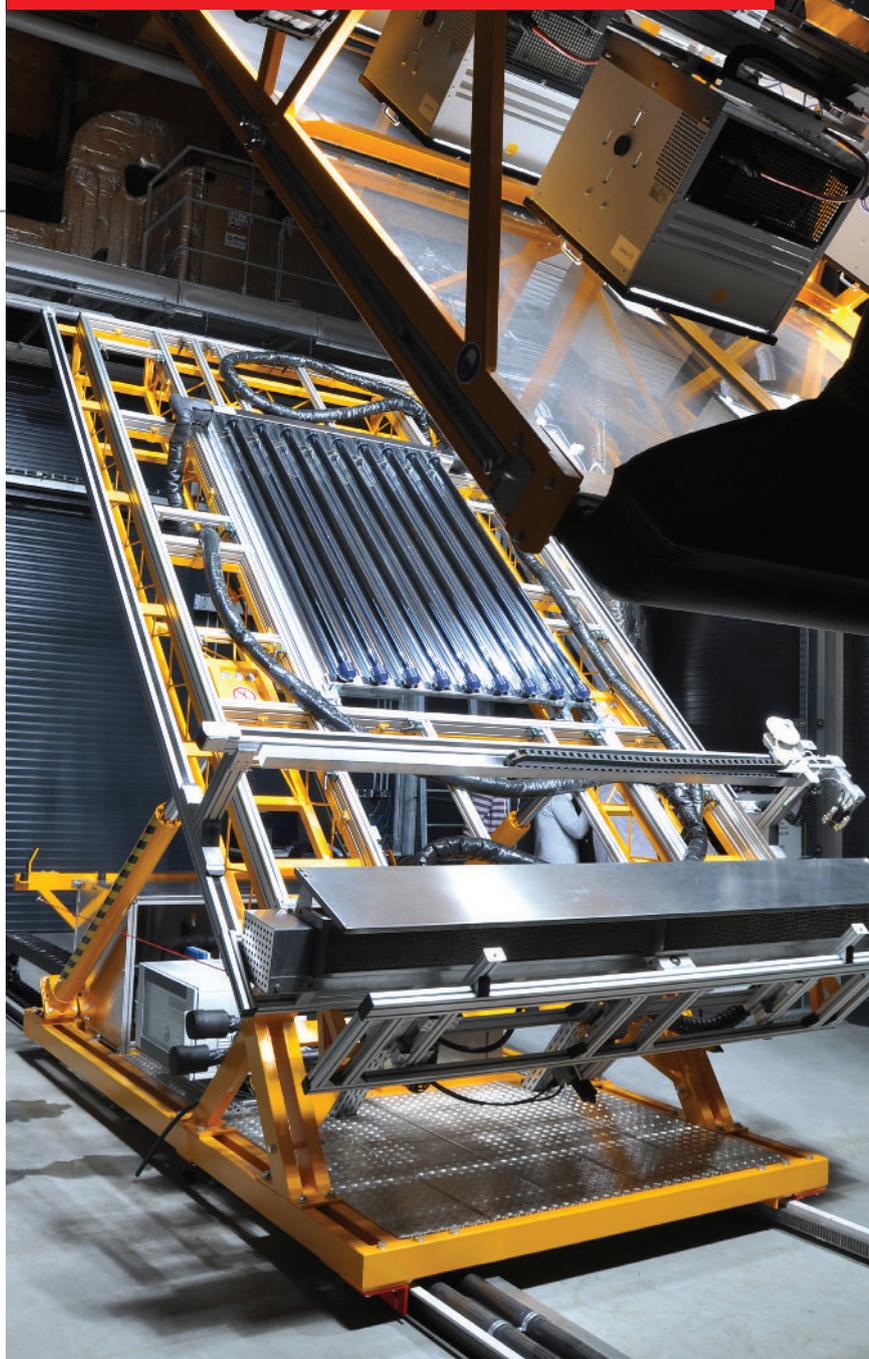
ČVUT UCEEB zve na seminář

## SOLÁRNÍ KOLEKTORY A TEPELNÁ ČERPADLA - K ČEMU JE JEJICH TESTOVÁNÍ A PARAMETRY?

dne 21. června 2017 od 9:30 do 16:00 hod.

**Místo konání:** Třinecká 1024, 273 43 Buštěhrad,  
GPS 50°9'24,505"N 16°10'11,3"

V případě zájmu prosíme o potvrzení účasti na e-mail:  
sekretariat@uceeb.cz



Seminář se koná v rámci EUSEW Energy Days ve spolupráci s Československou společností pro sluneční energii a Asociací pro využití tepelných čerpadel



# Obsah

Solární kolektory - parametry a jejich zkoušení .....	<b>4</b>
Zkoušení tepelných čerpadel .....	<b>18</b>
Hodnocení solárních soustav a soustav s tepelnými čerpadly .....	<b>32</b>
Štítkování tepelných čerpadel .....	<b>53</b>
Akumulační zásobníky a výměníky parametry a jejich zkoušení .....	<b>72</b>
Navrhování zásobníků teplé vody a akumulace tepla .....	<b>86</b>





# SOLÁRNÍ KOLEKTORY

## PARAMETRY A JEJICH ZKOUŠENÍ

Bořivoj Šourek

ČVUT v Praze, UCEEB



## ZKOUŠENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

- zkouška ve vnějším prostředí





## ZKOUŠENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

- zkouška ve vnitřním prostředí



UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

3 | 28



## ZKOUŠENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ ČSN EN ISO 9806

- zkoušky provozních parametrů
  - tepelný výkon a účinnost (určení základních parametrů  $\eta_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ )
  - modifikátor úhlu dopadu (vliv úhlu dopadu na výkon kolektoru)
  
  - účinná tepelná kapacita a časová konstanta
  - stagnační teplota
  - tlaková ztráta
  
- oproti předchozí normě ČSN EN12975-2: změna vztažné plochy pro výpočet účinnosti

UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

4 | 28



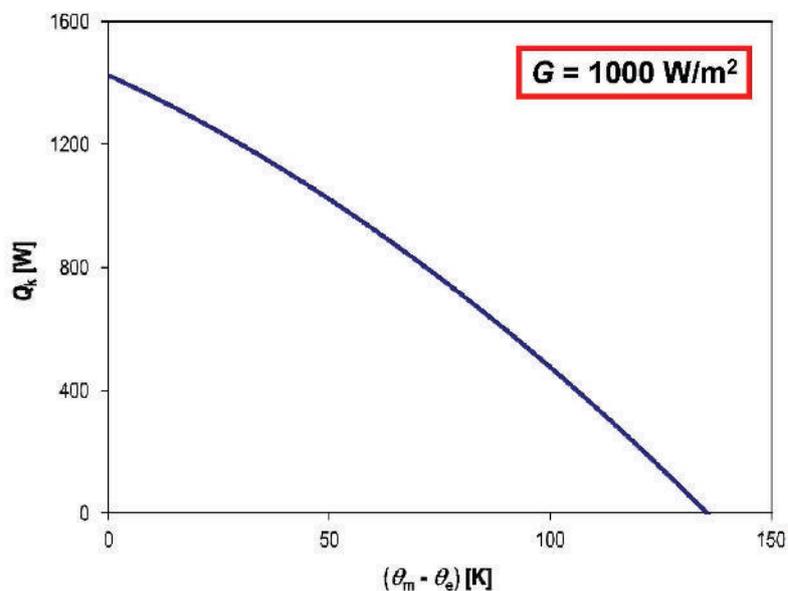
## TEPELNÝ VÝKON

- základní parametr kolektoru
  - koupíte plynový kotel u kterého vám neřeknou jaký má výkon???
- není konstantní hodnota!
- závisí na rozdílu teplot „kolektor-okolí“ a slunečním ozáření
- na rozdíl od účinnosti, která může mít i tři různé hodnoty

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_{\text{out}} - \theta_{\text{in}})$$



## TEPELNÝ VÝKON



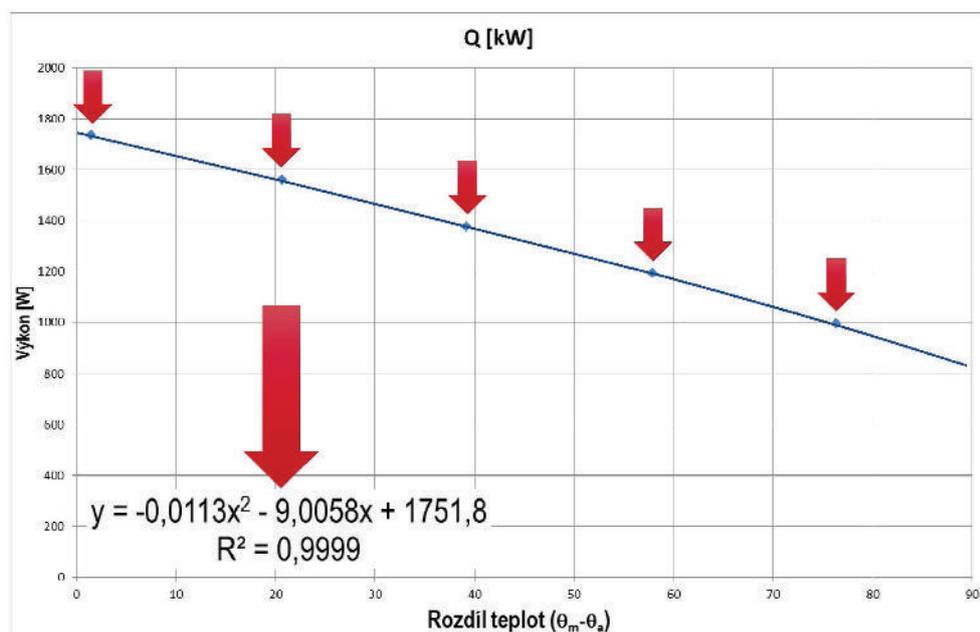


## TEPELNÝ VÝKON

- **podmínky ustálené zkoušky**
  - ozáření  $G_{hem} > 700 \text{ W/m}^2$
  - rychlost větru nad rovnou kolektoru 3 m/s
  - minimální průtok  $0,02 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2$
- **požadavky na přesnost (nejistotu)**
  - ozáření  $G_{hem} \pm 50 \text{ W/m}^2$
  - rychlost větru nad rovnou kolektoru  $\pm 1 \text{ m/s}$
  - standardní nejistota při měření průtoku  $< 1 \%$
  - stabilita vstupní teploty do kolektoru  $< 0,1 \text{ K}$
  - stabilita teploty v okolí kolektoru  $< 1,0 \text{ K}$



## TEPELNÝ VÝKON



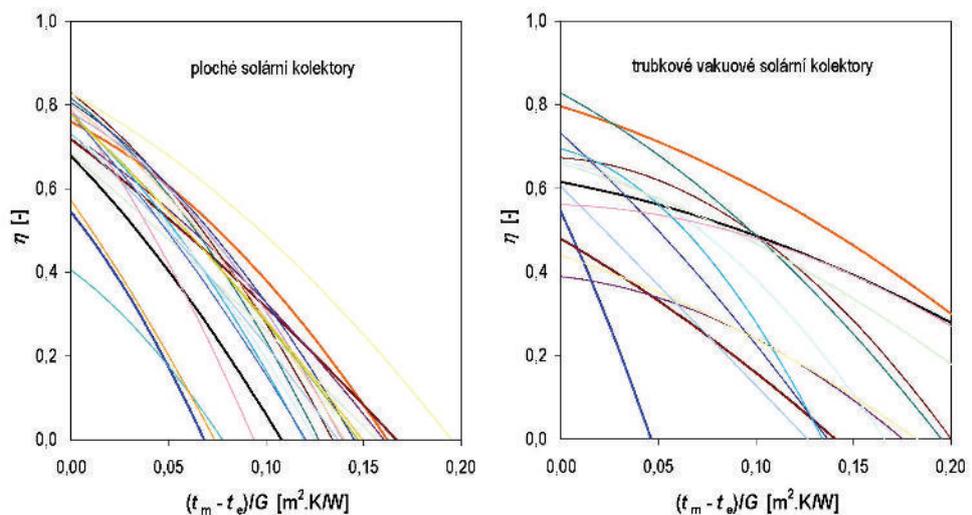


## ÚČINNOST

- $\eta = \frac{Q}{A_k \cdot G} = \frac{m \cdot c \cdot (\theta_{out} - \theta_{in})}{A_k \cdot G}$  o jakou se jedná plochu ???
- $\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(t_m - t_e)}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_e)^2}{G}$
- „trochu zavádějící parametr“
  - pokud není jasně definováno, ke které ploše je účinnost vztažena
- pokud je jasno v plochách – může sloužit pro porovnání různých kolektorů

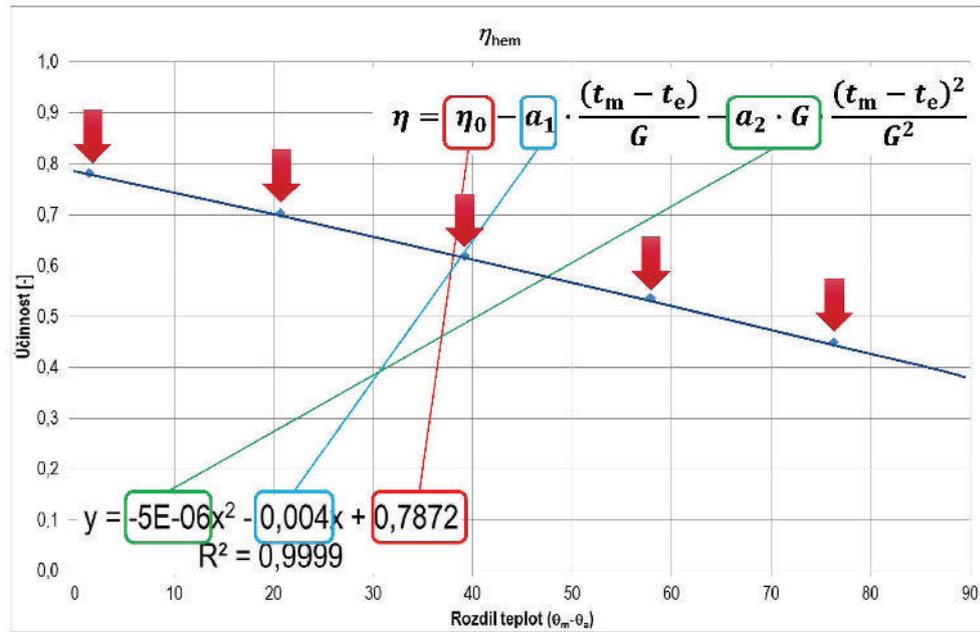


## ÚČINNOST





## ÚČINNOST

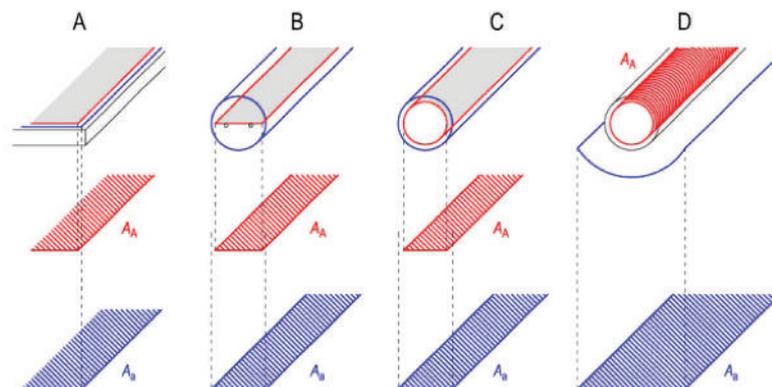


## ÚČINNOST VS. PLOCHA

$$\eta = \frac{Q}{A_k \cdot G}$$

definice plochy „A“ absorbéru a „a“ apertury

Hrubá obrysová plocha  $A_G$  je dána průmětem maximálních rozměrů v rovině půdorysu.

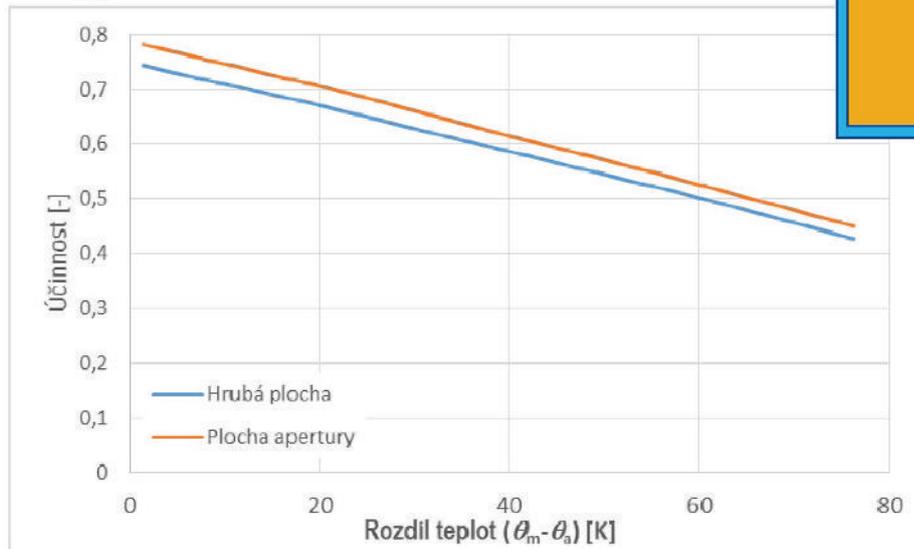
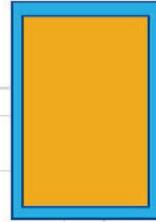


A) plochý; B) trubkový s plochým absorbérem; C) trubkový s válcovým absorbérem; D) trubkový s válcovým absorbérem a reflektorem



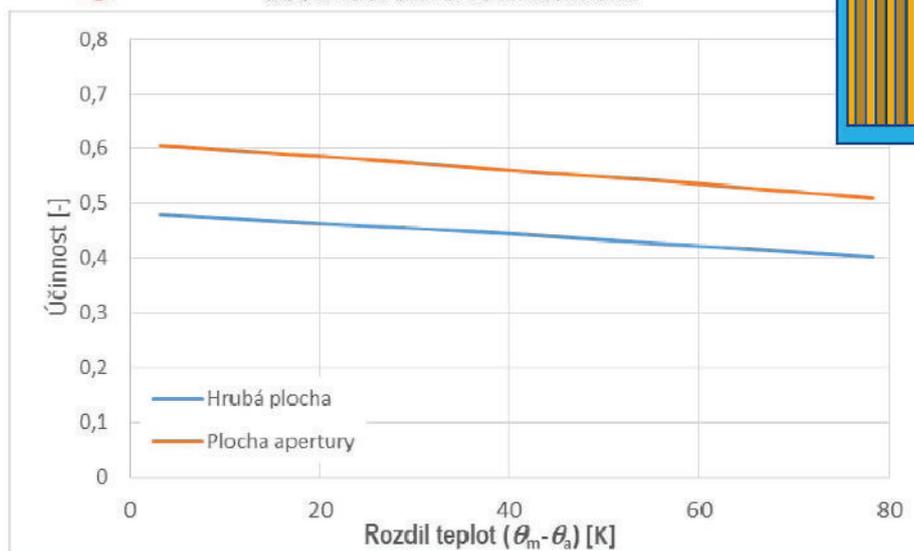
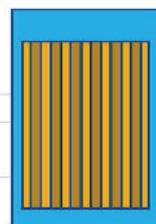
## ÚČINNOST VS. PLOCHA

$$\eta = \frac{Q}{A_k G} \quad - \text{plochý}$$



## ÚČINNOST VS. PLOCHA

$$\eta = \frac{Q}{A_k G} \quad - \text{trubkový s válcovým absorbérem a reflektorem}$$

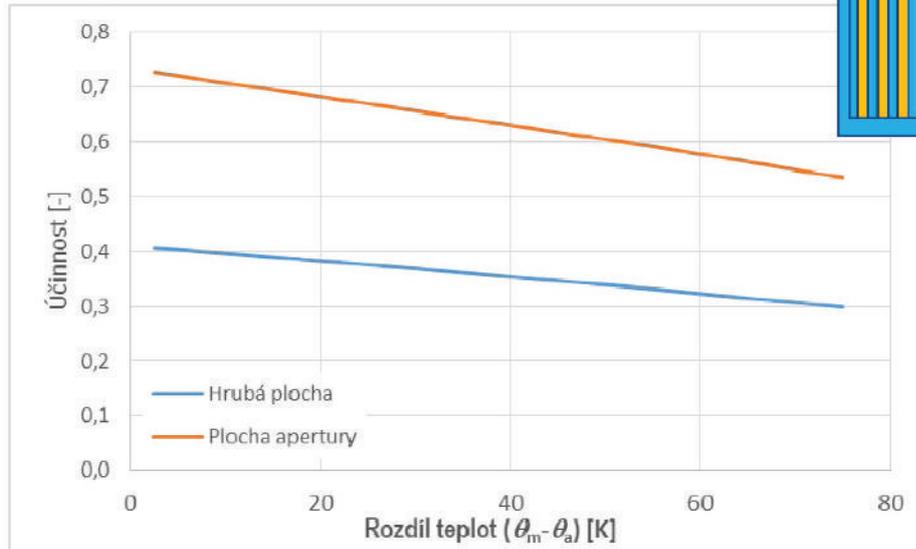
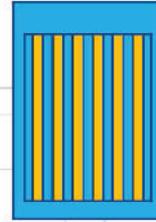




## ÚČINNOST VS. PLOCHA

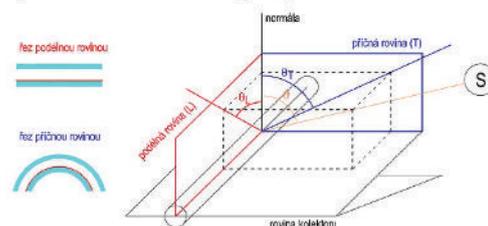
$$\eta = \frac{Q}{A_k G}$$

- trubkový s válcovým absorbérem



## MODIFIKÁTOR ÚHLU DOPADU (IAM)

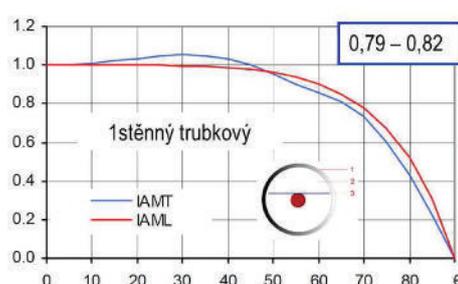
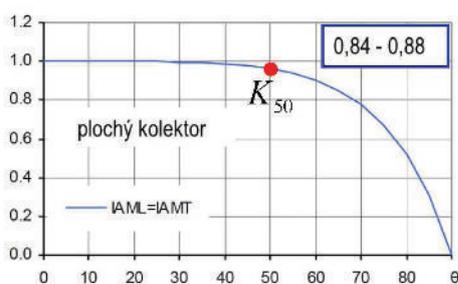
- vyjadřuje změnu optické účinnosti kolektoru  $\eta_0$  s úhlem dopadu přímého (směrově závislého) slunečního záření oproti kolmému dopadu.
- $$\eta = \eta_0 \cdot K_{hem}(\theta_L, \theta_T) - a_1 \cdot \frac{(t_m - t_e)}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_e)^2}{G}$$
- u plochých kolektorů měření pro jeden úhel dopadu (50°)
- u trubkových kolektorů je měření podstatně složitější (ve dvou rovinách)



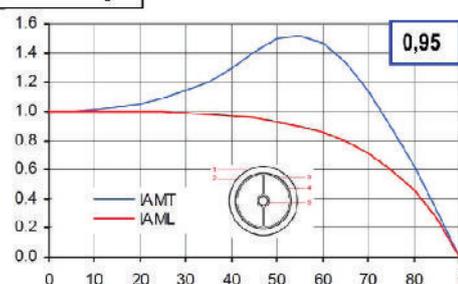
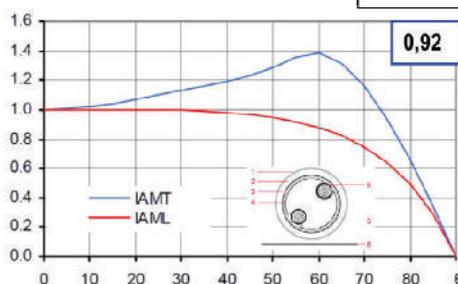
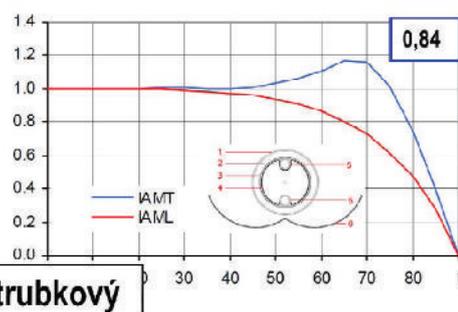
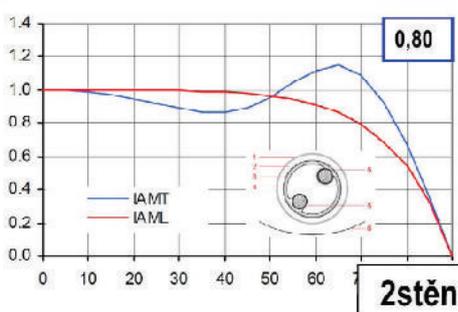


## MODIFIKÁTOR ÚHLU DOPADU (IAM)

- $$K_{\text{hem}}(\theta_L, \theta_T) = \frac{\eta_{0,b}(\theta_L, \theta_T)}{\eta_{0,b}(\theta_{L,\text{def}}, \theta_{T,\text{def}})}$$
- je třeba změřit účinnost při definovaném úhlu (kolmý dopad) a účinnost při obecném úhlu dopadu
- $$K_{\theta} = K_{\theta,L} \cdot K_{\theta,T}$$



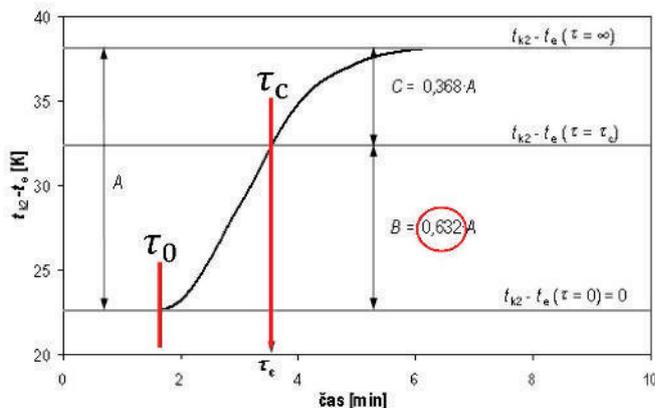
## MODIFIKÁTOR ÚHLU DOPADU (IAM)





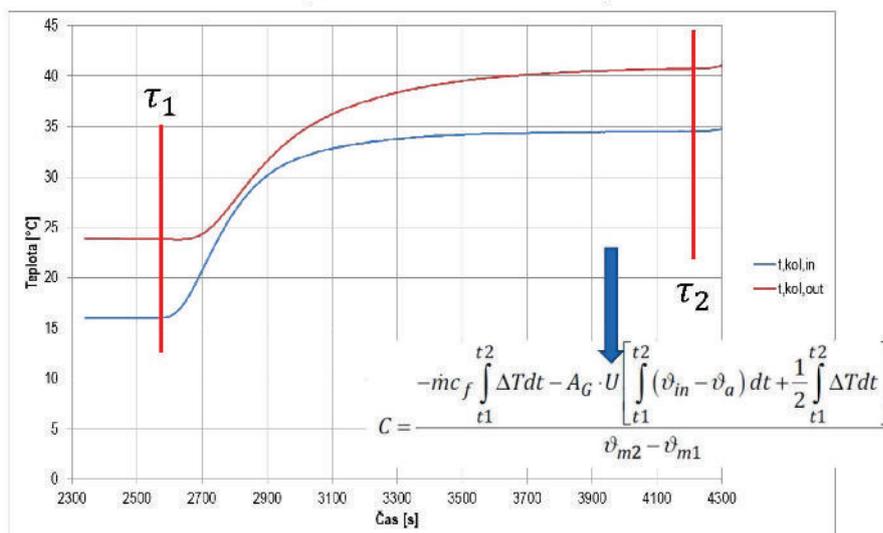
## ČASOVÁ KONSTANTA

- stanovuje se především pro určení a nastavení příslušné doby přípravy kolektoru před ustálenou zkouškou tepelného výkonu. Jde o zkoušku nepovinnou, nicméně dává náhled na tepelnou setrvačnost kolektoru a jeho dynamické chování.



## ÚČINNÁ TEPELNÁ KAPACITA

- dává náhled na tepelnou setrvačnost kolektoru a jeho dynamické chování – důležitá při modelování s krátkým krokem





## ZKOUŠENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ ČSN EN ISO 9806

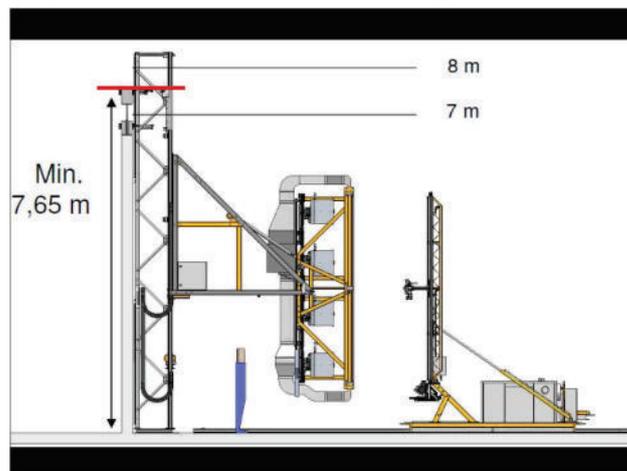
### Zkoušky spolehlivosti

- *vnitřní přetlak* – těsnost a možnost připojení na okruh s přetlakem
- *odolnost proti vysokým teplotám* – odolnost všech materiálů při vysokých teplotách – kolektor při stagnaci
- *vystavení vnějším vlivům* – nepřipojený kolektor je ponechán ve vnějším prostředí a sleduje se vliv povětrnostních podmínek
- *vnější tepelný ráz* – odpovídá kolektoru ve stagnaci na který začne pršet
- *vnitřní tepelný ráz* – odpovídá kolektoru při stagnaci do kterého po sepnutí OČ přiteče chladná teplotonosná látka
- *průnik deště (zasklené)*
- *mechanické zatížení* – odpovídá zatížení větrem a sněhem
- *odolnost proti nárazu* – odpovídá dopadajícím kroupám



## TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ V SOLAB<sup>2</sup>

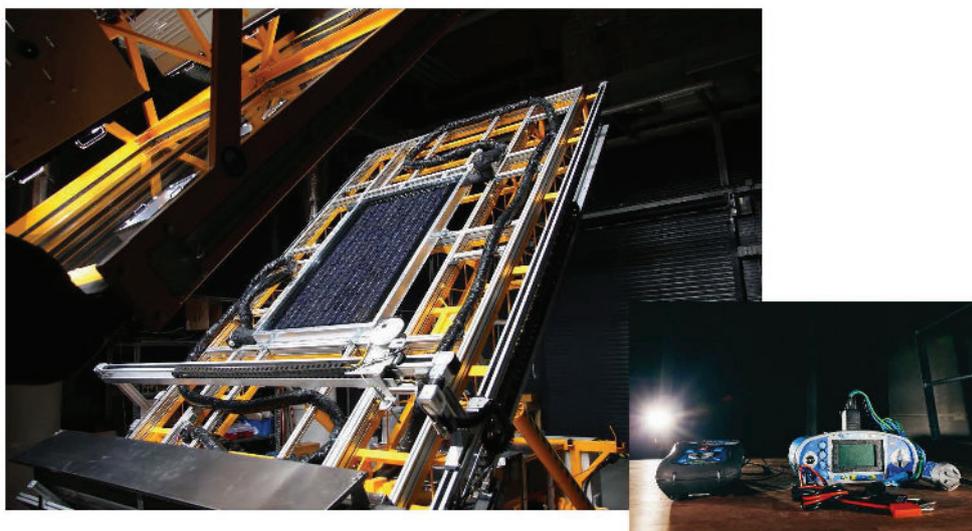
- Solární simulátor pro testování solárních kolektorů
  - teplovodní, teplovzdušné, FV, hybridní





## TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ V SOLAB<sup>2</sup>

- měření výkonových charakteristik teplovodních, teplovzdušných a hybridních kolektorů podle ČSN EN ISO 9806



UCEEB)

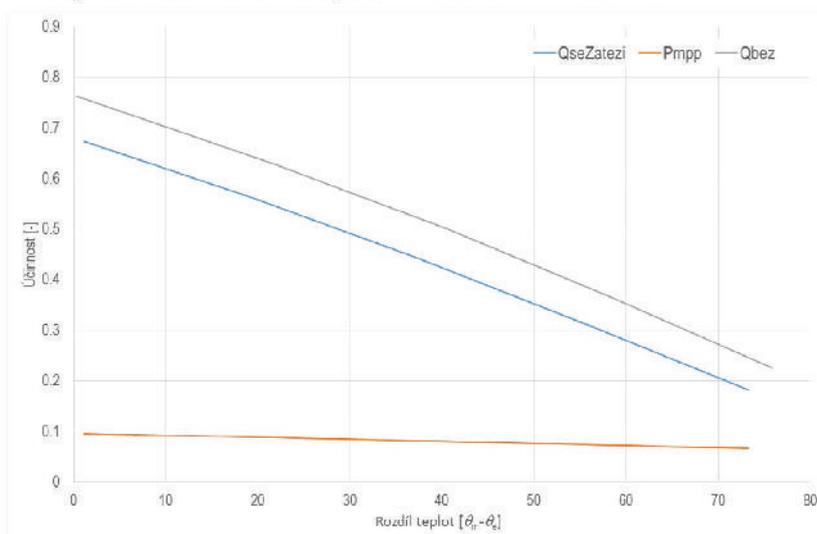
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

23 | 28



## TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ V SOLAB<sup>2</sup>

- měření výkonových charakteristik teplovodních, teplovzdušných a hybridních kolektorů podle ČSN EN ISO 9806



UCEEB)

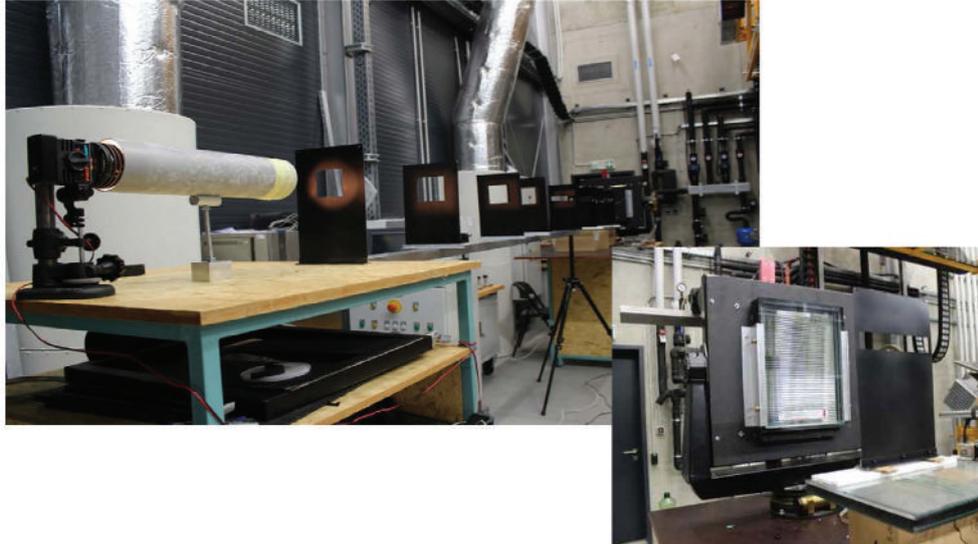
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

24 | 28



## TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ V SOLAB<sup>2</sup>

- měření optických charakteristik transparentních materiálů (spektrální a úhlová propustnost)



UCEEB)

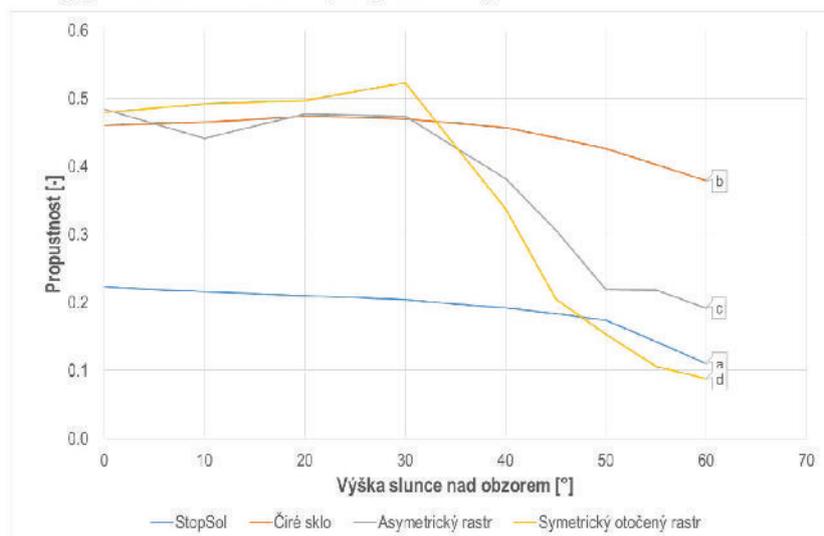
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

25 | 28



## TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ V SOLAB<sup>2</sup>

- měření optických charakteristik transparentních materiálů (spektrální a úhlová propustnost)



UCEEB)

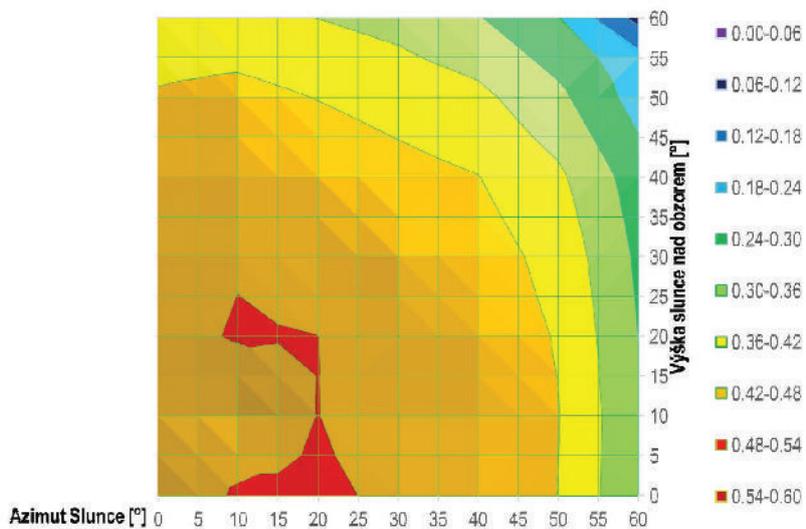
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

26 | 28



## TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ V SOLAB<sup>2</sup>

- měření optických charakteristik transparentních materiálů (spektrální a úhlová propustnost)



UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

27 | 28



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

UCEEB)

UNIVERZITNÍ CENTRUM  
ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH  
BUDOV

## DĚKUJI ZA POZORNOST

**Bořivoj Šourek**

**ČVUT v Praze, UCEEB**

**borivoj.sourek@cvut.cz**



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

**UCEEB**

UNIVERZITNÍ CENTRUM  
ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH  
BUDOV

# ZKOUŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL

Seminář 21.6.2017

Ing. Tomáš Straka, Ph.D., UCEEB, ČVUT v Praze



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

**UCEEB**

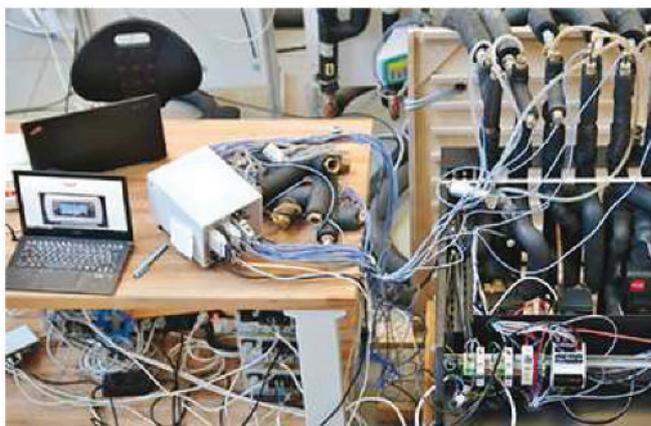
UNIVERZITNÍ CENTRUM  
ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH  
BUDOV

# LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL



## LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL

- Měření el. a tep. parametrů TČ a chladicích zařízení
- Zkoušení netradičních uspořádání TČ a chl. zařízení



## LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL

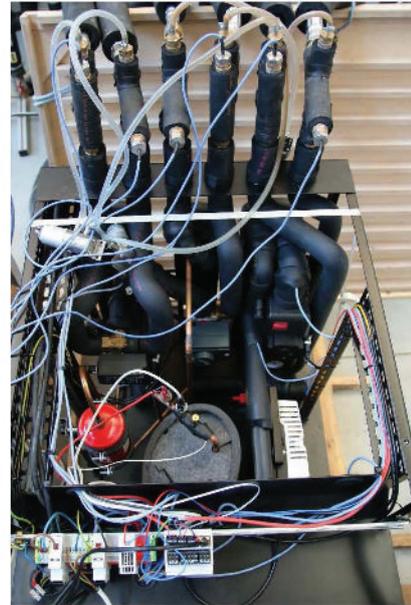
- Výzkum v oblasti zlepšování účinnosti TČ a chl. zařízení
- Detailní matematické modelování TČ + integrace do tep. soustav





## LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL

- Vývoj TČ (nová chladiva, pokročilé oběhy)
- Inspekce chladicího zařízení v místě provozu
- Energeticko-ekonomická optimalizace chladicích zařízení



## LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL

- PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ
  - Víceúčelová klimatická komora (zkušební box) se dvěma oddělenými prostory





## LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL

- Vnitřní box (3,5 × 3,0 × 2,6 m) s dvojitou stěnou pro udržení extrémních klimatických podmínek: –20 °C / +30 °C
- Vnější box (2,8 × 4,1 × 3,5 m) s možností spojení s vnitřním boxem



## LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL



- Dva oddělené měřicí okruhy pro testování TČ země-voda, voda-voda a vzduch-voda s tepelnými výkony 3 až 15 kW a 13 až 50 kW



## LABORATOŘ TEPELNÝCH ČERPADEL

- PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ
  - Přenosný analyzátor tepelných čerpadel a chladicích zařízení ClimaCheck





# ZKOUŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL



## ZKOUŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL

Výkon a efektivita TČ závisí na podmínkách provozu.

Při navrhování soustav s TČ a bilancování energetických úspor

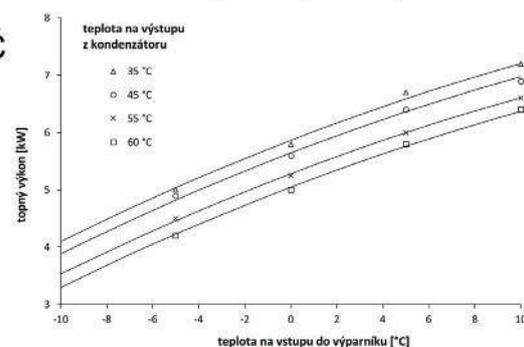
je třeba znát charakteristiky TČ

= závislost

- topného výkonu
- topného faktoru

na

- teplotě na vstupu do výparníku
- teplotě na výstupu z kondenzátoru





## NORMY PRO MĚŘENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL

- **ČSN EN 14511**-(4 části):2014 – Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru
- **ČSN EN 14825**:2014 – Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a klasifikace za podmínek **částečného zatížení** a výpočet při sezonním nasazení ( **SCOP** )
- **ČSN EN 16147**: 7/2017 (**nově vydaná 7/2017**) – Tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory – Zkoušení a požadavky na značení jednotek pro **teplou užitkovou vodu**
- **ČSN EN 12102**:2014 – Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla a odvlhčovače s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Měření **hluku** přenášeného vzduchem – Stanovení hladiny akustického výkonu



## ZKOUŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL PODLE ČSN EN 14511

### Stanovení

- **tepelného výkonu**
- **topného faktoru tepelného čerpadla**

ze zkušebního hlediska - podle druhů prostředí,  
mezi kterými probíhá přenos tepla.

#### Obvyklé kombinace:

venkovní prostředí

vnitřní prostředí

**voda**

–

**voda**

**vzduch**

–

**voda.**



## ZKUŠEBNÍ PODMÍNKY

### PRO RŮZNÉ DRUHY TEPELNÝCH ČERPADEL RŮZNÝ ROZSAH.

vzduch-voda ... velký rozsahu teplot venk.vzduchu .. větší počet teplot

voda-voda ... stálé podmínky na výparníku .. malý počet teplot

Tab. 1 – Kombinace zkušebních teplotních podmínek pro tepelná čerpadla podle ČSN EN 14511

$t_{k2} / t_{v1}$	voda – voda		země – voda			venkovní vzduch – voda				
	10 °C	15 °C	-5 °C	0 °C	5 °C	-15 °C	-7 °C	2 °C	7 °C	12 °C
35 °C										
45 °C										
55 °C										
65 °C										



## STANDARDNÍ PODMÍNKY

**Například** pro TČ vzduch – voda se nastavuje:

- vstupní teplota suchého teploměru
- vstupní teplota vlhkého teploměru (určuje vlhkost vzduchu)
- výstupní teplota z kondenzátoru
- teplotní rozdíl 5K se nastavuje regulací průtoku



## STANDARDNÍ PODMÍNKY

Příklad pro nízkoteplotní TČ vzduch – voda :

Tepelné čerpadlo vzduch/voda (topení) ... Nízkoteplotní aplikace		Venkovní výměník tepla		Vnitřní výměník tepla	
		Vstupní teplota suchého teploměru °C	Vstupní teplota mokrého teploměru °C	Vstupní teplota vody °C	Výstupní teplota vody °C
Standardní podmínky hodnocení	Venkovní vzduch	7	6	30	35
	Odváděný vzduch	20	12	30	35
Uživatelské podmínky hodnocení	Venkovní vzduch	2	1	-*)	35
		-7	-8	-*)	35
		-15	-	-*)	35
		12	11	-*)	35



## MĚŘENÍ PŘI STANDARDNÍCH PODMÍNKÁCH

- ustálení teplot
- Zahájení měření
- Teploty
- Průtok
- Tlaková ztráta
- Příkon čerpadla



## MĚŘENÍ PŘI STANDARDNÍCH PODMÍNKÁCH

- Výpočet:
  - tepelný výkon
  - COP



## MĚŘENÍ PŘI UŽIVATELSKÝCH PODMÍNKÁCH

### Uživatelské podmínky hodnocení

Ve druhé fázi měření se nenastavuje teplotní rozdíl na vnitřním výměníku 5K,  
ale použije se průtok stanovený při měření za standardních podmínek hodnocení



## MĚŘENÍ PŘI UŽIVATELSKÝCH PODMÍNKÁCH

Příklad pro nízkoteplotní TČ vzduch – voda :

Tepelné čerpadlo vzduch/voda (topení) --- Nízkoteplotní aplikace		Venkovní výměník tepla		Vnitřní výměník tepla	
		Vstupní teplota suchého teploměru °C	Vstupní teplota mokrého teploměru °C	Vstupní teplota vody °C	Výstupní teplota vody °C
Standardní podmínky hodnocení	Venkovní vzduch	7	6	30	35
	Odváděný vzduch	20	12	30	35
Uživatelské podmínky hodnocení	Venkovní vzduch	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>-*)</b>	<b>35</b>
		-7	-8	-*)	35
		-15	-	-*)	35
		12	11	-*)	35

\*) vstupní teplota topné vody je dána průtokem vody stanoveným při standardní podmínce hodnocení, tj. **A7/W35**



## TOPNÝ A CHLADICÍ VÝKON

$$P_H = q \times \rho \times c_p \times \Delta t$$

$$P_C = q \times \rho \times c_p \times \Delta t$$

$P_H$  Topný výkon (W)

$P_C$  Chladicí výkon (W)

$q$  Průtok otopné vody (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$  Hustota kapaliny (kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  Měrná tepelná kapacita (J/kg\*K)

$\Delta t$  Rozdíl teploty výstupu a zpátečky otopné vody (K)



## KOREKCE OBĚHOVÝCH ČERPADEL

- čerpadlo **NENÍ** součástí TČ  
k příkonu se přičte část příkonu čerpadla odpovídající výkonu potřebného k překonání tlakové ztráty **jednotky**

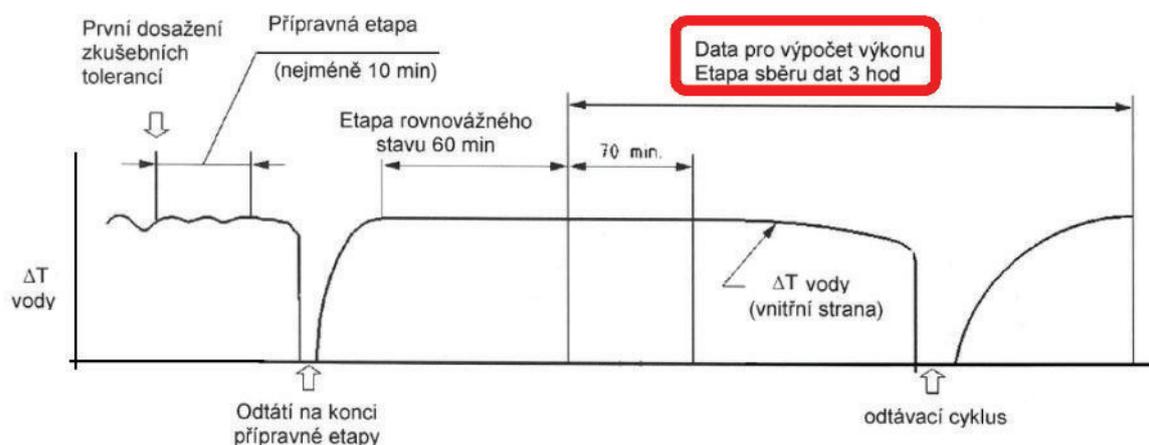
$$P_{\text{el. TČ}} = P_{\text{el. komp.}} + P_{\text{hydra interní}}$$

- čerpadlo **JE** součástí TČ  
od příkonu se odečte část příkonu čerpadla odpovídající výkonu k překonání **vnější** tlakové ztráty

$$P_{\text{el. TČ}} = (P_{\text{el. komp.}} + P_{\text{čerp}}) - P_{\text{hydra externí}}$$

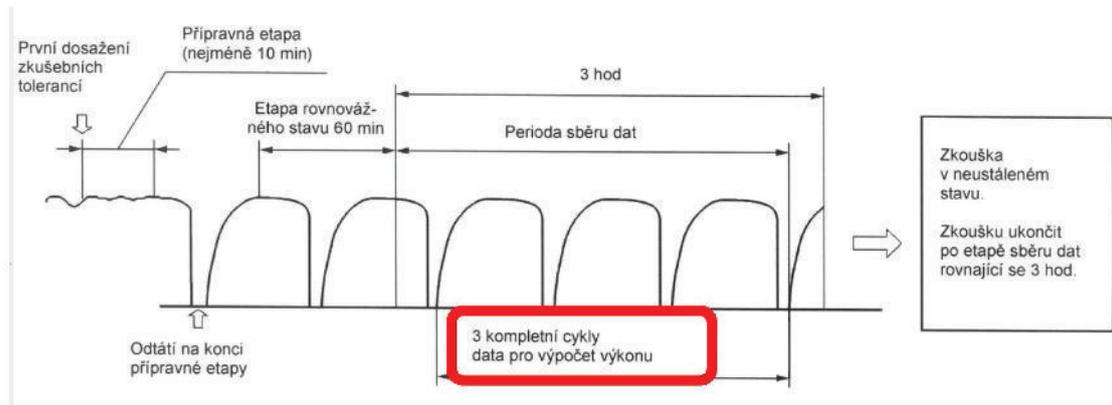


## PRŮBĚH ZKOUŠKY TOPNÉHO VÝKONU TČ VZDUCH - VODA

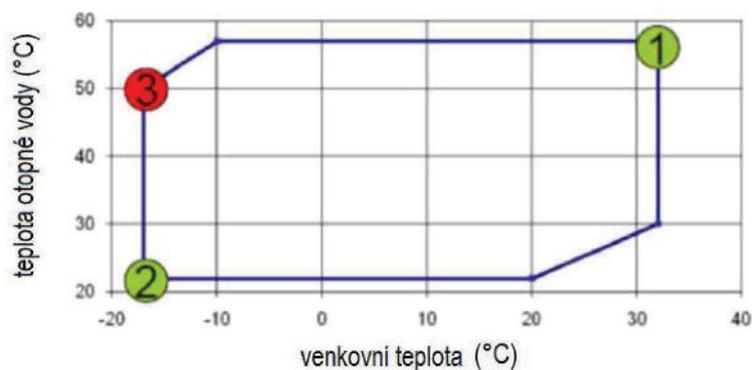




## PRŮBĚH ZKOUŠKY TOPNÉHO VÝKONU TČ VZDUCH – VODA SE TŘEMI ODTÁVACÍMI CYKLY



## ZKOUŠKA PROVOZNÍCH MEZÍ



Nastavení teplot na hranici povolené výrobcem

- 1 max. venkovní teplota, max. otop.voda
- 2 min venkovní teplota, min. otop voda
- 3 min venkovní teplota, max. otop voda



## ZKOUŠKA NEBEZPEČNÝCH STAVŮ

- **Zkouška namrzání** (po 6h stále zcela odmrazeno)
- **Provoz mimo provozní rozsah teplot**
- **Přerušeni průtoku teplotné látky**
  - a) u venkovního výměníku tepla
  - b) u vnitřního výměníku tepla
- **Výpadek dodávky el.energie**
- **Zkouška odvodu kondenzátu a orosení**



# HODNOCENÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV A SOUSTAV S TEPELNÝMI ČERPADLY

**Tomáš Matuška**  
**UCEEB, České vysoké učení technické v Praze**



## HODNOCENÍ

- **solárních soustav**
  - přínos navržené solární soustavy
  - měrný tepelný zisk (efektivita)
  - pokrytí potřeby tepla solární soustavou
- **soustav s tepelnými čerpadly**
  - potřeba elektrické energie celé soustavy, včetně záložního zdroje
  - sezónní topný faktor (efektivita)
  - pokrytí potřeby tepla tepelným čerpadlem



## HODNOCENÍ

- **solárních soustav**
  - TNI 73 0302, ÚNMZ 2014 **BilanceSS 2015/v2**
  - ČSN EN 15316-4-3, ÚNMZ 2013
  
- **soustav s tepelnými čerpadly**
  - TNI 73 0351, ÚNMZ 2014 **BilanceTC 2017/v1**
  - ČSN EN 15316-4-2, ÚNMZ 2011



## HODNOCENÍ SOLÁRNÍCH TEPELNÝCH SOUSTAV

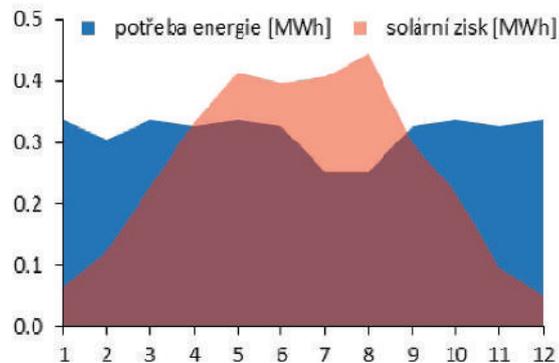
### POSTUP PODLE TNI 73 0302

### VÝPOČTOVÝ NÁSTROJ BILANCE SS 2015



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015

- bilanční měsíční metoda
  - porovnávání využitelných zisků solární soustavy a potřeby tepla v jednotlivých měsících



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015

- použití řady zjednodušení
- uvažování celoročně konstantních hodnot
  - teploty v kolektoru
  - srážky vlivem tepelných ztrát
  - optické charakteristiky



## TNI 73 0302 BALANCE SS 2015

### ▪ výpočet střední denní (měsíční) účinnosti kolektoru

- koeficienty  $\eta_0$ ,  $a_1$  a  $a_2$

podklad z testu

- střední teplota v kolektorech  $t_{k,m}$

- střední venkovní teplota v době svitu  $t_{e,s}$

klimatické podmínky  
podle TNI 73 0331

- střední sluneční ozáření  $G_{T,m}$

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



## TNI 73 0302 BALANCE SS 2015

### ▪ výpočet střední teploty v kolektorech

- na základě plochy kolektorů  $A_k$  a potřeby tepla  $Q_{p,c}$

- příprava teplé vody

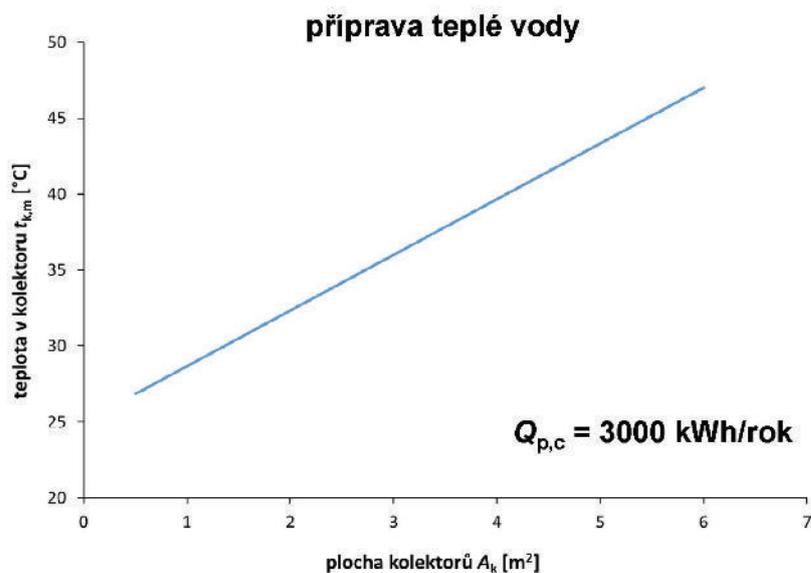
$$t_{k,m} = 25 + 11000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}} \quad \begin{array}{l} \text{apertura [m}^2\text{]} \\ \text{[kWh/rok]} \end{array}$$

- kombinace TV a vytápění

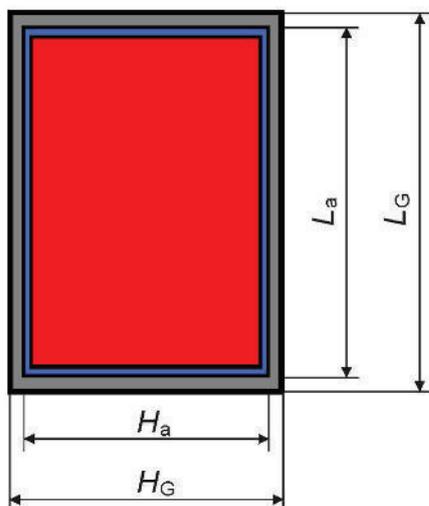
$$t_{k,m} = 35 + 8000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}} + 0,2 \cdot (t_{w1,N} - 35)$$



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015



$$\eta = \frac{Q_k}{G \cdot A_k}$$

hrubá plocha:  $A_G$

plocha apertury:  $A_a$

plocha absorberu:  $A_A$



## TNI 73 0302 BALANCE SS 2015

### parametry kolektorů

- koeficienty  $\eta_0$ ,  $a_1$  a  $a_2$  jsou vztaheny k ploše kolektorů  $A_k$

- plocha absorberu  $A_A$        $\eta_{0,A}$     $a_{1,A}$     $a_{2,A}$

- plocha apertury  $A_a$        $\eta_{0,a}$     $a_{1,a}$     $a_{2,a}$

- hrubá plocha  $A_G$        $\eta_{0,G}$     $a_{1,G}$     $a_{2,G}$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_k &= A_a \cdot G \cdot \left[ \eta_{0,a} - a_{1,a} \cdot (t_m - t_e) - a_{2,a} \cdot (t_m - t_e)^2 \right] \\ &= A_G \cdot G \cdot \left[ \eta_{0,G} - a_{1,G} \cdot (t_m - t_e) - a_{2,G} \cdot (t_m - t_e)^2 \right] \end{aligned}$$



## TNI 73 0302 BALANCE SS 2015

### výpočet měsíčního využitelného zisku soustavy

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

- dopadající sluneční energie  $H_{T,mes}$



klimatické podmínky  
podle TNI 73 0331

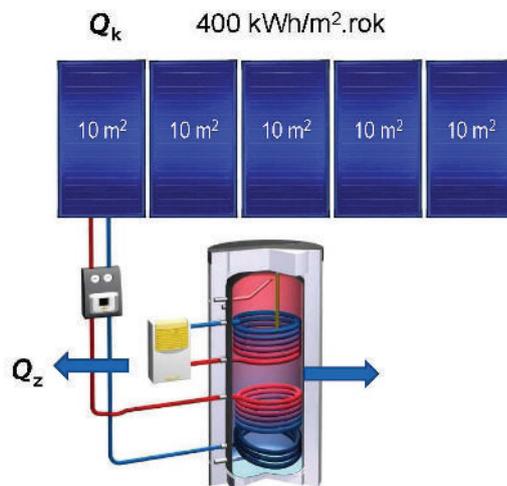
- plocha kolektorů  $A_k$
- srážka vlivem tepelných ztrát  $p$

(ztráty potrubí kolektorového okruhu, solárního zásobníku)



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015

- srážka vlivem tepelných ztrát



$$p = \frac{Q_z}{Q_k}$$

$$Q_k = 4 \text{ MWh/rok} \quad Q_z = 0,8 \text{ MWh/rok}$$

$$p = \frac{0,8}{4} = 20\%$$

$$Q_k = 20 \text{ MWh/rok} \quad Q_z = 1,2 \text{ MWh/rok}$$

$$p = \frac{1,2}{20} = 6\%$$



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015

- srážka vlivem tepelných ztrát

- na základě plochy kolektorů  $A_k$  a potřeby tepla  $Q_{p,c}$
- příprava teplé vody

$$p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}}$$

apertura [m<sup>2</sup>]  
[kWh/rok]

- kombinace TV a vytápění

$$p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}} + 0,002 \cdot \frac{(t_{SV} \cdot Q_{p,TV} + t_{w1,N} \cdot Q_{p,VYT})}{Q_{p,TV} + Q_{p,VYT}}$$





# TNI 73 0302 BILANCE SS 2015

Příprava teplé vody		Vytápění		Bazén	
Vypočítat ze zadanych údajů		Vypočítat ze zadanych údajů		Vypočítat ze zadanych údajů	
Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]	Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led	337	Led		Led	
Úno	305	Úno		Úno	
Bře	337	Bře		Bře	
Dub	327	Dub		Dub	
Kvě	337	Kvě		Kvě	
Čer	327	Čer		Čer	
Čvc	253	Čvc		Čvc	
Srp	253	Srp		Srp	
Zář	327	Zář		Zář	
Říj	337	Říj		Říj	
Lis	327	Lis		Lis	
Pro	337	Pro		Pro	
Počet osob	4 os	Tepelná ztráta	10 kW	Vnější zakryvaný	
Potřeba teplé vody	40 l/os.d	Návrhová vnitřní teplota	20 °C	Plocha bazénu	12.5 m <sup>2</sup>
Teplota SV	10 °C	Návrhová venk. teplota	-12 °C	Provozní doba	12 h/den
Teplota TV	55 °C	Teplota p řívodní vody	35 °C	teplota vo dy (den)	28 °C
Letní snížení potřeby	25 %	Přirážka na ztráty	5 %	Teplota vzduchu (den)	28 °C
Přirážka na ztráty	30 %	Korekční součinitel	0.75	Teplota vody (noc)	24 °C
Centrální zásobníkový ohřev s říz		Běžný standard		Teplota vzduchu (noc)	20 °C
				Počet návštěvníků	120 os/m

UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

17 | 41



# TNI 73 0302 BILANCE SS 2015

Specifikace solárního kolektoru a solární soustavy							
Druh:	plochý			Typ:	Buderus SKN 4.0		
Optická účinnost $\eta_0$	0.78	-		Příprava teplé vody			
Koeficient ztráty $a_1$	3.25	W/m <sup>2</sup> K		Sřídenní denní teplota v solárních kolektorech	45	°C	
Koeficient ztráty $a_2$	0.016	W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>		Srážka z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát	22	%	
Vztažná plocha kolektoru	2.35	m <sup>2</sup>		Plocha apertury kolektoru	2.30	m <sup>2</sup>	
Počet kolektorů	3	ks		Sklon kolektorů	45°		
Plocha kolektorového pole	7.1	m <sup>2</sup>		Azimut kolektorů	0°		
Výsledky výpočtu				Souhrnné výsledky			
Měsíc	$t_{es}$ °C	$G_m$ W/m <sup>2</sup>	$H_T$ kWh/m <sup>2</sup>	$\eta_k$	$Q_p$ MWh	$Q_{k,u}$ MWh	$Q_{ssu}$ MWh
Led	1.8	418	36	0.37	0.34	0.06	0.06
Úno	2.7	489	57	0.44	0.30	0.12	0.12
Bře	6.3	535	93	0.50	0.34	0.23	0.23
Dub	10.7	527	127	0.53	0.33	0.33	0.33
Kvě	16.0	521	147	0.57	0.34	0.41	0.34
Čer	18.6	517	136	0.59	0.33	0.40	0.33
Čvc	20.5	512	137	0.60	0.25	0.41	0.25
Srp	21.1	515	148	0.61	0.25	0.44	0.25
Zář	17.1	516	105	0.58	0.33	0.30	0.30
Říj	11.7	488	86	0.52	0.34	0.22	0.22
Lis	6.4	427	46	0.43	0.33	0.10	0.10
Pro	3.6	387	29	0.36	0.34	0.05	0.05
<b>Celkem</b>			<b>1147</b>		<b>3.80</b>		<b>2.58</b>
				Energetický zisk soustavy	2.58 MWh/rok		
				Měrný solární zisk	374 kWh/m <sup>2</sup> .rok		
				Solární pokrytí	67.8 %		
Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0302:2014							
Autoři: T. Matuška, B. Šourek, 2015							

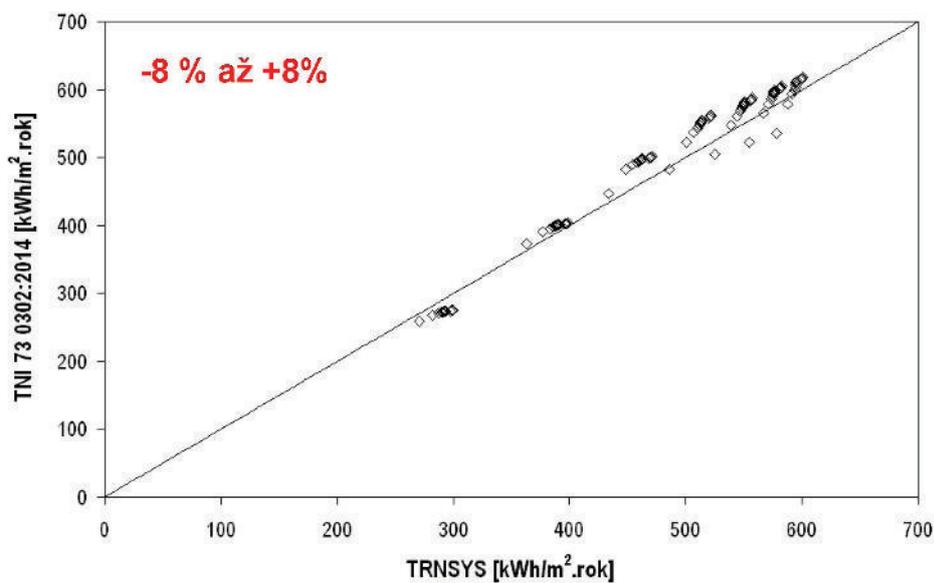
UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

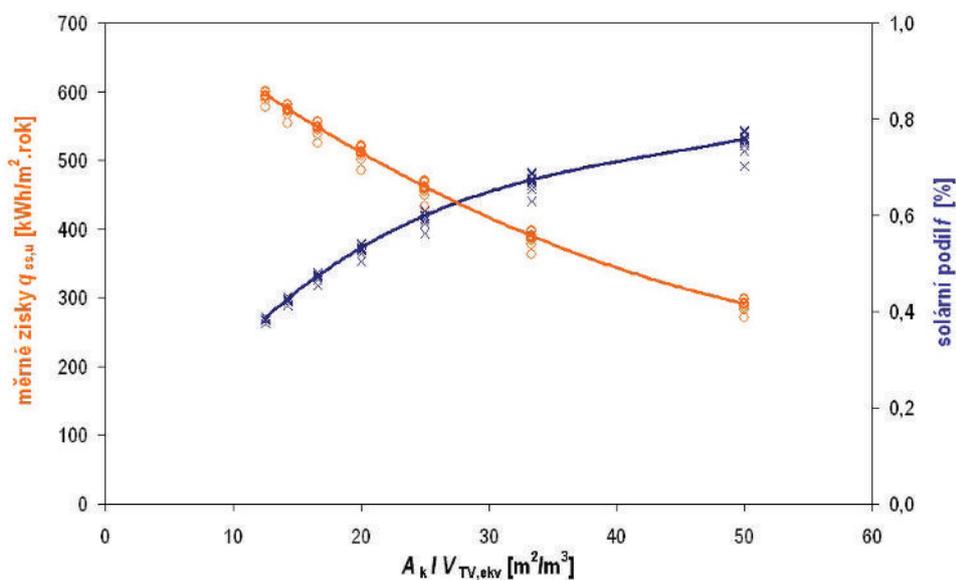
18 | 41



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015



## TNI 73 0302 BILANCE SS 2015





## **HODNOCENÍ SOUSTAV S TEPELNÝMI ČERPADLY**

### **POSTUP PODLE TNI 73 0351**

### **VÝPOČTOVÝ NÁSTROJ BILANCE TC 2017**



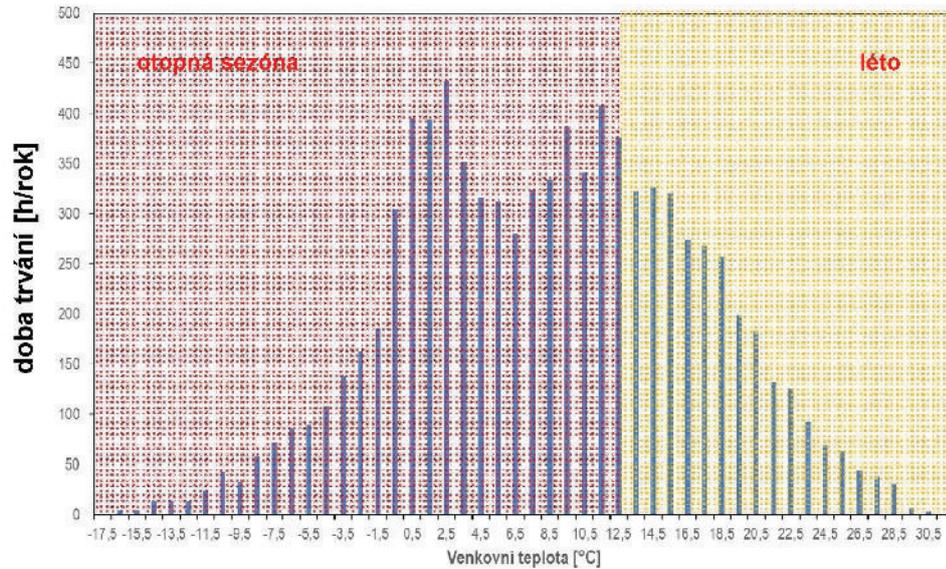
### **TNI 73 0351 BILANCE TC 2017**

- **intervalová metoda**
  - bin method (ASHRAE)
  - ČSN EN 15316-4-2
  - využívá histogramu četnosti teplot venkovního vzduchu během roku
  
  - rozdělení do teplotních intervalů o šířce 1 K
    - dolní-horní teplota vzduchu v intervalu
    - **střední teplota vzduchu, doba trvání intervalu**



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

### teplotní intervaly – četnost teplot v roce



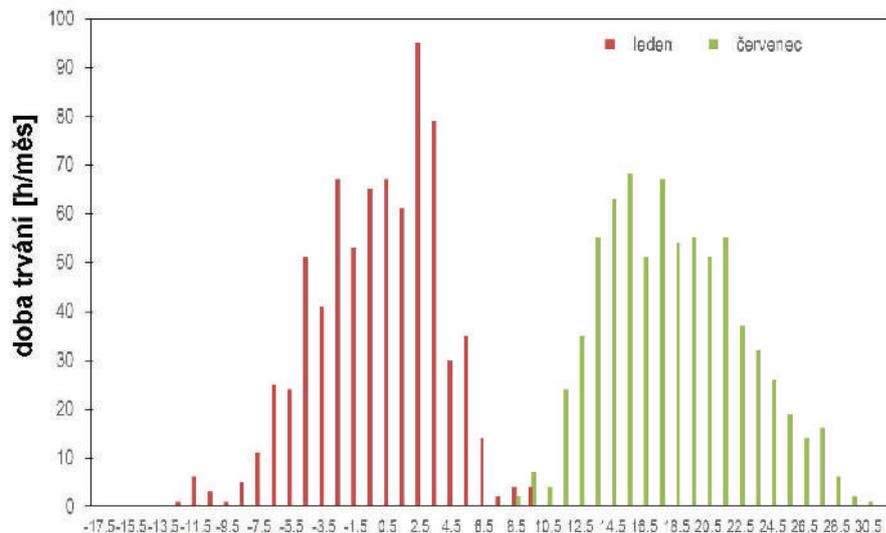
## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

$t_{e,d,j}$ °C	$t_{e,h,j}$ °C	$t_{e,m,j}$ °C	$\tau_j$ h	$\tau_{kum,j}$ h	DH <sub>20/13</sub> Kh	DH <sub>20/13,kum</sub> Kh	$f_{VYT}$ -	$f_{TV}$ -
-18	-17	-17,5	0	0	0	0	0,000	0,000
-17	-16	-16,5	5	5	183	183	0,002	0,001
-16	-15	-15,5	5	10	178	360	0,002	0,001
-15	-14	-14,5	14	24	483	843	0,005	0,002
-14	-13	-13,5	14	38	469	1312	0,005	0,002
-13	-12	-12,5	13	51	423	1735	0,004	0,001
-11	-12	-11,5	408	5632	3488	92996	0,036	0,017
-12	-13	-12,5	376	6008	2620	95816	0,029	0,013
13	14	13,5	322	6330				0,037
14	15	14,5	326	6656				0,037
15	16	15,5	320	6976				0,037
16	17	16,5	273	7249				0,031
27	28	27,5	38	8720				0,004
28	29	28,5	30	8750				0,003
29	30	29,5	6	8756				0,001
30	31	30,5	4	8760				0,000
31	32	31,5	0	8760				0,000
			8760			3992	1,000	1,000

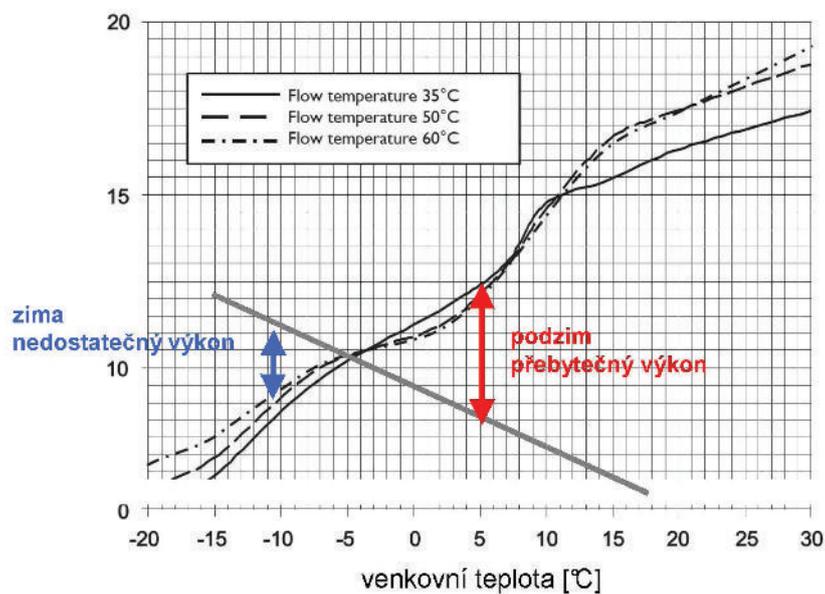


# TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

## měsíční rozlišení

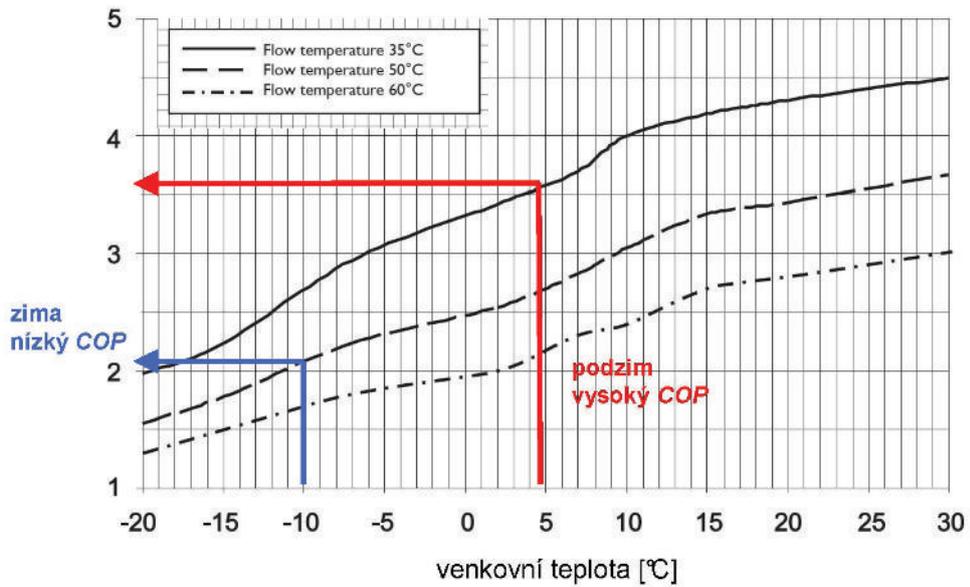


# TNI 73 0351 BILANCE TC 2017



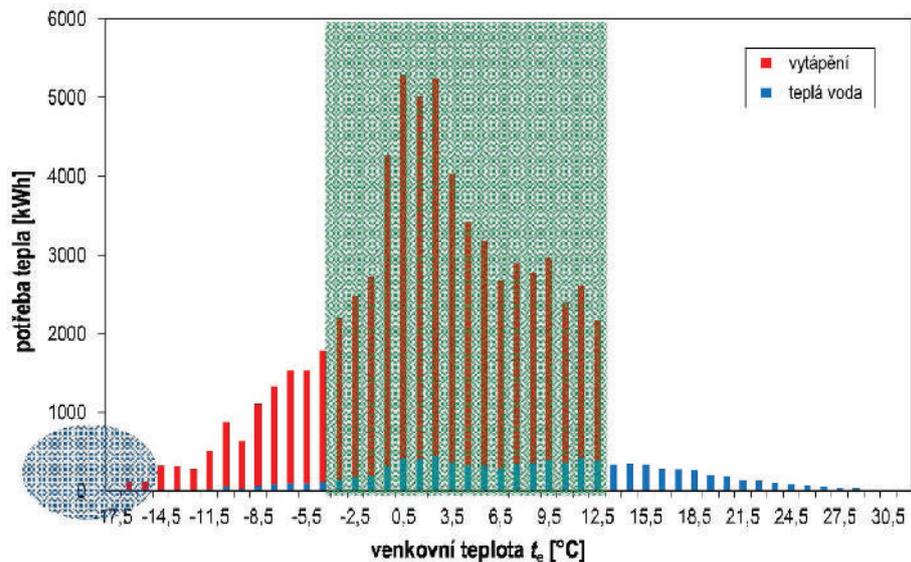


## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

### rozpočítání potřeby tepla do teplotních intervalů





## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

- pro každý výpočtový (teplotní) interval se stanoví
  - potřeba tepla
  - výkon TČ a dostupná energie z TČ (výkon \* doba trvání intervalu)
  - energie dodaná z TČ pro krytí potřeby tepla (minimum z dostupné energie z TČ a potřeby tepla)
  - potřeba elektřiny pro TČ (dodaná energie / COP)
  - potřeba dodatkového tepla ze záložního zdroje (potřeba – dodaná)
  - provozní doba TČ (dodaná energie / výkon)
  - potřeba pomocné elektřiny (doba provozu \* příkon pomocných zař.)



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

### charakteristiky tepelného čerpadla

Topný výkon (kW), příkon (kW) a topný faktor ε

teplota venkovního vzduchu	topný výkon při teplotě topné vody			příkon při teplotě topné vody			topný faktor při teplotě topné vody		
	35°C	50°C	60°C	35°C	50°C	60°C	35°C	50°C	60°C
-20	4,5	4,7	4,8	2,1	2,7	3,2	2,2	1,8	1,5
-15	5,4	5,6	5,8	2,1	2,8	3,3	2,6	2	1,8
-7	6,6	6,8	7,1	2,2	2,9	3,5	3	2,4	2
+2	8,1	7,9	8	2,4	2,9	3,7	3,4	2,7	2,1
+7	9	8,6	8,6	2,3	3	3,5	4	2,9	2,5
+10	9,5	8,8	8,9	2,3	2,8	3,4	4,2	3,1	2,6
+15	11	10,7	10,1	2,5	3	3,5	4,5	3,5	2,9
+20	12,1	12	11,3	2,5	3,1	3,6	4,8	3,8	3,2
+30	13,7	14,2	13,6	2,7	3,3	3,8	5,1	4,4	3,5
+40	14	14,6	14,1	2,7	3,3	3,9	5,2	4,4	3,6

$$\Phi = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2}$$

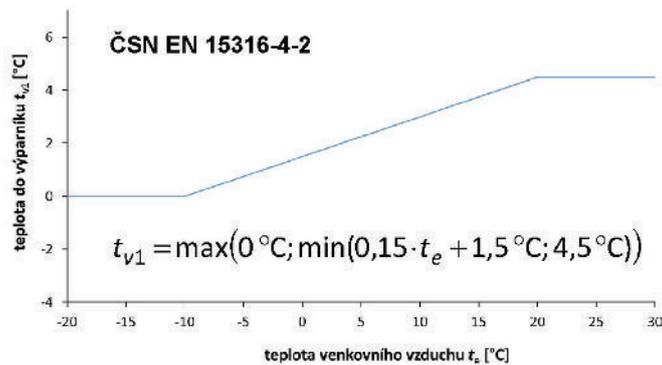
$$COP = a + b \cdot t_{v1} + c \cdot t_{k2} + d \cdot t_{v1}^2 + e \cdot t_{k2}^2 + f \cdot t_{v1} \cdot t_{k2}$$



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

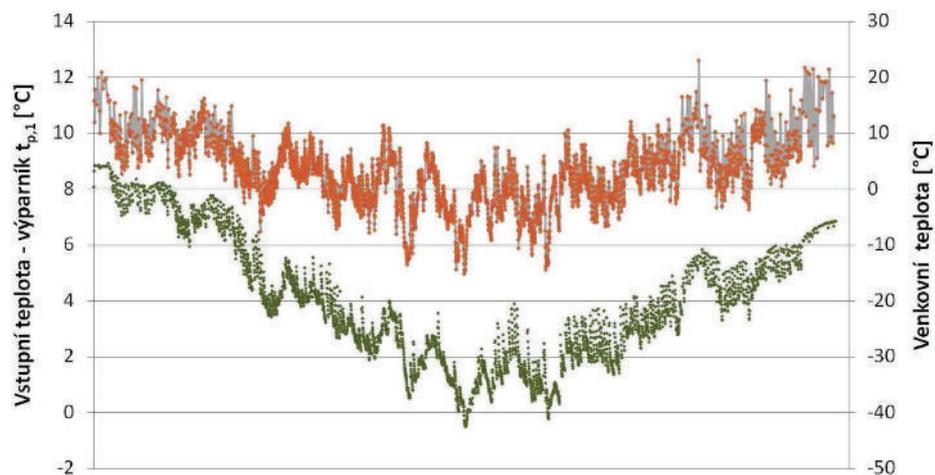
### ▪ teplota na vstupu do výparníku během roku

- vzduch – voda  $t_{v1} = t_e$
- voda – voda  $t_{v1} = 10 \text{ °C}$
- země – voda  $t_{v1} = f(t_e)$



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

### měření na vrtu FS, ČVUT v Praze

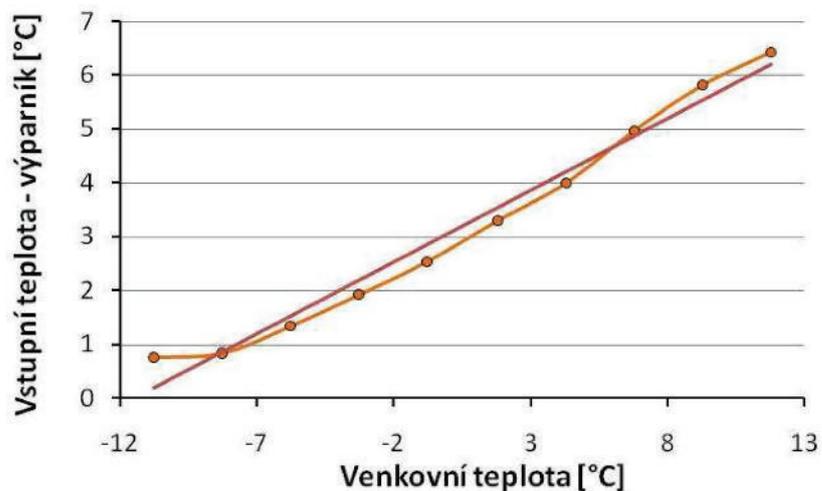


zdroj: R. Krainer



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

### teplota na vstupu do tepelného čerpadla (země-voda)



zdroj: R. Krainer

UCEEB)

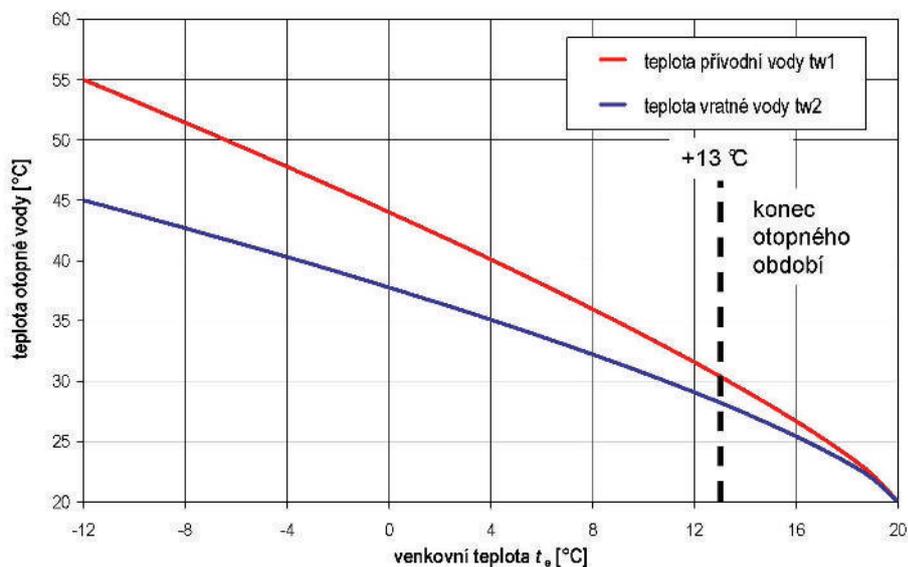
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

33 | 41



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

### teplota na výstupu z tepelného čerpadla (vytápění)



UCEEB)

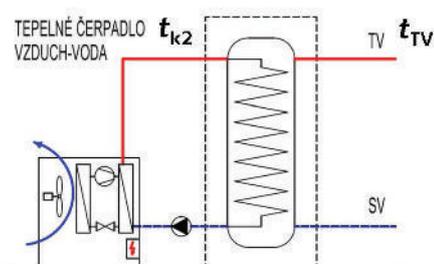
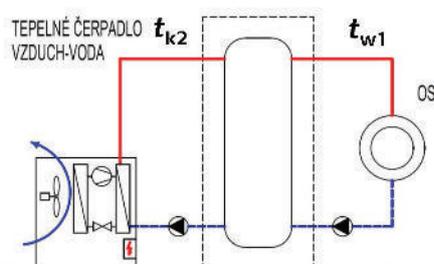
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

34 | 41



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

- navýšení teploty na výstupu z TČ
  - vytápění: akumulční nádoba, hystereze nabíjení
  - příprava teplé vody: výměník tepla, teplotní rozdíl



UCEEB)

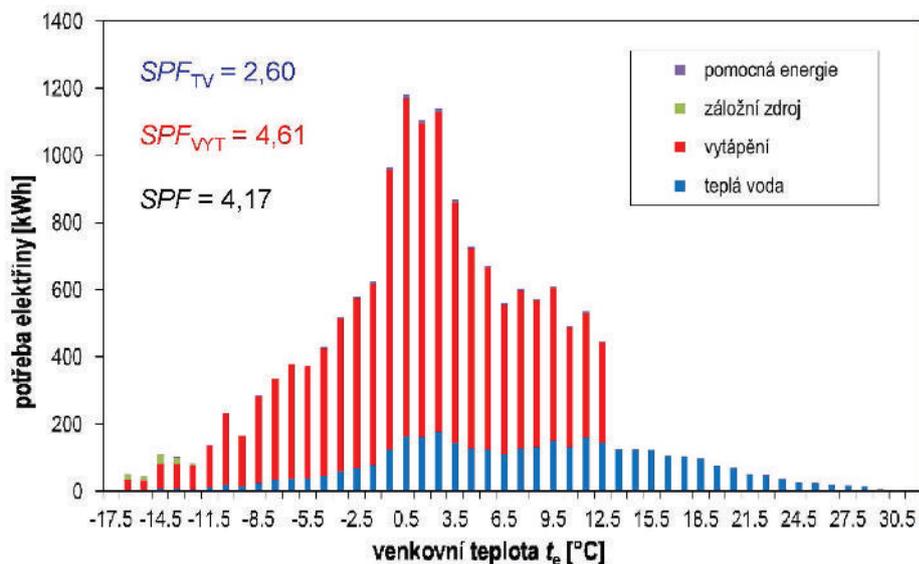
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

35 | 41



## TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

### výsledky



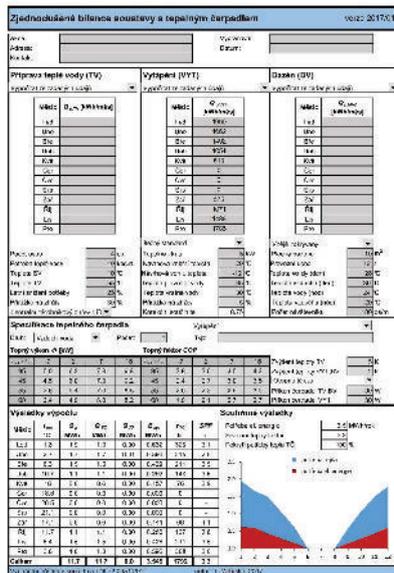
UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

36 | 41



# TNI 73 0351 BILANCE TC 2017



← základní informace

← potřeba tepla  
- výpočet  
- zadání

← specifikace tepelného čerpadla

← výsledky výpočtu

[http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page\\_id=161](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=161)

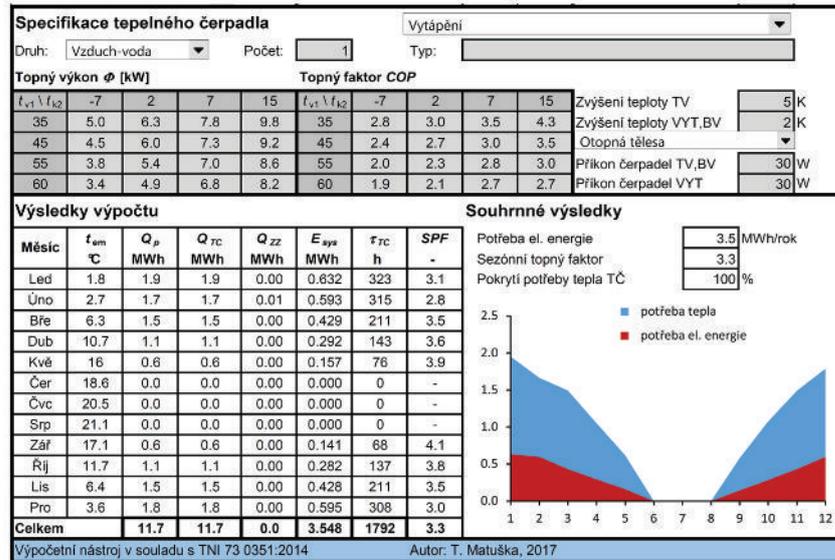


# TNI 73 0351 BILANCE TC 2017

Příprava teplé vody (TV)		Vytápění (VYT)		Bazén (BV)	
Vypočítat ze zadaných údajů		Vypočítat ze zadaných údajů		Vypočítat ze zadaných údajů	
Měsíc	Q <sub>p,TV</sub> [kWh/měs]	Měsíc	Q <sub>p,VYT</sub> [kWh/měs]	Měsíc	Q <sub>p,BAZ</sub> [kWh/měs]
Led		Led	1950	Led	
Úno		Úno	1662	Úno	
Bře		Bře	1492	Bře	
Dub		Dub	1054	Dub	
Kvě		Kvě	613	Kvě	
Čer		Čer	0	Čer	
Čvc		Čvc	0	Čvc	
Srp		Srp	0	Srp	
Zář		Zář	576	Zář	
Říj		Říj	1071	Říj	
Lis		Lis	1488	Lis	
Pro		Pro	1785	Pro	
Počet osob	4 os	Běžný standard		Vnější zakryvaný	
Potřeba teplé vody	40 l/os.d	Tepelná ztráta	5 kW	Plocha bazénu	10 m <sup>2</sup>
Teplota SV	10 °C	Návrhová vnitřní teplota	20 °C	Provozní doba	12 h
Teplota TV	55 °C	Návrhová venk. teplota	-12 °C	Teplota vo dy (den)	28 °C
Letní snížení potřeby	25 %	Teplota p řivodní vody	35 °C	Teplota vzduchu (den)	30 °C
Přirážka na ztráty	30 %	Teplota vratné vody	30 °C	Teplota vody (noc)	24 °C
Centrální zásobník ohřev s říz		Přirážka na ztráty	5 %	Teplota vzduchu (noc)	20 °C
		Korekční součinitel	0.75	Počet návštěvníků	100 os/m



# TNI 73 0351 BILANCE TC 2017



## ZÁVĚR

- BILANCE SS - výpočtový nástroj pro hodnocení solárních soustav
- BILANCE TC - výpočtový nástroj pro hodnocení soustav s tepelnými čerpadly
  - zjednodušené výpočty (měsíční rozlišení, intervaly teplot)
  - dostupné zdarma
  - návod k použití na webu



**Zjednotěná měřicí bilance sálami tepelné soustavy** (10.12.2015)

Objem:  Množství:

Průtok (m³/h)	Teplota (°C)	Průtok (m³/h)	Teplota (°C)	Měrná teplota (°C)	Průtok (m³/h)
24	23,2	24	23,2	23,2	24
100	23,1	100	23,1	23,1	100
174	23,2	174	23,2	23,2	174
250	23,2	250	23,2	23,2	250
325	23,2	325	23,2	23,2	325
400	23,2	400	23,2	23,2	400
475	23,2	475	23,2	23,2	475
550	23,2	550	23,2	23,2	550
625	23,2	625	23,2	23,2	625
700	23,2	700	23,2	23,2	700
775	23,2	775	23,2	23,2	775
850	23,2	850	23,2	23,2	850
925	23,2	925	23,2	23,2	925
1000	23,2	1000	23,2	23,2	1000

**Výsledky výpočtu**

Měrná teplota (°C)	Průtok (m³/h)				
23,2	24	24	24	24	24
23,1	100	100	100	100	100
23,2	174	174	174	174	174
23,2	250	250	250	250	250
23,2	325	325	325	325	325
23,2	400	400	400	400	400
23,2	475	475	475	475	475
23,2	550	550	550	550	550
23,2	625	625	625	625	625
23,2	700	700	700	700	700
23,2	775	775	775	775	775
23,2	850	850	850	850	850
23,2	925	925	925	925	925
23,2	1000	1000	1000	1000	1000

**Zjednotěná měřicí bilance soustavy a řádkovým čerpadlem** (10.12.2015)

Objem:  Množství:

Průtok (m³/h)	Teplota (°C)	Průtok (m³/h)	Teplota (°C)	Měrná teplota (°C)	Průtok (m³/h)
24	23,2	24	23,2	23,2	24
100	23,1	100	23,1	23,1	100
174	23,2	174	23,2	23,2	174
250	23,2	250	23,2	23,2	250
325	23,2	325	23,2	23,2	325
400	23,2	400	23,2	23,2	400
475	23,2	475	23,2	23,2	475
550	23,2	550	23,2	23,2	550
625	23,2	625	23,2	23,2	625
700	23,2	700	23,2	23,2	700
775	23,2	775	23,2	23,2	775
850	23,2	850	23,2	23,2	850
925	23,2	925	23,2	23,2	925
1000	23,2	1000	23,2	23,2	1000

**Výsledky výpočtu**

Měrná teplota (°C)	Průtok (m³/h)				
23,2	24	24	24	24	24
23,1	100	100	100	100	100
23,2	174	174	174	174	174
23,2	250	250	250	250	250
23,2	325	325	325	325	325
23,2	400	400	400	400	400
23,2	475	475	475	475	475
23,2	550	550	550	550	550
23,2	625	625	625	625	625
23,2	700	700	700	700	700
23,2	775	775	775	775	775
23,2	850	850	850	850	850
23,2	925	925	925	925	925
23,2	1000	1000	1000	1000	1000

tomas.matuska@cvut.cz



# ŠTÍTKOVÁNÍ TEPELNÝCH ČERPADEL

**Jan Sedlář, Energetické systémy budov, UCEEB  
ČVUT v Praze**



## OBSAH PREZENTACE

1. Úvod
2. Zkoušení tepelných čerpadel v režimu částečného zatížení
3. Legislativní podklady k energetickému štítkování
4. Energetický štítek tepelných čerpadel
5. Ekodesign ohřivačů vnitřních prostor
6. Informační list výrobku
7. Výhledy



## ÚVOD



- Označování TČ a dalších zdrojů tepla energetickými štítky je povinné
  - směrnice 2010/30/EU

- Zdroje tepla zařazovány do tříd energetické efektivity
  - orientace zákazníka



- Sezónní energetická účinnost vytápění
  - vyjádření účinnosti zdroje tepla podle využití primární energie
- Zkoušení v režimu částečného zatížení
  - TČ pracují během roku v proměnných podmínkách
  - mění se topný výkon, topný faktor, požadovaný výkon, atd.



# ZKOUŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL PRO ŠTÍTKOVÁNÍ



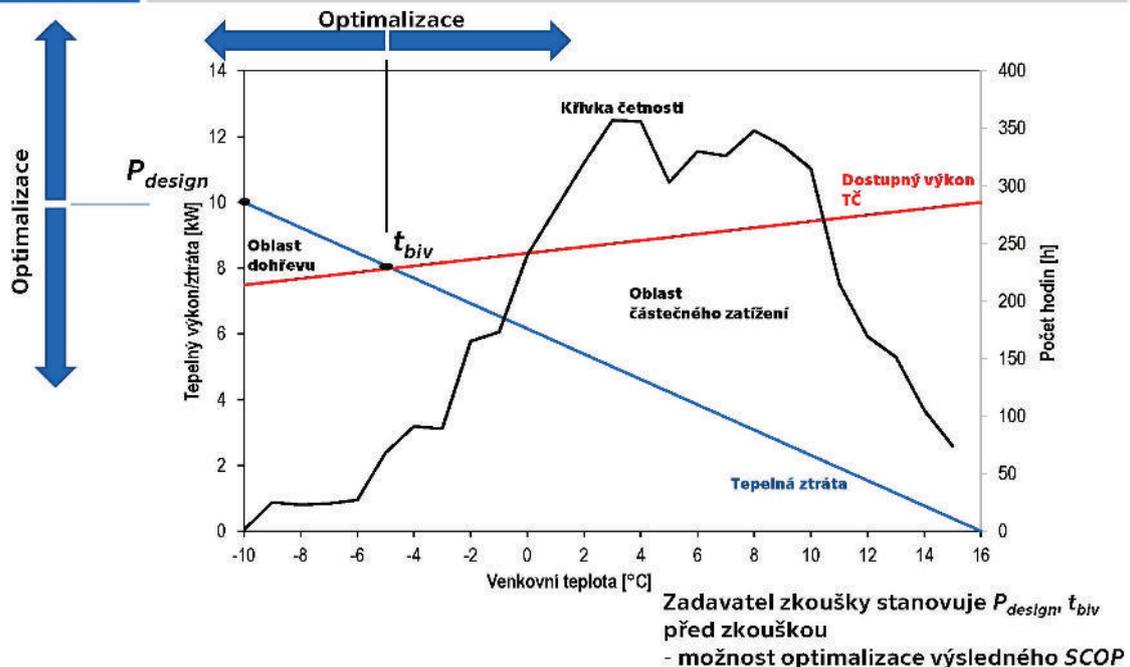


## ZKOUŠENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL PRO ŠTÍTKOVÁNÍ V REŽIMU ČÁSTEČNÉHO ZATÍŽENÍ

- Zkoušení popsáno v normě ČSN EN 14825
- Výsledkem testu a následného výpočtu je hodnota **SCOP**
  - nutná pro stanovení sezónní energetické efektivity tepelného čerpadla
- Hodnota **SCOP** vyjadřuje topný faktor TČ i se započtením bivalentního zdroje tepla (elektrický odporový ohříváč) v budově s určitou tepelnou ztrátou a v laboratorních podmínkách

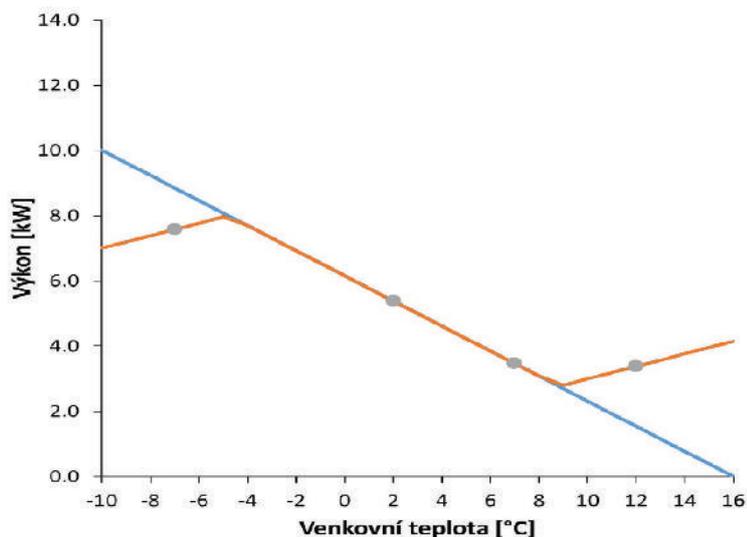


## ČÁSTEČNÉ ZATÍŽENÍ





## TEPELNÉ ČERPADLO S MODULACÍ VÝKONU



## HLAVNÍ PRINCIPY

- Tepelné čerpadlo zkušeno v režimu částečného zatížení
  - snaha o simulaci reálnějšího chování TČ při vytápění
- Výhody testu
  - efektivita TČ je vyjádřena pouze jediným číslem
  - hodnoceno při širokém spektru provozních podmínek
- Nevýhody testu
  - laboratorní podmínky – nerealistická otopná soustava
  - výsledky testu jsou obtížně aplikovatelné na jiné provozní podmínky
  - zkušeno velké množství provozních podmínek



## ZKUŠEBNÍ PODMÍNKY

- Klimatické podmínky
  - průměrné  $t_{design} = -10\text{ °C}$  - odpovídá Štrasburku
  - chladnější  $t_{design} = -22\text{ °C}$  - odpovídá Helsinkám
  - teplejší  $t_{design} = +2\text{ °C}$  - odpovídá Aténám
- Aplikace = návrhová teplota otopné soustavy
  - **35 °C při  $t_{design}$**
  - 45 °C při  $t_{design}$
  - **55 °C při  $t_{design}$**
  - 65 °C při  $t_{design}$



## POZNÁMKA

Příklad: Tepelné čerpadlo vzduch-voda by mělo být zkušeno pro energetický štítek pro

- 3 klimatické oblasti
  - průměrná cca 6 bodů
  - chladnější cca 7 bodů
  - teplejší cca 4 body
- 2 teplotní aplikace

Celkem měřeno cca 34 bodů

- proto se na zkušebně měří pouze některé body, zbytek se dopočítává
  - charakteristika kompresoru



## ZKUŠEBNÍ BODY

- Příklad provozních podmínek
  - průměrné klimatické podmínky, nízkoteplotní aplikace

Bod zkoušky	Koefficient částečného zatížení PL		Výparník (venkovní výměník)	Kondenzátor (vnitřní výměník)
	Vztah	[-]	Vstupní teplota $t_{v1}$ [°C]	Výstupní teplota $t_{v2}$ [°C]
A	$(-7 - 16) / (t_{design} - 16)$	0.88	-7	34
B	$(+2 - 16) / (t_{design} - 16)$	0.54	2	30
C	$(+7 - 16) / (t_{design} - 16)$	0.35	7	27
D	$(+12 - 16) / (t_{design} - 16)$	0.15	12	24
E	$(t_{design} - 16) / (t_{design} - 16)$	stanoví se podle TOL	TOL	stanoví se interpolací nebo extrapolací
F	$(t_{biv} - 16) / (t_{design} - 16)$	stanoví se podle $t_{biv}$	$t_{biv}$	stanoví se interpolací



### Změna výstupní teploty z kondenzátoru podle ekvitermní teploty

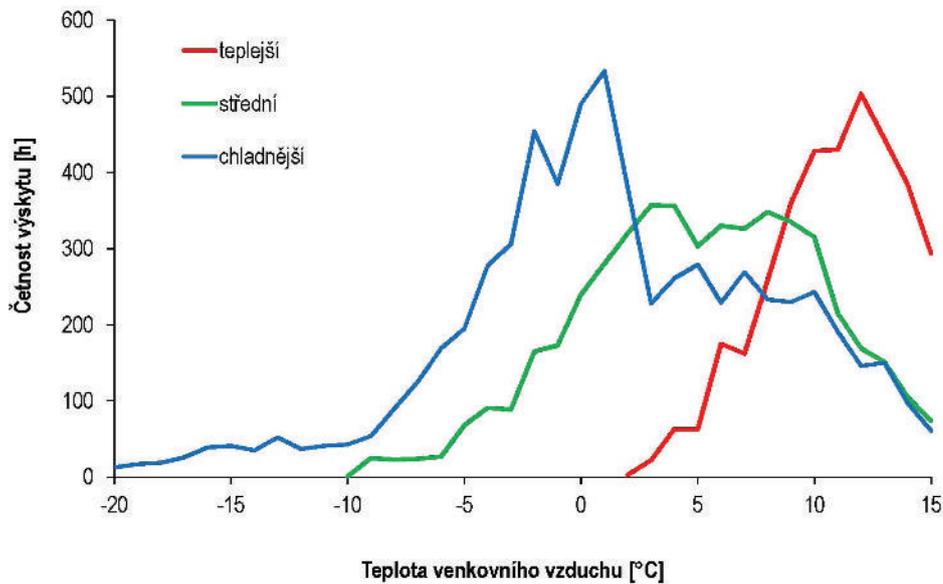


## INTERVALOVÁ METODA

- Pro stanovení  $SCOP$  je nejprve stanoven  $SCOP_{on}$
- $SCOP_{on}$  udává topný faktor TČ a záložního elektrického ohřivače v chodu TČ (aktivní režim)
  - včetně korekce topného faktoru na cyklování
- $SCOP_{on}$  je stanoven intervalovou metodou
- Intervalová metoda
  - rozděluje otopné období do intervalů v jednotlivých teplotách venkovního vzduchu s různou četností výskytu



## KLIMATICKÁ DATA



## INTERVALOVÁ METODA

- Při každé venkovní teplotě je stanoven
  - dostupný topný výkon TČ
  - **tepelná ztráta budovy, spotřeba tepla**
  - příkon záložního zdroje tepla
  - topný faktor TČ – korigovaný o cyklování
  - **celková spotřeba elektrické energie**
- Výsledný  $SCOP_{on}$  je určen jako

$$SCOP_{on} = \frac{Q_H}{E_{EL}}$$

suma spotřeb tepla budovy  
suma spotřeby elektrické energie



## INTERVALOVÁ METODA

- Celková spotřeba elektrické energie během roku

$$E_H = E_{EL} + E_{aux}$$

- $E_{aux}$  – spotřeba pomocné el. energie
  - zahrnuje spotřebu TČ v jiných provozních stavech než v chodu
    - stand-by, ohřívání kompresoru, vypnutém stavu, apod.
- Výsledný **SCOP**

$$SCOP = \frac{Q_H}{E_H}$$

Potřeba tepla na vytápění [kWh]

Spotřeba elektrické energie [kWh]



## ŠTÍTKOVÁNÍ



## LEGISLATIVNÍ PRAMENY

### Směrnice Rady 92/75/EHS

- označování energetickými štítky
- uvádění informací o výrobku



Týká se pouze se určitých typů spotřebičů **pro domácnost**

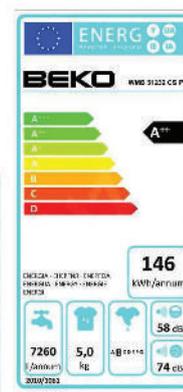
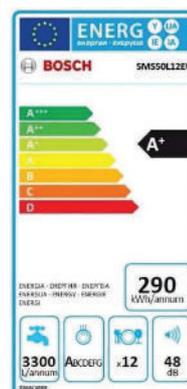
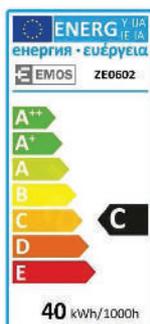
### Orientace na koncového spotřebitele



## LEGISLATIVNÍ PRAMENY - 92/75/EHS

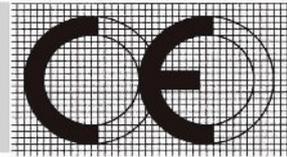
Směrnice se vztahuje na

- chladničky, mrazničky a jejich kombinace
- pračky, sušičky a jejich kombinace
- myčky nádobí
- elektrické trouby
- ohřívače vody a zásobníky teplé vody
- zdroje světla
- klimatizační zařízení.





## LEGISLATIVNÍ PRAMENY



Směrnice 2005/32/ES a Směrnice 2009/125/ES

- Rozšiřuje pojem energetického spotřebiče
  - energetický spotřebič je po uvedení na trh závislý na energetickém vstupu (elektrická energie, fosilní paliva nebo obnovitelné zdroje energie).
- Směrnice zavádí pojem Ekodesign
  - minimální energetická efektivita
  - minimální emisní standardy
- Označení shody CE



## LEGISLATIVNÍ PRAMENY

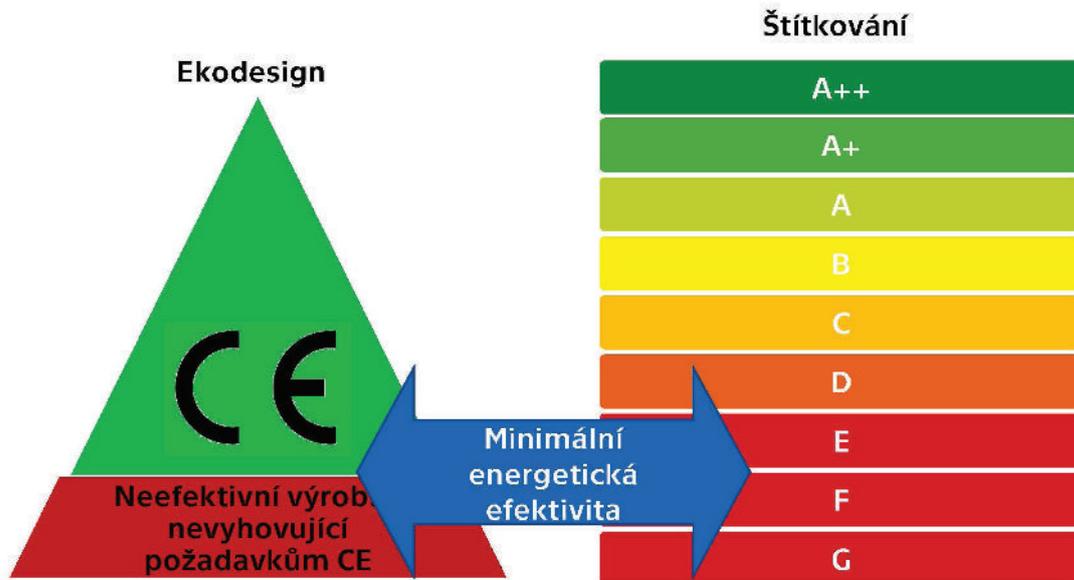
Směrnice 2010/30/EU

- Dokument rozšiřuje oblast výrobků podléhající štítkování
  - odstraňuje omezení na výrobky pro domácnosti
  - vztahuje se na všechny výrobky spojené se spotřebou energie
- Tento dokument předznamenal vznik nařízení pro štítkování a ekodesign ohřivačů
- Seznam výrobků podléhajících ekodesignu a štítkování
  - nově např.: vysavače, servery, čerpadla, elektromotory, kotle na tuhá paliva, ventilátory...

<https://www.mpo.cz/dokument80915.html>



## VZTAH ENERGETICKÉHO ŠTÍTKOVÁNÍ A EKODESIGNU



## 1. LEGISLATIVNÍ PRAMENY OHŘÍVAČE

### Základní nařízení

- Nařízení Komise 811/2013
- Nařízení Komise 812/2013
- Nařízení Komise 813/2013
- Nařízení Komise 814/2013

Zdroje pro vytápění,  
kombinované zdroje

Příprava teplé vody

### Prováděcí dokumenty

- Sdělení Komise 2014/C 207/02
- Sdělení Komise 2014/C 207/03





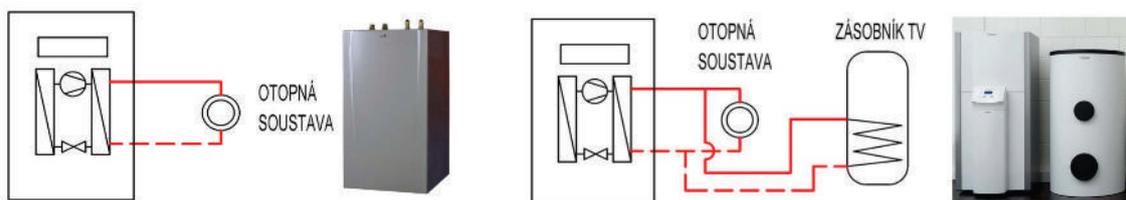
## HLAVNÍ INFORMACE

- **Za informace na energetickém štítku a informačním listu ručí výrobce zařízení**
  - **zkouška na zkušebně není povinná**
- Dohled nad trhem v ČR má Státní energetická inspekce
- V případě pochybností o pravdivosti informací na štítku může státní orgán nařídit přezkoušení zařízení v akreditované zkušebně
- V případě neshody mezi informací obsaženou v informačním listu a naměřenými daty ze zkušebny dojde k přezkoušení dalších zařízení a posléze až k zákazu prodeje v EU

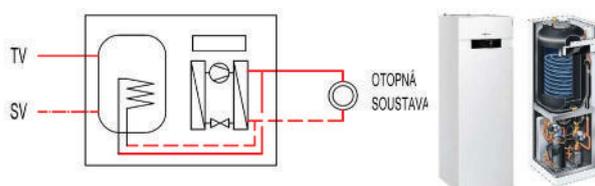


## 2. ENERGETICKÝ ŠTÍTEK TČ ZÁKLADNÍ POJMY

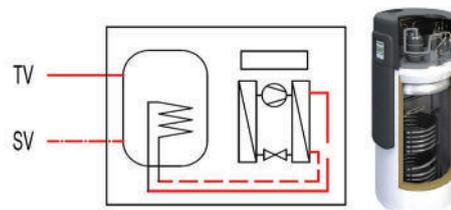
Tepelné čerpadlo pro vytápění vnitřních prostor



Kombinované tepelné čerpadlo



TČ pro přípravu TV





## ZÁKLADNÍ POJMY

### Tepelné čerpadlo nízkoteplotní

- není schopné při referenčních podmínkách pro mírné klima ( $-7\text{ °C}$ ) ohřát vodu na  $52\text{ °C}$
- nelze použít pro přípravu teplé vody
- zkoušeno pouze pro nízkoteplotní aplikaci (otopnou soustavu)

### Běžná tepelná čerpadla

- hodnocena pro nízkoteplotní a středněteplotní aplikace
- středněteplotní aplikace – teplota vody za kondenzátorem  $55\text{ °C}$

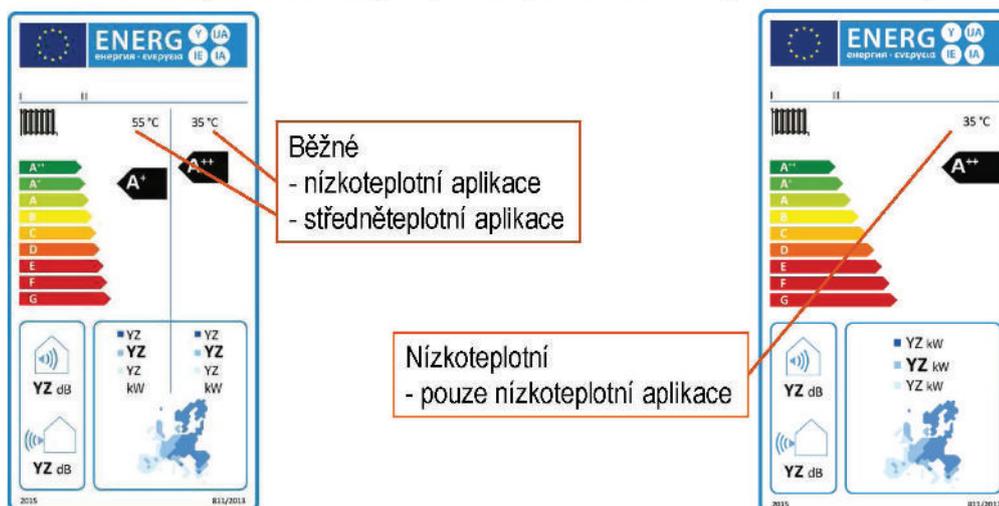
### Kombinovaná tepelná čerpadla

- samostatný přívod studené vody
- zkouší se pro vytápění i pro přípravu teplé vody samostatně
- pro přípravu teplé vody platí požadavky z Nařízení Komise 812/2013



## ZÁKLADNÍ POJMY

- Grafická podoba je dána Nařízením Komise 811/2013
- Rozlišuje se mezi tepelným čerpadlem nízkoteplotním a běžným





## GRAFICKÁ PODOBA

název nebo ochranná známka dodavatele

identifikační značka modelu

funkce vytápění

středněteplotní aplikace

nízkoteplotní aplikace

třída energetické účinnosti vytápění za průměrných klimatických podmínek

jmennovitý topný výkon za průměrných, chladnějších a teplejších klimatických podmínek

hladina akustického výkonu jednotky ve vnitřním a/nebo venkovním prostředí

teplotní mapa Evropy se třemi klimatickými zónami



## TŘÍDY ENERGETICKÉ ÚČINNOSTI

Smí se uvádět od 26.9.2019

Běžná tepelná čerpadla		Nízkoteplotní tepelná čerpadla	
Třída sezónní energetické účinnosti vytápění	Sezónní energetická účinnost vytápění $\eta_s$ [%]	Třída sezónní energetické účinnosti vytápění	Sezónní energetická účinnost vytápění $\eta_s$ [%]
A+++	$\eta_s \geq 150$	A+++	$\eta_s \geq 175$
A++	$125 \leq \eta_s < 150$	A++	$150 \leq \eta_s < 175$
A+	$98 \leq \eta_s < 125$	A+	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$90 \leq \eta_s < 98$	A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$82 \leq \eta_s < 90$	B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$75 \leq \eta_s < 82$	C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$36 \leq \eta_s < 75$	D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$34 \leq \eta_s < 36$	E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$30 \leq \eta_s < 34$	F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 30$	G	$\eta_s < 55$

Středněteplotní aplikace  
- vytápění na 50/55 °C

Nízkoteplotní aplikace  
- vytápění 30/35 °C



## SEZÓNÍ ENERGETICKÁ ÚČINNOST VYTÁPĚNÍ

- Určuje efektivitu využití primární energie – uhlí, zemní plyn, atd.
- Pro tepelná čerpadla je určena jako:

$$\eta_s = \frac{SCOP}{CC} - \sum F(i)$$

sezónní topný faktor

$F_1$  [-] zahrnuje negativní vliv regulace teploty uživatelem je předepsáno použití hodnoty 3 %

$F_2$  [-] zachycuje negativní vliv příkonu oběhových čerpadel použitých v okruhu výparníku  
 vzduch-voda  $F_2 = 0 \%$   
 kapalina-voda  $F_2 = 5 \%$

převodní koeficient o hodnotě 2,5



## EKODESIGN OHŘÍVAČŮ VNITŘNÍCH PROSTOR



Požadavky na energetickou účinnost tepelných čerpadel v režimu vytápění platné **od 26. září 2015**

Typ TČ	standardní			nizkoteplotní		
	$\eta_s$ [%]	třída en. účinnosti	SCOP [-]	$\eta_s$ [%]	třída en. účinnosti	SCOP [-]
vzduch-voda, vzduch-vzduch	<b>100</b>	A+	2.58	<b>115</b>	A	2.95
kapalina-voda, voda-voda			2.70			3.08

Požadavky na energetickou účinnost tepelných čerpadel v režimu vytápění platné **od 26. září 2017**

Typ TČ	standardní			nizkoteplotní		
	$\eta_s$ [%]	třída en. účinnosti	SCOP [-]	$\eta_s$ [%]	třída en. účinnosti	SCOP [-]
vzduch-voda, vzduch-vzduch	<b>110</b>	A+	2.83	<b>125</b>	A+	3.20
kapalina-voda, voda-voda			2.95			3.33



## EKODESIGN OHŘÍVAČŮ VNITŘNÍCH PROSTOR

### POŽADAVKY EKODESIGNU - OSTATNÍ SPOTŘEBIČE

- Ekodesign podle 813/2013 rozlišuje mezi spotřebiči při vytápění (na rozdíl od přípravy teplé vody)

Zdroj tepla	Sezónní účinnost	Min. energetická třída
Palivové kotlové ohřivače pro vytápění: 10 < výkon ≤ 70 kW Palivové kotlové ohřivače kombinované: 30 < výkon ≤ 70 kW	86 %	B
Palivové kotlové ohřivače pro vytápění: výkon < 10 kW Palivové kotlové ohřivače kombinované: výkon < 30 kW	75 %	C
Elektrické kotlové ohřivače	30 %	F
Kogenerační ohřivače	86 %	B



## EKODESIGN OHŘÍVAČŮ VNITŘNÍCH PROSTOR

### Další požadavky ekodesignu

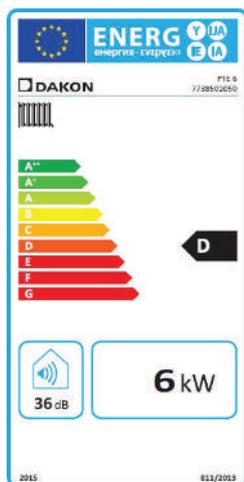
- Maximální hladina akustického výkonu  $L_{WA}$

Jmenovitý tepelný výkon [kW]	≤ 6	≤ 12 > 6	≤ 30 > 12	≤ 70 > 30
vnitřní prostor	60	65	70	80
venkovní prostor	65	70	78	88

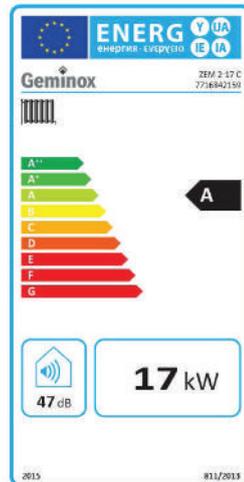


## PŘÍKLADY ENERGETICKÝCH ŠTÍTKŮ

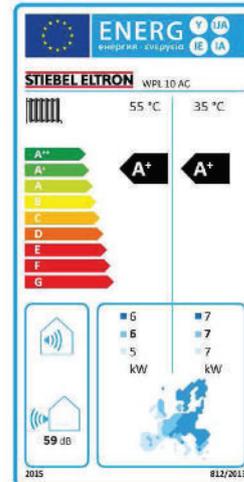
Elektrokotel



Kondenzační  
plynový kotel

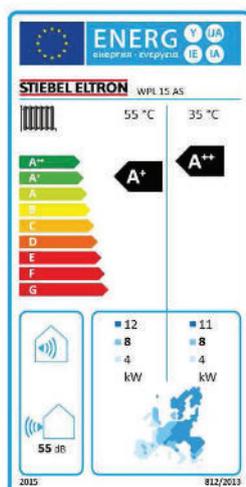


Tepelné čerpadlo  
vzduch-voda

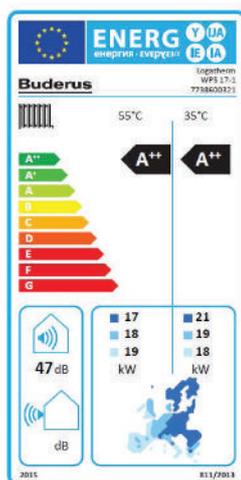


## PŘÍKLADY ENERGETICKÝCH ŠTÍTKŮ

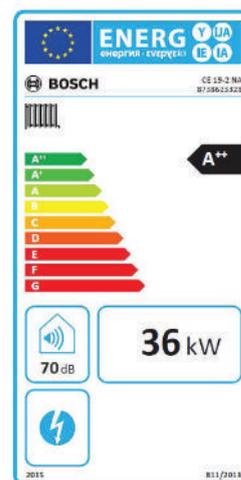
TČ vzduch-voda s  
modulací výkonu



TČ země-voda



Kogenerační jednotka





## INFORMAČNÍ LIST VÝROBKU

V informačním listu TČ jsou zapsány základní údaje o TČ, např.:

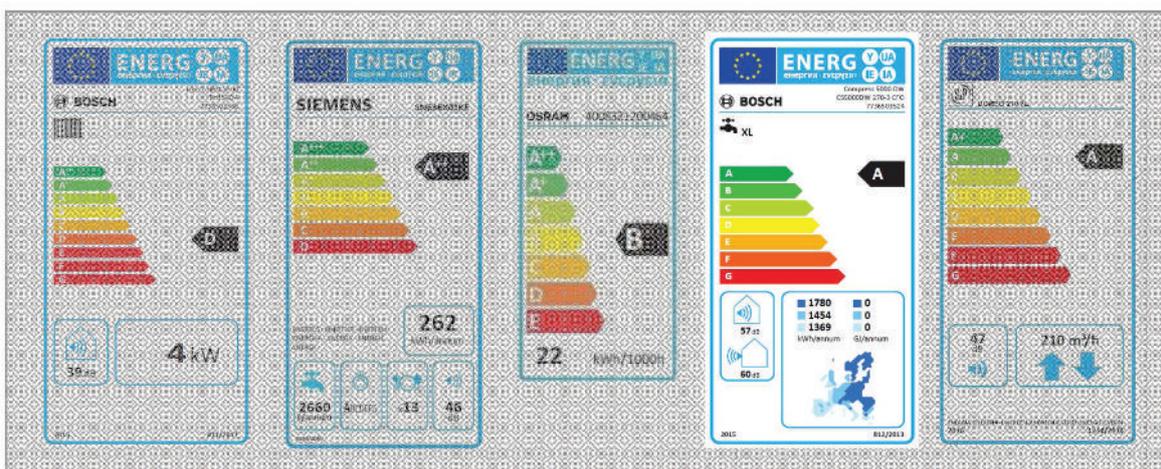
- výrobce a model
- jmenovitý topný výkon
- deklarované hodnoty topného výkonu a topného faktoru
- energetická efektivita a zkušební podmínky
  - za jednotlivých klimatických podmínek
- hladina akustického výkonu  $L_{WA}$  ve vnitřním prostoru a venkovním prostoru

**Nařízení předepisuje přesně obsah a pořadí informací v informačním listu, ne jeho grafickou podobu.**



## VÝHLEDY

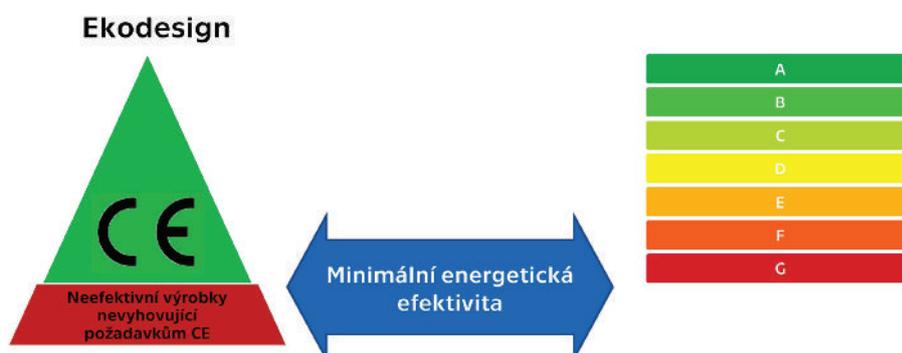
- dne 13.5.2015 Evropský parlament schválil nové NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY - bude zrušena směrnice 2010/30/EU
  - od A do G (konec A+, A++, případně A+++)





## VÝHLEDY

- Dojde ke sjednocení limitu ekodesignu a energetických tříd



- V okamžiku uvedení nového štítku budou požadavky na energetickou efektivitu A a B tak vysoko, aby je žádný existující výrobek nesplnil



# DĚKUJI ZA POZORNOST

[jan.sedlar@cvut.cz](mailto:jan.sedlar@cvut.cz)





# AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍKY A VÝMĚNÍKY PARAMETRY A JEJICH ZKOUŠENÍ

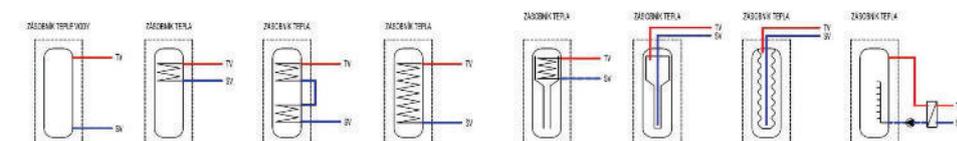
Tomáš Matuška

UCEEB, České vysoké učení technické v Praze



## ZÁSOBNÍKY

- zásobníky teplé vody
- zásobníky tepla (nádrže, s výměníkem, s více výměníky, ...)
- kombinované zásobníky (otopná voda, s integrovanou přípravou teplé vody, ...)
- ohřívače vody (elektrické, plynové, solární, ...)





## PARAMETRY

- tepelná ztráta
- odebraný užitečný výkon, odebraná energie, výtoč teplé vody
- teplotní vrstvení a eliminace jeho degradace při provozu

**rozhodují o využitelnosti akumulované energie**

- spotřeba energie ohřivačem vody pro krytí definovaného denního odběru (zkoušení pro energetický štítek)

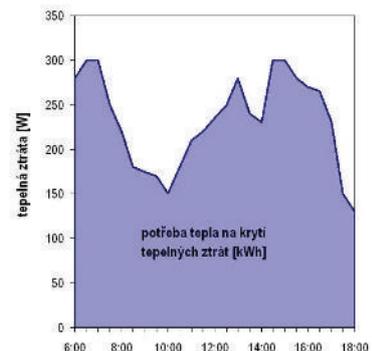


## TEPELNÁ ZTRÁTA

$$\Phi_{loss} = U \cdot A \cdot (t_{aku} - t_{ok})$$

- měrná tepelná ztráta  $UA_{loss}$  [W/K]
  - lze stanovit teoreticky
  - lze stanovit testem
- energetická ztráta za časové období

$$Q_{loss} = \sum_{i=1}^n (U \cdot A)_{loss} \cdot (t_{aku,i} - t_{ok,i}) \cdot \Delta \tau_i \quad [J]$$





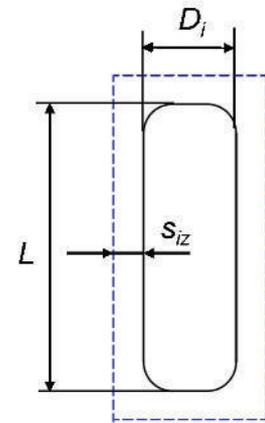
## TEORETICKÝ VÝPOČET

$$UA = \frac{L}{\cancel{\pi D_i \alpha_i} + \frac{1}{2\pi\lambda_{iz}} \ln \frac{D_i + 2s_{iz,s}}{D_i} + \frac{1}{\pi(D_i + 2s_{iz})\alpha_e}}$$

válcová stěna

$$+ \frac{\pi \cdot (D_i + 2 \cdot s_{iz,s})^2}{2 \cdot \left( \cancel{\alpha_i} + \frac{s_{iz,d}}{\lambda_{iz,d}} + \frac{1}{\alpha_e} \right)}$$

2 x dno

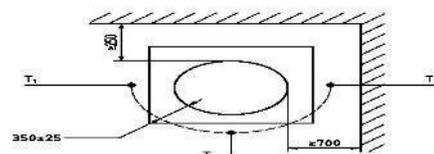
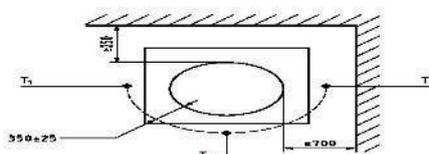
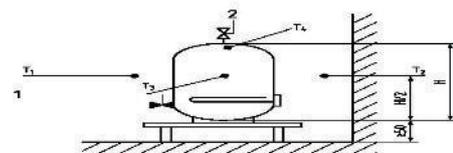
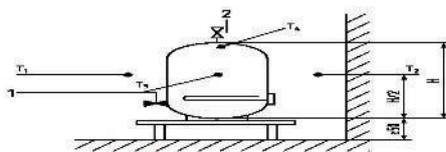


známe správnou vodivost izolace?  
tepelné mosty?



## TESTOVÁNÍ TEPELNÉ ZTRÁTY

- ČSN EN 12897 ... nepřímě ohříváné uzavřené zásobníkové ohřivače vody
- ČSN EN 60379 ... měření elektrických akumulčních ohřivačů vody ...
- ČSN EN 15332 ... stanovení energetické náročnosti zásobníků na teplou vodu





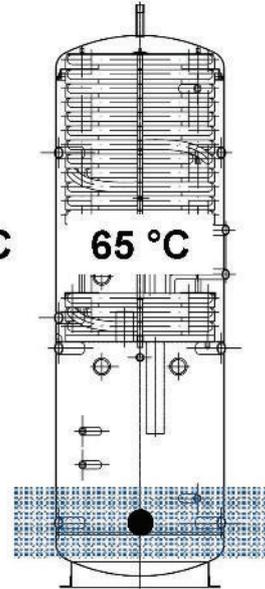
## TESTOVÁNÍ TEPELNÉ ZTRÁTY

- rozdíl teplot 45 K
- el. vložka **ve spodních 15 % zásobníku**
- měření el. energie
- odchylka v denní spotřebě < 3 %

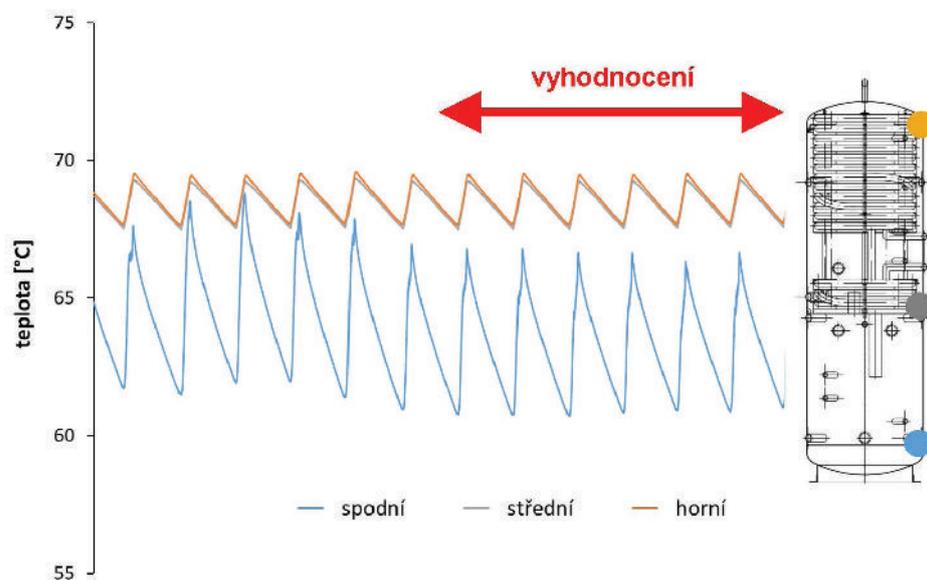
$$(U \cdot A)_{loss} = \frac{Q_{24} \cdot 1000}{24 \cdot (t_{aku,m} - t_{ok,m})} \quad [W/K]$$

20 °C

65 °C



## TESTOVÁNÍ TEPELNÉ ZTRÁTY





## TESTOVÁNÍ TEPELNÉ ZTRÁTY



ideálně (podle normy)

$$UA_{\text{loss}} = 2.5 \text{ W/K}$$

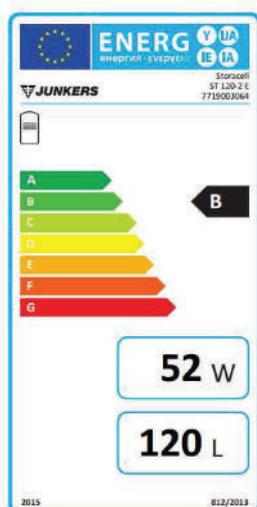


reálně (včetně připojení)

$$UA_{\text{loss}} = 3.0 \text{ W/K}$$



## ŠTÍTKOVÁNÍ ZÁSOBNÍKŮ



$$\Phi_{\text{loss}} = (U \cdot A)_{\text{loss}} \cdot (t_{\text{akv}} - t_{\text{ok}})$$

45 K



## ŠTÍTKOVÁNÍ ZÁSOBNÍKŮ

$$\Phi_{loss} = a + b \cdot V^n$$

Třídy energetické účinnosti zásobníků teplé vody

Třída energetické účinnosti	Statická ztráta $S$ ve watttech při užitém objemu $V$ v litrech
A+	$S < 5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4}$
A	$5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4} \leq S < 8,5 + 4,25 \cdot V^{0,4}$
B	$8,5 + 4,25 \cdot V^{0,4} \leq S < 12 + 5,93 \cdot V^{0,4}$
C	$12 + 5,93 \cdot V^{0,4} \leq S < 16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4}$
D	$16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 21 + 10,33 \cdot V^{0,4}$
E	$21 + 10,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 26 + 13,66 \cdot V^{0,4}$
F	$26 + 13,66 \cdot V^{0,4} \leq S < 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$
G	$S > 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$

Nařízení 812/2013

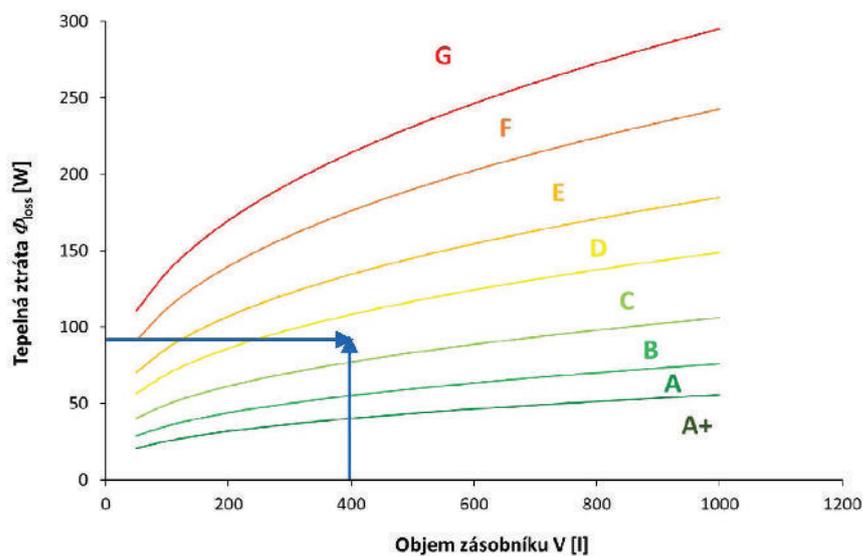
UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

11 | 28



## ŠTÍTKOVÁNÍ ZÁSOBNÍKŮ



UCEEB)

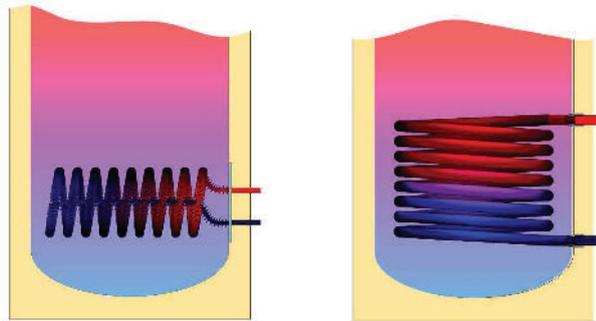
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

12 | 28



## VÝKON VÝMĚNÍKU

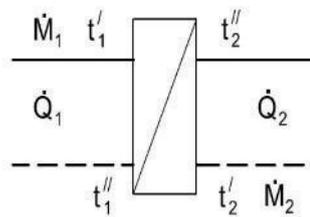
přenesení výměník výkon?



za jakých podmínek?



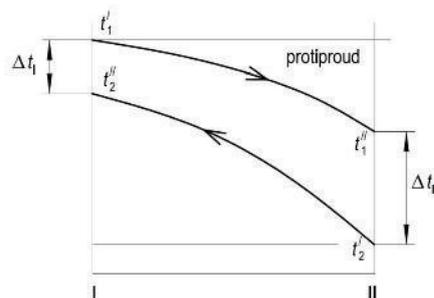
## VÝKON VÝMĚNÍKU



$$\dot{Q}_1 = \dot{M}_1 \cdot c_1 \cdot (t_1' - t_1'')$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{M}_2 \cdot c_2 \cdot (t_2' - t_2'')$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = U \cdot A \cdot \Delta t_m$$



$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_I - \Delta t_{II}}{\ln \frac{\Delta t_I}{\Delta t_{II}}}$$



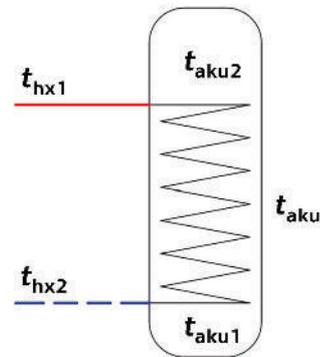
## VÝKON VÝMĚNÍKU

$$\Phi_{hx} = U \cdot A \cdot \Delta t_m = U \cdot A \cdot (t_{hx,m} - t_{aku})$$

- měrný výkon výměníku  $UA_{hx}$  [W/K]

- lze stanovit teoreticky (obtížně)
- lze stanovit testem

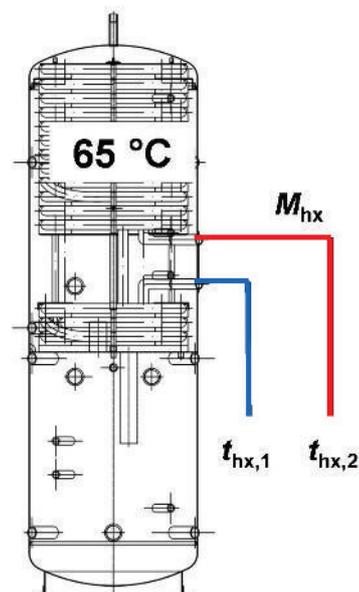
$$\Phi_{hx} = \dot{M} \cdot c \cdot (t_{hx1} - t_{hx2})$$



## TESTOVÁNÍ VÝKONU VÝMĚNÍKU $A = 6 \text{ M}^2$

- výměník přípravy teplé vody
- různé průtoky  
(300 l/h, 600 l/h, 900 l/h, 1200 l/h)
- různé teploty v zásobníku  
(37 °C, 65 °C)

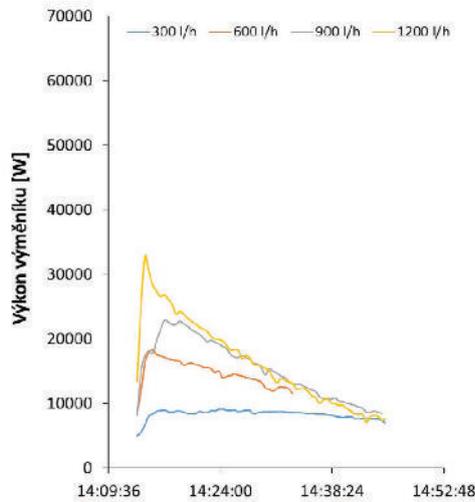
$$(U \cdot A)_{hx} = \frac{\dot{M}_{hx} \cdot c \cdot (t_{hx2} - t_{hx1})}{t_{aku,m} - t_{hx,m}} \quad [\text{W/K}]$$



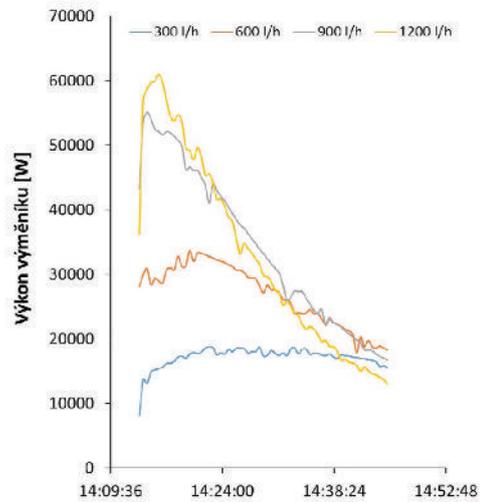


# TESTOVÁNÍ VÝKONU VÝMĚNÍKU A = 6 M<sup>2</sup>

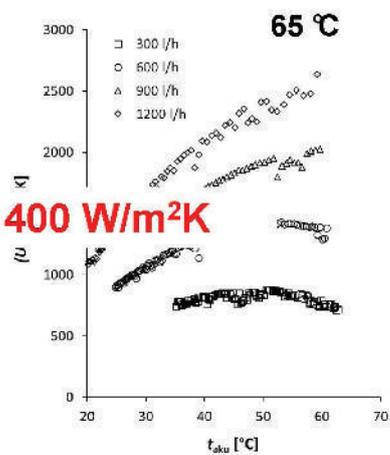
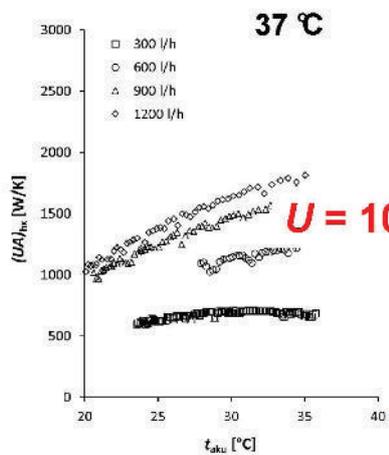
37 °C



65 °C



# TESTOVÁNÍ VÝKONU VÝMĚNÍKU A = 6 M<sup>2</sup>



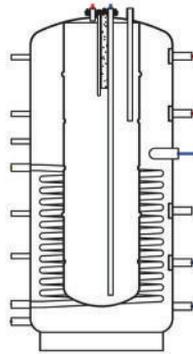
**U = 100 až 400 W/m<sup>2</sup>K**

$$(U \cdot A)_{hx} = (U \cdot A)_{hx,D} \cdot M_{hx}^{b_1} \cdot [t_{hx,m} - t_{aku,m}]^{b_2} \cdot \left[ \frac{t_{hx,m} + t_{aku,m}}{2} \right]^{b_3}$$



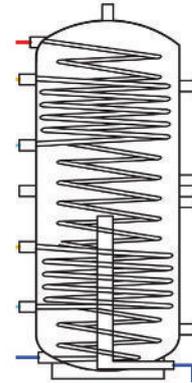
## VÝKON VÝMĚNÍKU PRO OHŘEV VODY

nádrž v nádrži



malá teplosměnná plocha  
malé odběry  
1 – 2 osoby

trubkový výměník

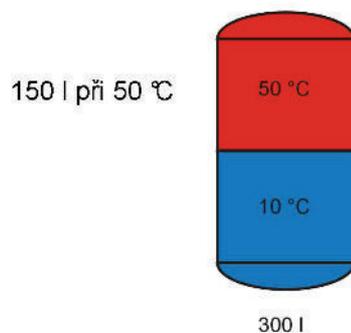


více než 2x větší plocha  
větší odběry  
3 - 4 osoby

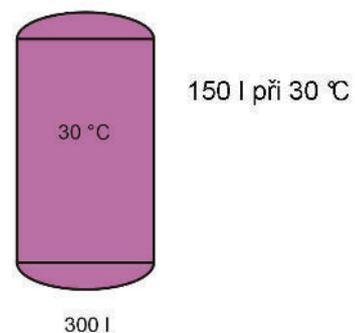


## TEPLOTNÍ VRSTVENÍ V ZÁSOBNÍKU STRATIFIKACE

teplotně rozvrstvený



zcela promíchaný



solární systémy: zvýšení pokrytí, zisků, účinnosti  
tepelná čerpadla: snížení spotřeby el. energie

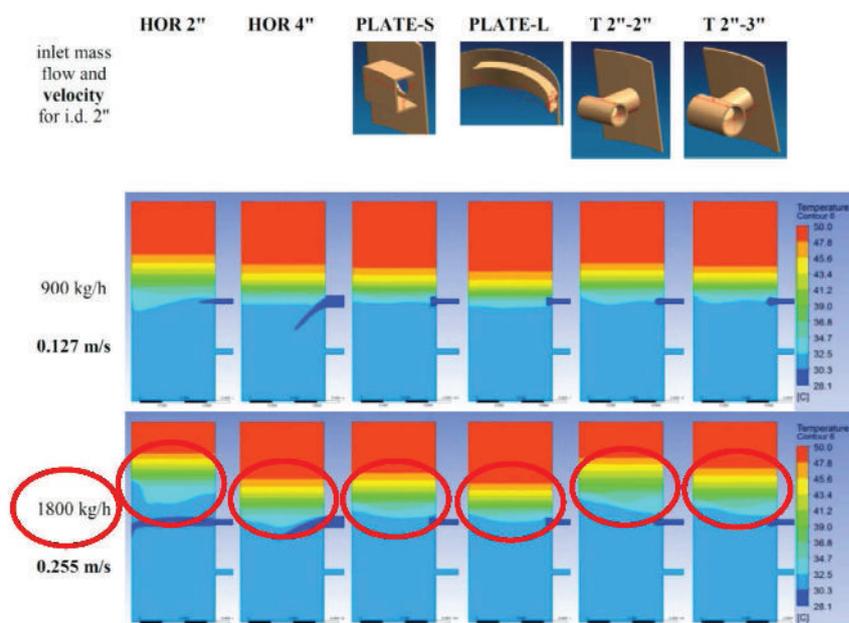


## CO OVLIVŇUJE STRATIFIKACI?

- štíhlost zásobníku
- způsob přívodu (studené vody, otopné vody)
- umístění výměníku (pro přívod tepla, odběr tepla)
- tepelná ztráta (tloušťka izolace, tepelné mosty)
- vedení tepla stěnou zásobníku (kovový, plastový)
- způsob napojení potrubí, gravitační brzdy



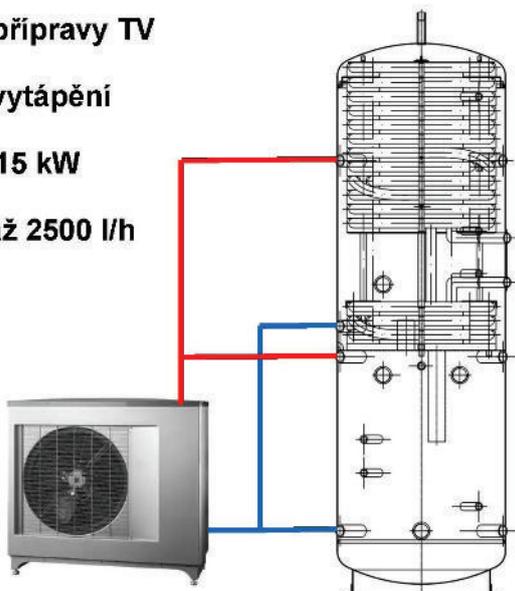
## DEGRADACE STRATIFIKACE ZPŮSOB PŘÍVODU OTOPNÉ VODY



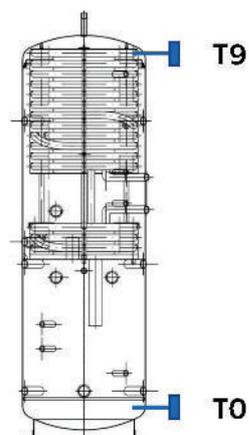


## DEGRADACE STRATIFIKACE

- nabíjení zóny přípravy TV
- nabíjení zóny vytápění
- zdroj tepla 10-15 kW
- průtoky 1800 až 2500 l/h

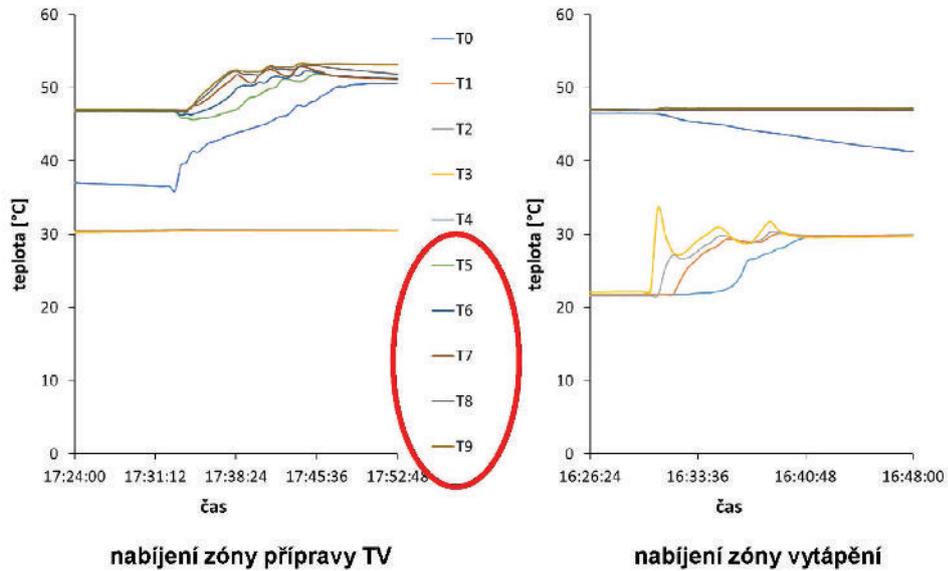


## MONITOROVÁNÍ STRATIFIKACE





## DEGRADACE STRATIFIKACE



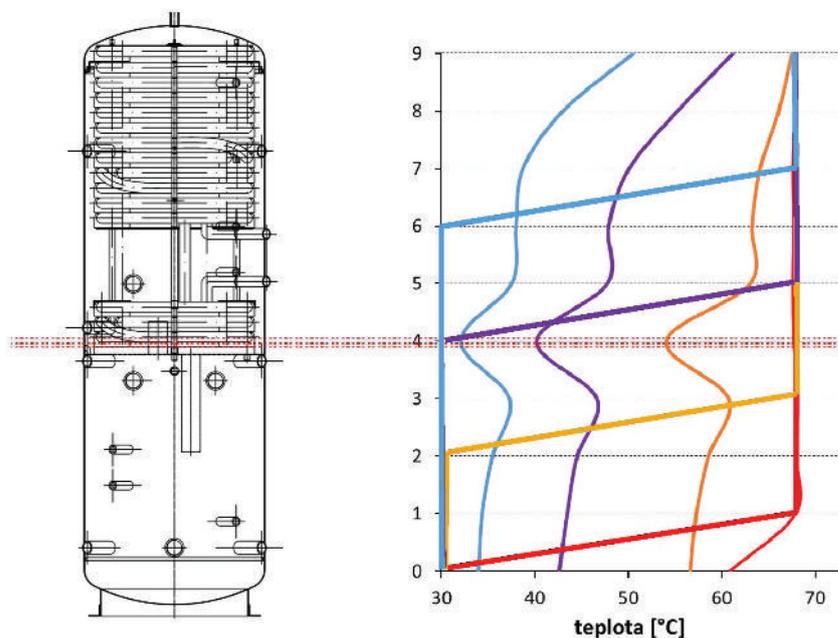
UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

25 | 28



## DEGRADACE STRATIFIKACE ODBĚR TEPLÉ VODY, 10 L/MIN



UCEEB)

Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

26 | 28



## ZÁVĚR

- **testování zásobníků slouží**
  - k získání parametrů pro další výpočty
    - měrná tepelná ztráta,
    - měrný výkon výměníku
  
  - k ověření správné funkce zásobníku tepla
    - degradace stratifikace v provozu (vybíjení, nabíjení)
  
- **štitkování zásobníků, ohřivačů**



[tomas.matuska@fs.cvut.cz](mailto:tomas.matuska@fs.cvut.cz)



# NAVRHOVÁNÍ ZÁSOBNÍKŮ TEPLÉ VODY A AKUMULACE TEPLA

**Roman Vavříčka**

**Energetické systémy budov, UCEEB**

**Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní**



## STANOVENÍ POTŘEBY TEPLA PRO TV kWh/periodu

$$Q_{TV} = Q_o + Q_z = (1+z) \cdot Q_o = \frac{(1+z) \cdot V_{TV} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000}$$

Druh budovy	$V_{zp}$ [m <sup>3</sup> /měrná jednotka·den]	Měrná jednotka
Rodinný dům	0,04 až 0,05 ( <i>realita 0,35</i> )	Osoba
Bytový dům	0,04 ( <i>realita 0,3 až 0,35</i> )	Osoba
Ubytovací zařízení	0,028	Lůžko
Restaurace	0,01 až 0,02	Jídlo
Administrativní budova	0,01 až 0,015	Osoba
Sportovní zařízení	0,1	Instalovaná sprcha
Průmyslový závod	0,03	Sprchová koupel

**OBVYKLE !!!**

**1 Perioda = 24 hodin**

**!!! MŮŽE BÝT**

**1 Perioda = 30 minut**

**1 Perioda = 1 sprcha**

**apod.**



## REÁLNÁ POTŘEBA TV („ostré vody“) POHLED VYT vs. ZTI

### MĚŘENÍ – REÁLNÝ STAV – BYTOVÝ DŮM:

Průměrná doba sprchování cca 5 až 6 minut.

$$\underline{V_{MIX}} = 40 \text{ až } 45 \text{ l/sprchu} = 7,5 \text{ až } 9 \text{ l/min} \Rightarrow t_{MIX} = 40 \text{ °C}$$



### DIN 4701, ČSN 06 0320:

$$\underline{Q_{TV}} = 1,3 \text{ až } 1,84 \text{ kWh/sprchu.} \Rightarrow \text{JAK ???}$$

$$t_{MIX} = 40 \text{ °C a } V_{MIX} = 8 \text{ l/min} = 0,13 \text{ l/s}$$

$$\underline{t_{TV} = 55 \text{ °C} \Rightarrow V_{TV} = 5,33 \text{ l/min} = 0,09 \text{ l/s}}$$

$$t_{SV} = 10 \text{ °C} \Rightarrow V_{TV} = 2,67 \text{ l/min} = 0,04 \text{ l/s}$$



## REÁLNÁ POTŘEBA TV („ostré vody“) POHLED VYT vs. ZTI

### Zařizovací předměty – návrh potrubí TV (ale i SV) – ČSN EN 806-3:

Odběrné místo	DN	Jmenovitý výtok $V_A$ [l/s]	Hodnota LU
<b>Směšovací baterie u umyvadla v bytových a rodinných domech</b> , směšovací baterie u bidetu	15	<u>0,1</u>	1
Směšovací baterie u umyvadla nebo umývatka v administrativních budovách a prodejnách, umývatko <b>Výtokový ventil pro umyvadlo, směšovací baterie pro sprchu nebo dřez</b>	15	<u>0,2</u>	2
<b>Směšovací baterie u vany, velkokuchyňského dřezu</b>	15	<u>0,4</u>	4
Výtoková armatura na zahradě nebo v garáži ( <i>většinou pouze SV</i> )	15	0,3	5
Směšovací baterie u velkokuchyňského dřezu, velkoobjemové vany a speciální sprchy ( <i>vířivky, masážní sprcha, apod.</i> )	20	--	8



## ČASOVÝ ODBĚR TV TESTOVÁNÍ ZÁSOBNÍKŮ TV

Deklarovaný zátěžový profil	Piktogram	Typické použití
3XS	35°C	Umyvadlo s 35°C vodou (např. výlevka, umyvadla na toaletách)
XXS	40°C	Umyvadlo se 40°C vodou (např. umyvadla na toaletách)
XS	35°C	Sprcha s elektrickým průtokovým ohřivačem
S	35°C	Sprcha a umyvadlo s 35°C vodou (např. bytovny)
M	2x  55°C	Sprcha a dřez (umyvadlo) s 55°C vodou (např. hotely, penziony)
L	55°C	Vana, sprcha a dřez s 55°C vodou (např. menší byty)
XL	3x  55°C	Vana, sprcha a dřez s 55°C vodou (např. větší byty, jednogenerační rodinné domy)
XXL	3x  55°C	Současné použití van a sprch (např. vícegenerační rodinné domy, apartmány)
3XL	8x  55°C	Krátkodobý špičkový odběr (např. sportovní areály)
4XL	16x  55°C	Krátkodobý špičkový odběr (např. průmyslový areál)

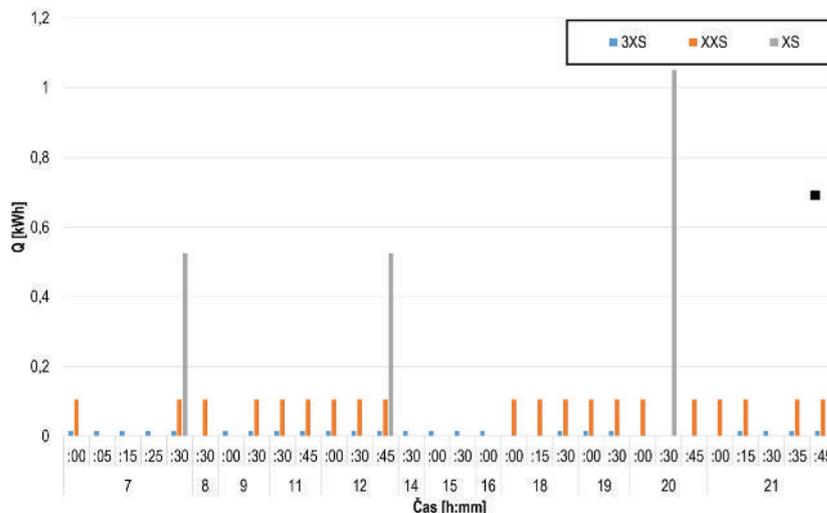
Methodology for the Assessment of the Hot Water Comfort of Factory Made Systems and Custom Built Systems  
(University of Stuttgart)

**Přímá vazba na EN 13 203-2,  
Zátěžové profily odběru TV -  
Ekodesign**



## ČASOVÝ ODBĚR TV TESTOVÁNÍ ZÁSOBNÍKŮ TV

### ZÁTĚŽOVÉ PROFILY ODBĚRŮ TV – 3XS, XS a XXS



**Typické rozložení pro:**

- Kancelářské budovy,
- Komerční prostory (např. WC)
- Průmyslové areály

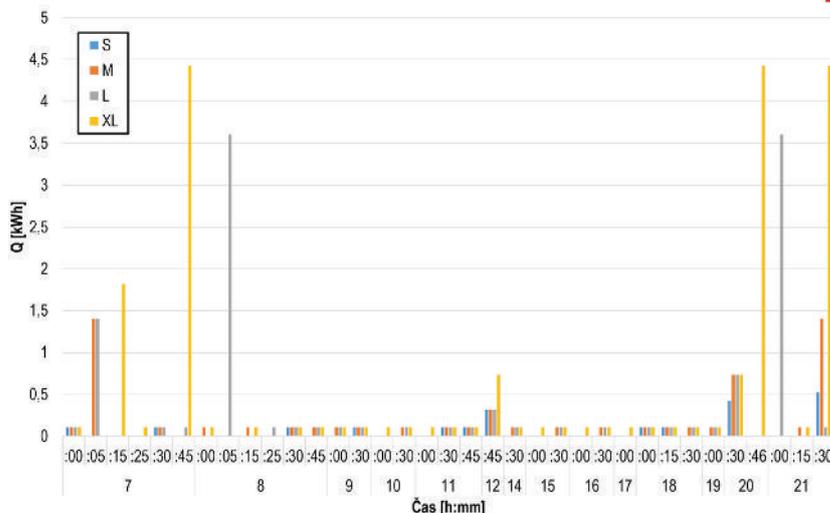


## ČASOVÝ ODBĚR TV TESTOVÁNÍ ZÁSOBNÍKŮ TV

### ZÁTĚŽOVÉ PROFILY ODBĚRŮ TV – S, M, L a XL

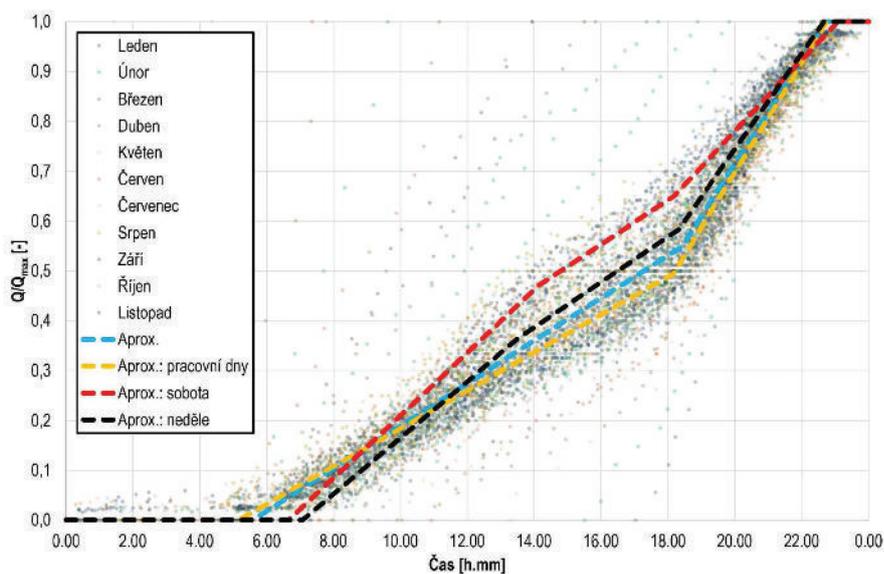
Typické rozložení pro:

- Rodinné domy,
- Bytové domy
- Hotely, penzióny



## ČASOVÝ ODBĚR TV REÁLNÉ MĚŘENÍ – BYTOVÉ DOMY

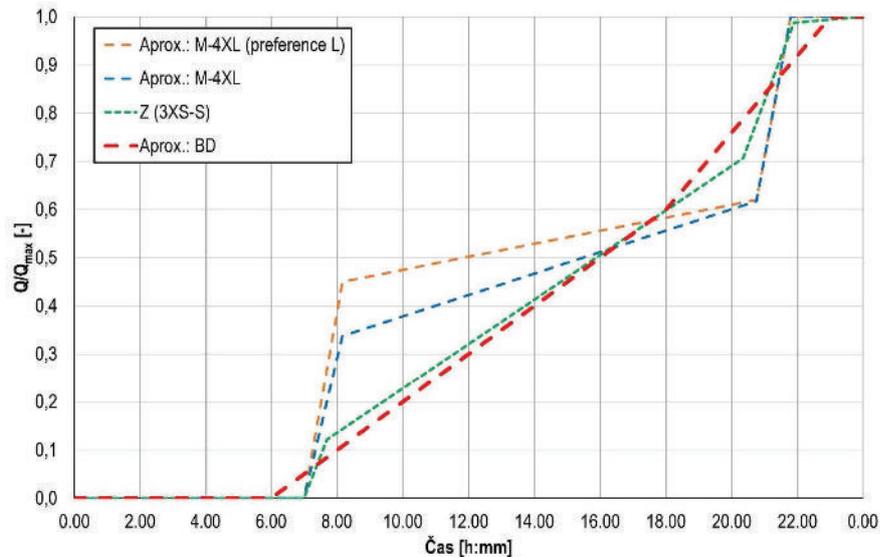
### TYPICKÝ DENNÍ PROFIL ODBĚRU TV – KUMULATIVNÍ PRŮBĚH





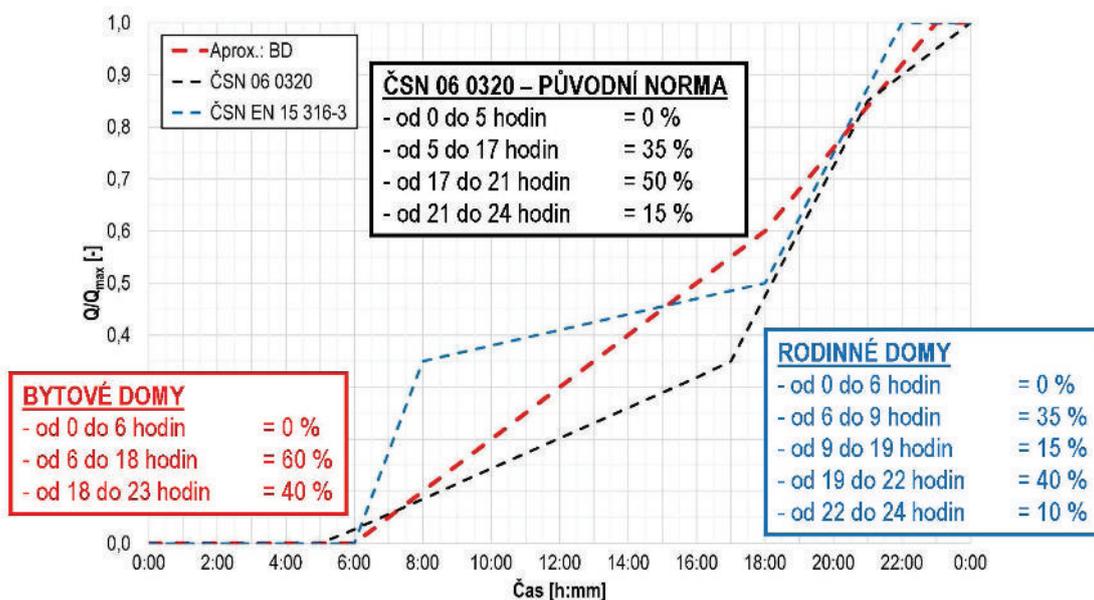
## ČASOVÝ ODBĚR TV POROVNÁNÍ

### REÁLNÝ ODBĚR TV BYTOVÉHO DOMU vs. ZÁTĚŽOVÉ PROFILY KUMULATIVNÍ PRŮBĚH BĚHEM DNE



## ČASOVÝ ODBĚR TV POROVNÁNÍ

### DOPORUČENÍ ČASOVÉHO ROZLOŽENÍ DENNÍHO ODBĚRU TV

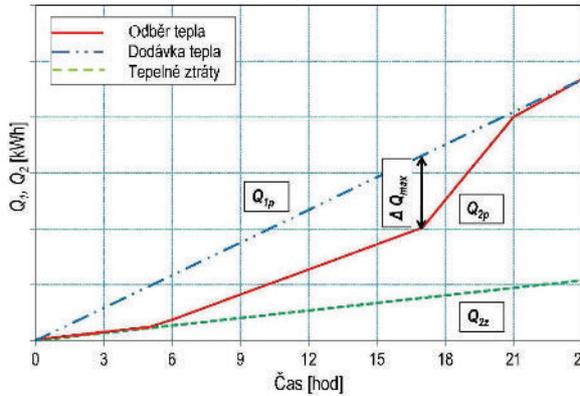




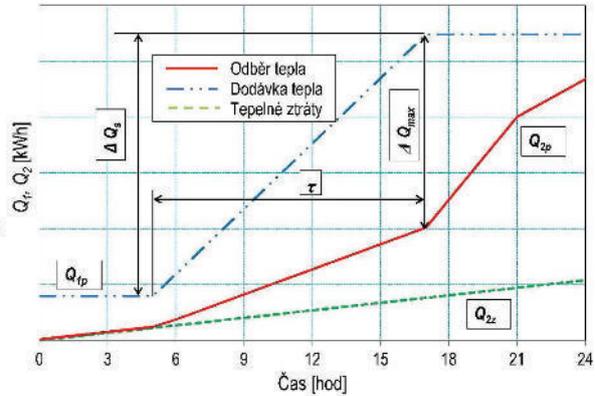
# METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

## METODA KŘIVEK DODÁVKY A ODBĚRU TEPLA

### Trvalá dodávka tepla

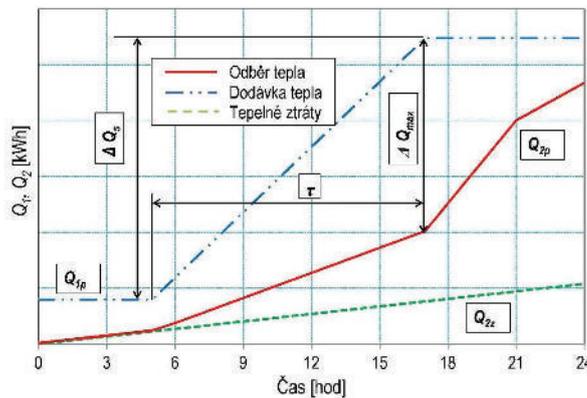


### Přerušovaná dodávka tepla



# METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

## METODA KŘIVEK DODÁVKY A ODBĚRU TEPLA



### Velikost zásobníku TV

$$V_{TV} = \frac{\Delta Q_{\max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 \cdot 1000$$

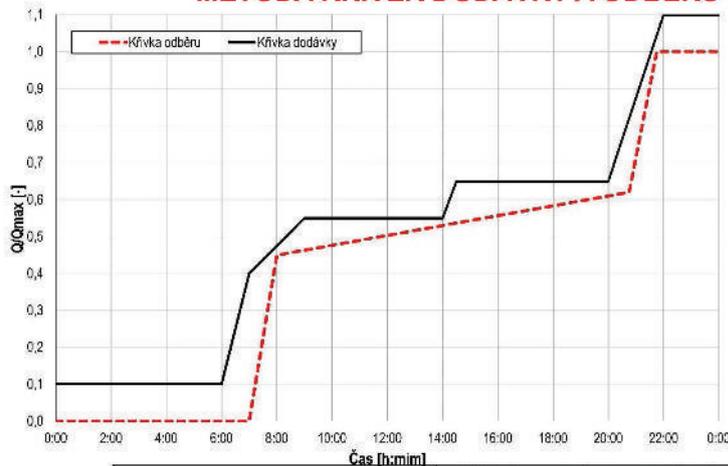
### Požadovaný tepelný výkon zdroje tepla

$$P_{1n} = \left( \frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{\max}$$



## METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

### METODA KŘIVEK DODÁVKY A ODBĚRU TEPLA



Příklad 1 – Snaha o minimalizaci velikosti zásobníku TV

**Zjednodušení pro výpočet:**

Procentuální poměr 1% = 1 kWh

Časový úsek nabíjení	Požadovaný objem zásobníku TV $V_z$ [l]	Požadovaná velikost zdroje tepla P [kW]
6:00 až 7:00	Není rozhodující pro maximální rozdíl	<b>30,0</b>
7:00 až 9:00	Není rozhodující pro maximální rozdíl	7,5
14:00 až 14:30	<b>248,4</b>	20,0
20:00 až 22:00	Není rozhodující pro maximální rozdíl	22,5

UCEEB)

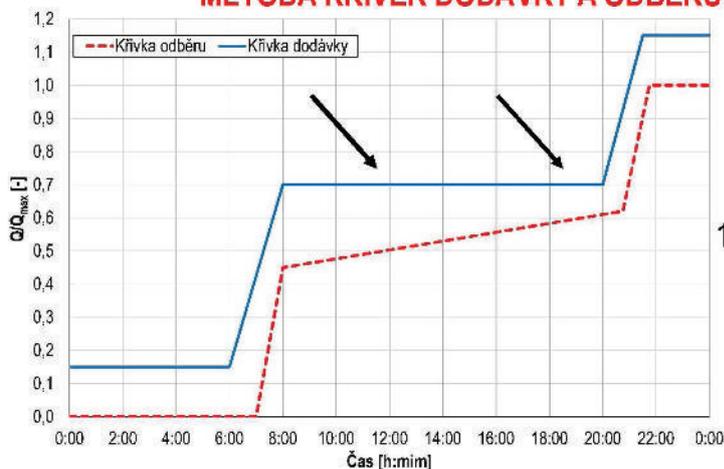
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

13 | 27



## METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

### METODA KŘIVEK DODÁVKY A ODBĚRU TEPLA



Příklad 2 – Optimalizace křivky dodávky tepla s ohledem na provoz zdroje tepla

- 1) Možnost využití zdroje tepla i pro jinou technologii (VYT, KLI, atd.).

Časový úsek nabíjení	Požadovaný objem zásobníku TV $V_z$ [l]	Požadovaná velikost zdroje tepla P [kW]
6:00 až 8:00	<b>477,7</b>	27,5
20:00 až 21:30	Není rozhodující pro maximální rozdíl	<b>30,0</b>

UCEEB)

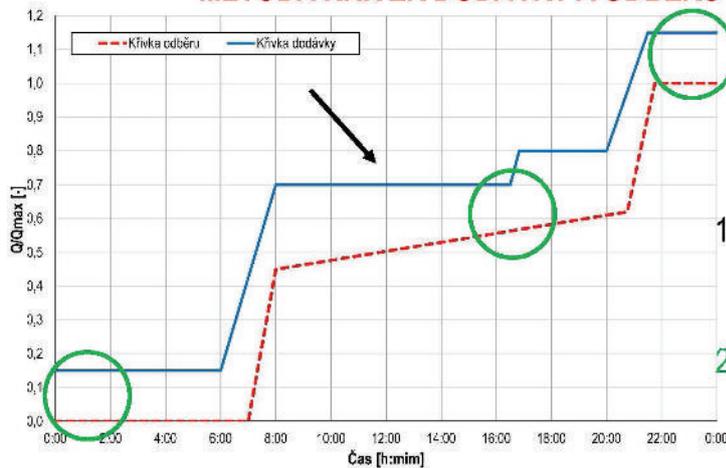
Seminář Solární kolektory a tepelná čerpadla, UCEEB ČVUT, Buštěhrad, 21.6.2017

14 | 27



## METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

### METODA KŘIVEK DODÁVKY A ODBĚRU TEPLA



Příklad 3 – Optimalizace křivky dodávky tepla s ohledem na provoz zdroje tepla a možnost nestandardních odběrů TV.

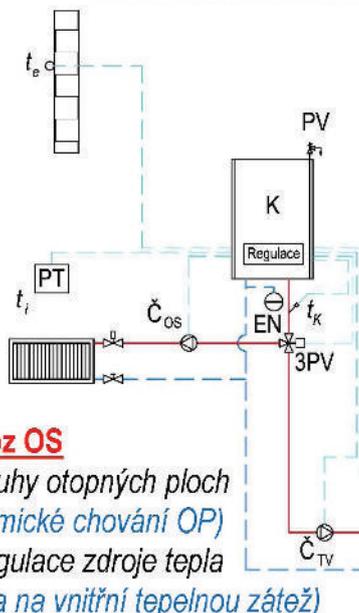
- 1) Možnosti využití zdroje tepla i pro jinou technologii (VYT, KLI, atd.).
- 2) 15 % rezerva dodávky tepla nad křivkou odběru.

Časový úsek nabíjení	Požadovaný objem zásobníku TV $V_z$ [l]	Požadovaná velikost zdroje tepla P [kW]
6:00 až 8:00	<b>477,7</b>	27,5
16:30 až 16:50	Není rozhodující pro maximální rozdíl	<b>30,0</b>
20:00 až 21:30	Není rozhodující pro maximální rozdíl	23,3



## METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

### PŘEDNOSTNÍ PŘÍPRAVA TV VE SPOLEČNÉM ZDROJI TEPLA



$$Q_k = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k}$$

- $Q_k$  tepelný výkon nutný k dohřevu TV = dostupný výkon kotle [W],
- $V_{TV}$  objem zásobníku TV [m<sup>3</sup>],
- $\tau_a$  doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro dohřev TV [s],
- $\rho$  hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m<sup>3</sup>],
- $c$  měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku [J/kg·K],
- $X_p$  spínací diference pro dohřev TV (5 až 10 K) [K],
- $y$  korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV [-].

#### Provoz OS

- druhy otopných ploch (dynamické chování OP)
- regulace zdroje tepla (vazba na vnitřní tepelnou zátěž)

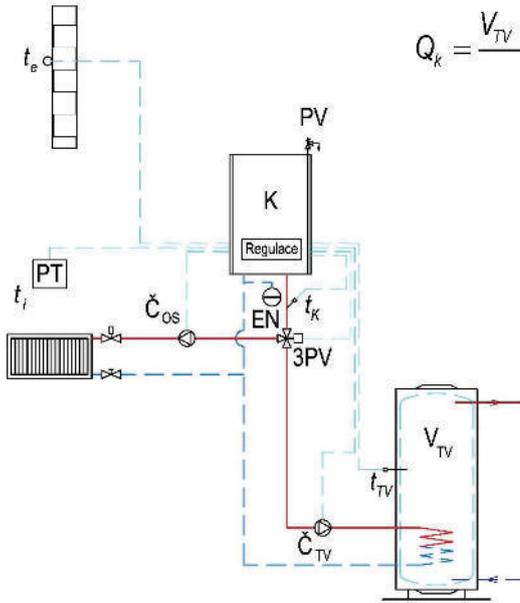
#### Čidlo $t_{TV}$

- spínací diference (5 až 10 K)
- výška umístění čidla (ideálně 60 až 70 % výšky zásobníku)



## METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

### PŘEDNOSTNÍ PŘÍPRAVA TV VE SPOLEČNÉM ZDROJI TEPLA



$$Q_k = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k}$$

Příklad 4:

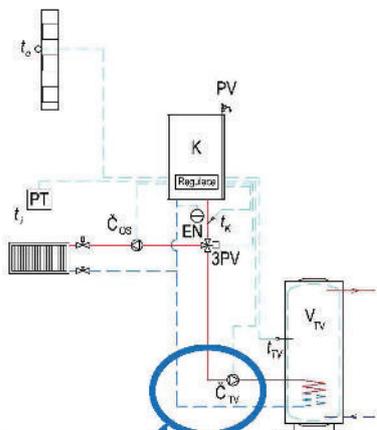
$Q_k = 12 \text{ kW}$ ,  $X_p = 10 \text{ K}$ ,  $\tau_a = 8 \text{ minut}$   
 $y = 0,89$  (vertikální zásobník TV)

$$V_{TV} = \frac{Q_p \cdot \tau_a}{y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p} = \frac{12000 \cdot (8 \cdot 60)}{0,89 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot 10} = 154,6 \text{ litrů}$$



## METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

### PŘEDNOSTNÍ PŘÍPRAVA TV VE SPOLEČNÉM ZDROJI TEPLA



$$Q_k = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k}$$

Příklad 4:

$Q_k = 12 \text{ kW}$ ,  $X_p = 10 \text{ K}$ ,  $\tau_a = 8 \text{ minut}$   
 $y = 0,89$  (vertikální zásobník TV)

$$V_{TV} = \frac{Q_p \cdot \tau_a}{y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p} = \frac{12000 \cdot (8 \cdot 60)}{0,89 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot 10} = 154,6 \text{ litrů}$$

**Řešením tedy je 160 litrový zásobník.  
??? ALE PRO JAKÉ PARAMETRY ???**

Strana zdroje tepla  
**80 °C/ 60 °C, 2,6 m<sup>3</sup>/h**

Schopnost výměníku předat tepelný výkon do ohřevu TV  
**25 kW**



## METODY NÁVRHU ZÁSObNÍKU TV

### DIN 4708 – Koefficient potřeby zásobníku TV - $N_L$

$$N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot \sum w_v)}{Q_N} = \frac{\sum (n \cdot p \cdot \sum w_v)}{(p \cdot w_v)_{nom}}$$

$N$  - koefficient potřeby [-],  
 $n$  - počet bytů [-],  
 $p$  - koefficient obsazenosti, nebo počet osob [-],  
 $w_v$  - potřeba tepla odběrných míst [kWh].

Jednotkový byt je definován 4 místnostmi,  
 ve kterém bydlí průměrně 3 až 4 osoby.

$$\underline{Q_N = 20,37 \text{ kWh}}$$

Počet místností	Koefficient obsazenosti	Počet místností	Koefficient obsazenosti
$r$ [-]	$p$ [-]	$r$ [-]	$p$ [-]
1	2,0	4,5	3,9
1,5	2,0	5	4,3
2	2,0	5,5	4,6
2,5	2,3	6	5,0
3	2,7	6,5	5,4
3,5	3,1	7	5,6
4	3,5		



## METODY NÁVRHU ZÁSObNÍKU TV

### DIN 4708 – Koefficient potřeby zásobníku TV - $N_L$

Vybavenost bytu:

a) normální vybavenost bytu

Prostor	Stávající vybavení	$w_v$ [kWh]
Koupelna	Koupací vana (1600 mm x 700 mm) cca 140 litrů <b>nebo</b> Sprchová kabina se směšovací baterií a normální sprchou	Jako koupací vana (1600 mm x 700 mm) cca 140 litrů – podle A
	1 umyvadlo	Nezohledňuje se
Kuchyň	1 dřez pro kuchyň	Nezohledňuje se

A – potřeba tepla u různých odběrných míst DIN 4708



## METODY NÁVRHU ZÁSObNÍKU TV

### DIN 4708 – Koefficient potřeby zásobníku TV - $N_L$

Vybavenost bytu:

b) komfortní vybavenost bytu

Prostor	Stávající vybavení	$w_V$ [kWh]
Koupelna	Koupačí vana (druh dle A)	podle A
	Sprchová kabina (druh dle A)	podle A
	Umyvadlo	Nezohledňuje se
	Bidet	Nezohledňuje se
Kuchyň	Dřez pro kuchyň	Nezohledňuje se
Pokoje pro hosty	Koupačí vana (druh dle A)	50 % $w_V$ podle A
	Sprchová kabina (druh dle A)	100 % $w_V$ podle A
	Umyvadlo	100 % $w_V$ podle A*)
	Bidet	100 % $w_V$ podle A

A – potřeba tepla u různých odběrných míst DIN 4708

A\* – pokud je u pokoje pro hosty osazena vana nebo sprchový kout, umyvadlo se do výpočtu neuvažuje



## METODY NÁVRHU ZÁSObNÍKU TV

### DIN 4708 – Koefficient potřeby zásobníku TV - $N_L$

Potřeba tepla různých odběrných míst dle DIN 4708 (tabulka A)

Odběrné místo	Odebírané množství $V$ [l]	Potřeba tepla odběrného místa $w_V$ [kWh]
Koupačí vana (1600 mm x 700 mm)	140	5,82
Koupačí vana (1600 mm x 700 mm)	160	6,51
Vana do malého prostoru a vana se stupínky	120	4,89
Velkoprostorová vana (1800 mm x 750 mm)	200	8,72
Sprchová kabina se směšovací baterií a úspornou sprchou	40	1,63
Sprchová kabina se směšovací baterií a normální sprchou	90	3,66
Sprchová kabina se směšovací baterií a luxusní sprchou	180	7,32
Umyvadlo	17	0,7
Bidet	20	0,81
Umyvadlo na ruce	9	0,35
Kuchyňský dřez	30	1,16



## METODY NÁVRHU ZÁSObNÍKU TV

### DIN 4708 – Koefficient potřeby zásobníku TV - $N_L$

Příklad 5 – Rodinný dům (5+1):

Koupelna A (1x vana, 1 x sprcha, 2 x umyvadlo)

Koupelna B (1 x sprcha, 1 x umyvadlo)

Kuchyně (1 x dřez)

$$\sum w_v = [(5,82 + 1,63) + (1,63 + 0,7)] = 9,78 \text{ kWh}$$

$$N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot \sum w_v)}{Q_N} = \frac{\sum (1 \cdot 4,3 \cdot \sum 12,4)}{20,37} = 2,06$$

Řešení DIN 4708:

Dům 5+1 - počet obytných místností  $n_{místností} = 5$  (pozn. kuchyň a koupelny se do výpočtu nezahrnují)

Koefficient obsazenosti  $p = 4,3$

Do výpočtu uvažujeme komfortní vybavenost domu (tzn. dům má větší množství jiných zařízení)

Koupelna A (1x vana, 1x sprcha) - hlavní koupelna

Koupelna B (vybavení pro hosty) (1x sprcha a 1x umyvadlo) – koupelna pro hosty

**Kuchyňský dřez a umyvadla v hlavní koupelně se do výpočtu nezahrnují**



## METODY NÁVRHU ZÁSObNÍKU TV

### DIN 4708 – Koefficient potřeby zásobníku TV - $N_L$

Příklad 5 – Rodinný dům (5+1):

Koupelna A (1x vana, 1 x sprcha, 2 x umyvadlo)

Koupelna B (1 x sprcha, 1 x umyvadlo)

Kuchyně (1 x dřez)

$$N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot \sum w_v)}{Q_N} = \frac{\sum (1 \cdot 4,3 \cdot \sum 12,4)}{20,37} = 2,06$$

Technická data zásobníku TV

### **Např.: zásobník o objemu 160 litrů:**



Požadavek na zdroj tepla

80 °C/ 60 °C,  
2,6 m³/h



Dosažené parametry ohřevu TV (pro  $t_{sv} = 10$  °C)

Výkonové číslo  $N_L = 2,5$

430 l/h ( $t_{TV} = 60$  °C), 25 kW => trvalý průtok

736 l/h ( $t_{TV} = 45$  °C), 30 kW => trvalý průtok



## METODY NÁVRHU ZÁSOBNÍKU TV

### DIN 4708 – Koefficient potřeby zásobníku TV - $N_L$

Příklad 5 – Rodinný dům (5+1):

Koupelna A (1x vana, 1 x sprcha, 2 x umyvadlo)

Koupelna B (1 x sprcha, 1 x umyvadlo)

Kuchyně (1 x dřez)

$$N = \frac{\sum(n \cdot p \cdot \sum w_v)}{Q_N} = \frac{\sum(1 \cdot 4,3 \cdot \sum 12,4)}{20,37} = 2,06$$

### A co když budu zároveň napouštět vanu a někdo se bude sprchovat?

3 umyvadla – v reálu neuvažujeme, odběr je příliš krátký

1 vana – OK => maximálně 6 [l/min] ( $t_{TV} = 55 \text{ °C}$ )

1 sprcha – OK => maximálně 6 [l/min] ( $t_{TV} = 55 \text{ °C}$ )

### Např.: zásobník o objemu 160 litrů:

$$V_{real} = 12 \text{ [l/min]} = \mathbf{720 \text{ [l/h]}} \Rightarrow \text{TRVALE !!!}$$



Dosažené parametry ohřevu TV (pro  $t_{sv} = 10 \text{ °C}$ )

Výkonové číslo  $N_L = 2,5$

$430 \text{ l/h}$  ( $t_{TV} = 60 \text{ °C}$ ), 25 kW => trvalý průtok

$736 \text{ l/h}$  ( $t_{TV} = 45 \text{ °C}$ ), 20 kW => trvalý průtok



## ZÁVĚR

### ▪ Rodinný dům

Zdroj tepla je společný např. VYT + TV – přednostní ohřev TV.

Samostatný zdroj pro přípravu TV – lépe DIN 4708.

### ▪ Bytový dům

Doporučení k použití samostatného zdroje tepla pro přípravu TV.

Využití DIN 4708 – pozor na přenosový tepelný výkon výměníku TV.

Využití metod křivek dodávky a odběru – časové rozložení odběru a výkonu zdroje tepla.

### ▪ Objekty s krátkými špičkovými odběry (sportovní areály, průmysl, obchody, ...)

Návrh dle skutečného počtu odběrných míst a předpokládanou potřebou dávek TV.

Tabulkové hodnoty v normách ČSN 06 0320 a DIN 4708, dávají dobrou shodu.



# DĚKUJI ZA POZORNOST

**Roman Vavříčka**

**Energetické systémy budov, UCEEB**

**Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní**

[roman.vavricka@fs.cvut.cz](mailto:roman.vavricka@fs.cvut.cz)

