



JAKÝ ZDROJ TEPLA NEJLÉPE ZVOLIT PRO NOVOSTAVBU?

Roman Vavříčka

ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav techniky prostředí

Představa investora – laika

„No to přece musí být dokonale zateplená budova“

Budova s téměř nulovou potřebou energie (definice)

„Budova, jejíž energetická náročnost je velmi nízká“

Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov:

- 1) Celková primární energie za rok,
- 2) Neobnovitelná primární energie za rok,
- 3) Celková dodaná energie za rok,
- 4) Dílčí dodané energie pro technické systémy (VYT, VĚT, TV, CHL, Úprava vlhkosti, Osvětlení),
- 5) Průměrný součinitel prostupu tepla,
- 6) Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí,
- 7) Účinnost technických systémů.

ČSN 73 0540-2 – Tepelná ochrana budov – 2011

| Popis konstrukce | | Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K] | | |
|---|-------|--|--------------------|-------------------------------------|
| | | Požadované hodnoty | Doporučené hodnoty | Doporučené hodnoty pro pasivní domy |
| Stěna vnější Stěna k nevytápěné půdě Střecha strmá se sklonem > 45° | lehká | 0,30 | 0,20 | 0,18 až 0,12 |
| | těžká | | 0,25 | |
| Strop pod nevytápěnou půdou (střecha bez tepelné izolace) | | 0,30 | 0,20 | 0,15 až 0,10 |
| Strop s podlahou nad venkovním prostorem Střecha plochá a šikmá se sklonem < 45° | | 0,24 | 0,16 | 0,15 až 0,10 |
| Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině | | 0,45 | 0,30 | 0,22 až 0,15 |

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}}$$

Budova s téměř nulovou potřebou energie (definice)

„Budova, jejíž energetická náročnost je velmi nízká“

**BUDOVA JEJÍŽ SPOTŘEBA PRIMÁRNÍ ENERGIE
BUDE VELMI NÍZKÁ !!!**

Potřeba tepla na VYT a TV

PŘÍKLAD: Rodinný dům – 4 osoby

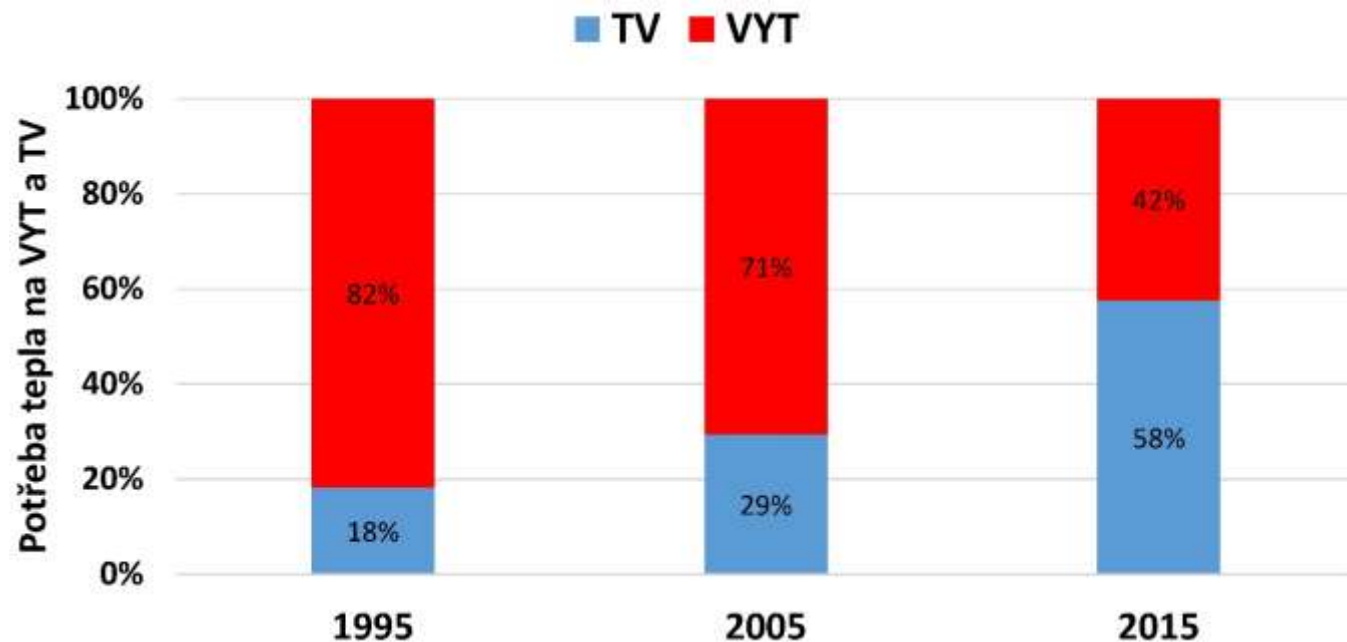
VYTÁPĚNÍ – Celková tepelná ztráta (1995) – 8,5 kW

POTŘEBA TEPLA VYT – ČSN EN ISO 13 790 – cca 18 900 kWh/a

TEPLÁ VODA – 40 l/osobu·den, z = 20 %

POTŘEBA TEPLA TV – cca 4 200 kWh/a

Celková potřeba tepla:
Rok 1995 – 23 100 kWh
Rok 2005 – 14 300 kWh
Rok 2015 – 7 300 kWh



Potřeba tepla na VYT a TV

PŘÍKLAD: Bytový dům – 60 bytů, celkem 100 osob

VYTÁPĚNÍ – Celková tepelná ztráta – před rekonstrukcí 97 kW, po rekonstrukci 60 kW
POTŘEBA TEPLA **VYT** – ČSN EN ISO 13 790 – 240 000 kWh/a (resp. \approx 110 000 kWh)

TEPLÁ VODA – 30 l/osobu·den, z = 80 %

POTŘEBA TEPLA **TV** – cca 100 000 až 120 000 kWh/a

Celková potřeba tepla:

Rok 2005 – cca 370 000 kWh

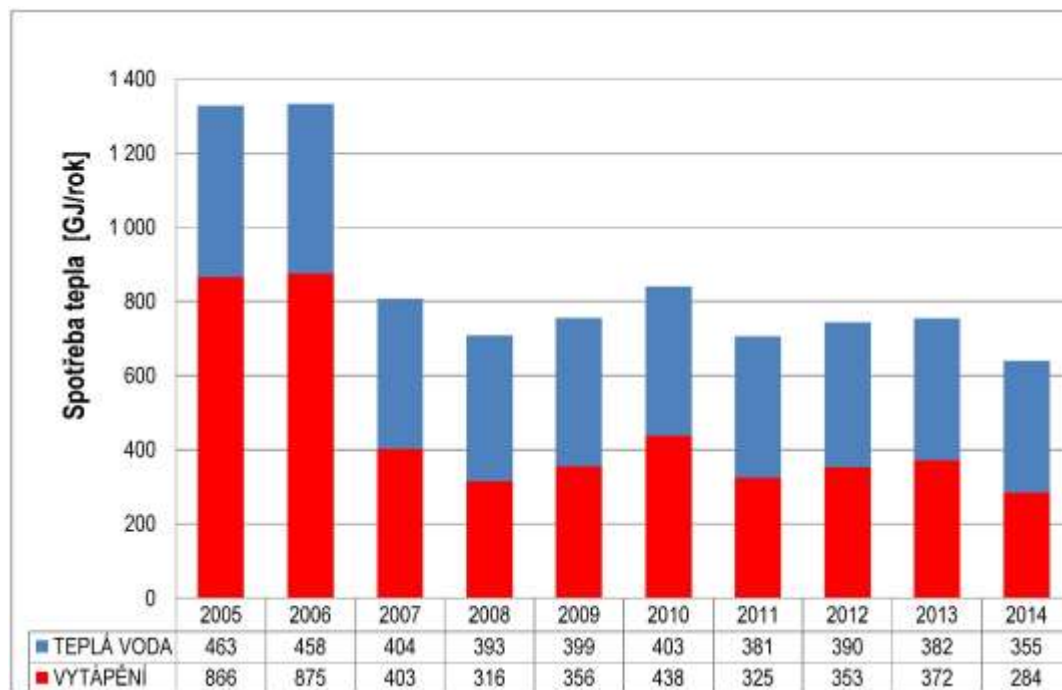
(před rekonstrukcí)

Rok 2010 – cca 230 000 kWh

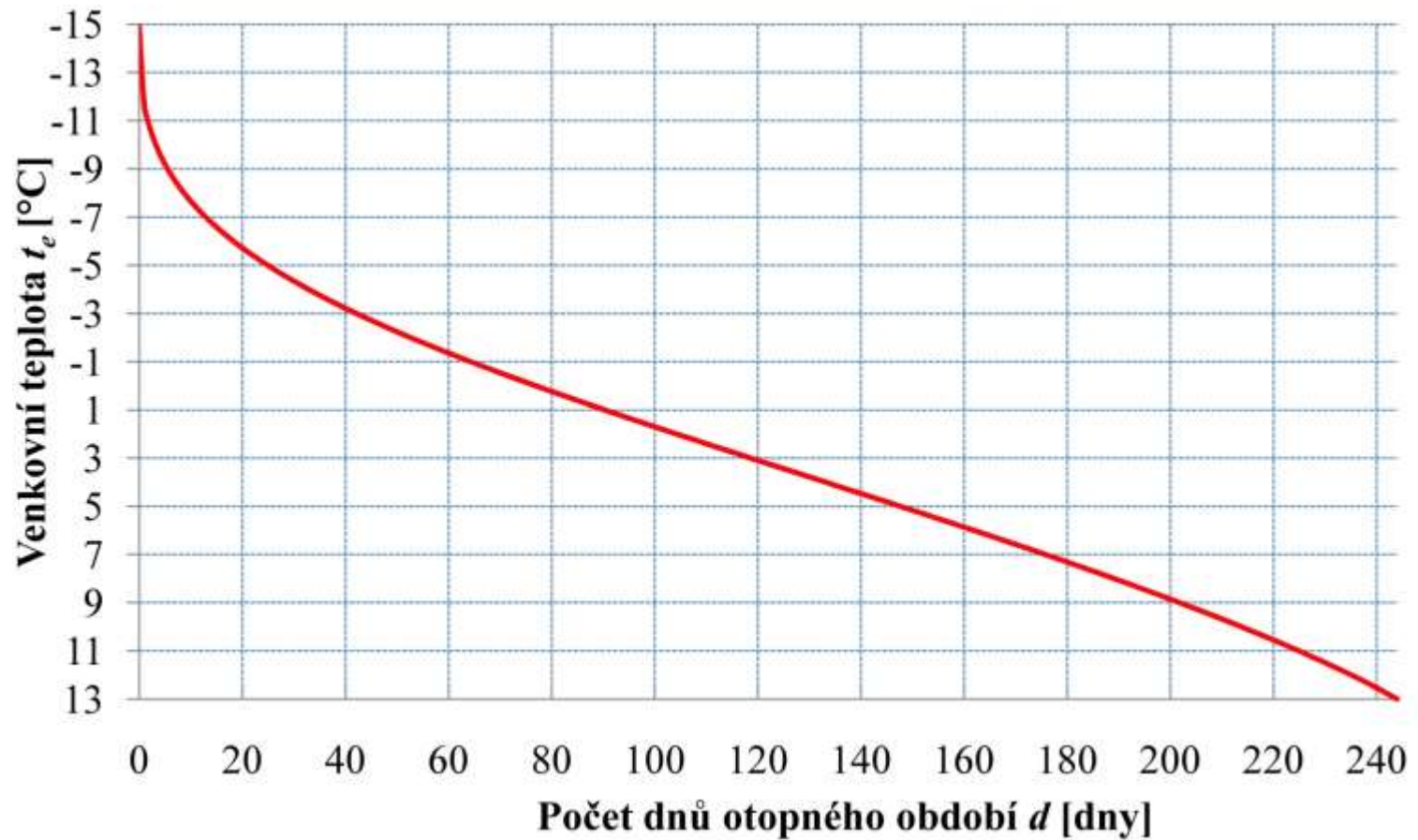
(dokončeno zateplení)

Rok 2014 – cca 180 000 kWh

(vyvážení OS + výměna zdrojů tepla)

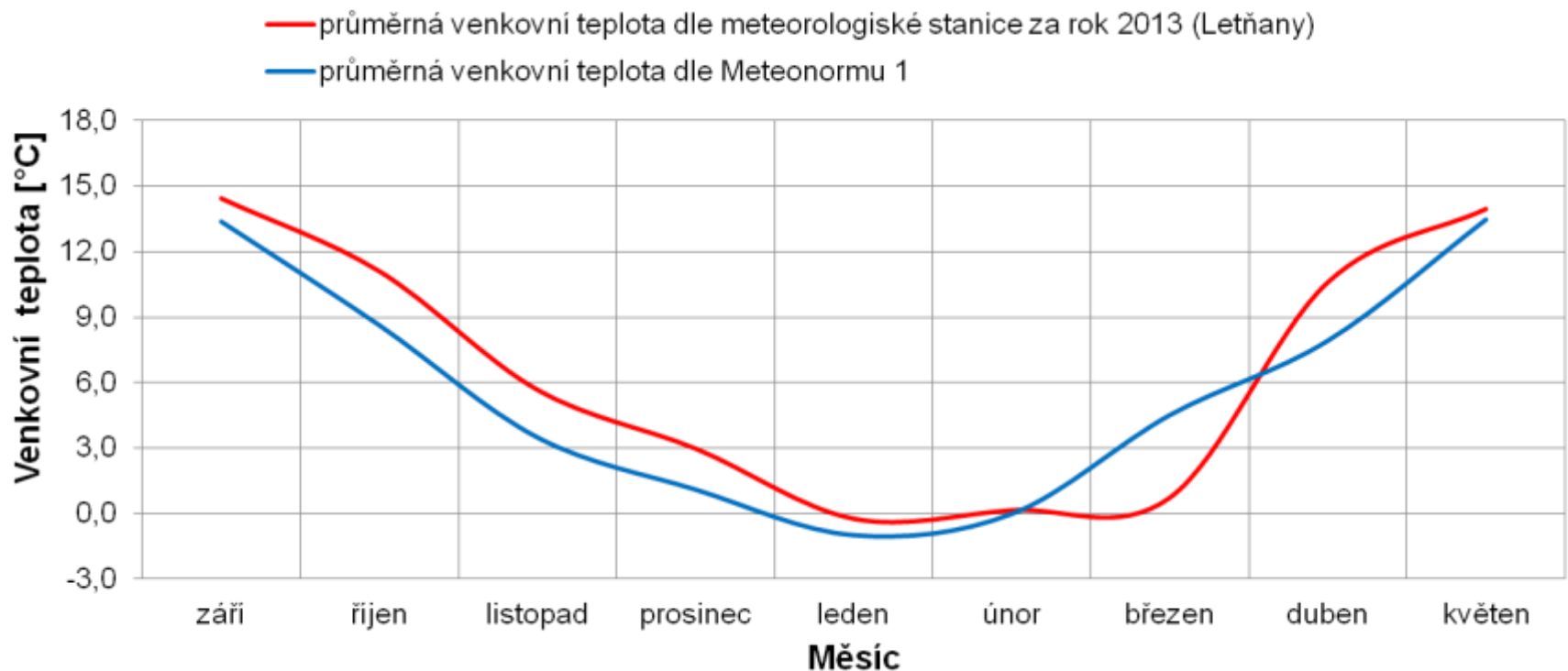


Křivka trvání venkovních teplot



Faktory ovlivňující výpočet:

- Intenzita větrání n [1/h] (pokud není instalován systém nuceného větrání)
- Reálný průběh venkovní teploty t_e [°C]




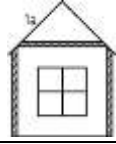


Výsledky modelu – bytový dům – 180 bytů:

| Měsíc | Potřeba energie na vytápění [GJ] | | | Odchyly [%] | |
|---------------|----------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| | Naměřená | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová metoda | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová metoda |
| Leden | 428 | 654 | 895 | 153% | 209% |
| Únor | 360 | 519 | 763 | 144% | 212% |
| Březen | 315 | 380 | 685 | 121% | 217% |
| Duben | 158 | <u>163</u> | <u>484</u> | <u>103%</u> | <u>306%</u> |
| Květen | 90 | <u>28</u> | <u>281</u> | <u>31%</u> | <u>312%</u> |
| Červen | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% |
| Červenec | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% |
| Srpen | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% |
| Září | 68 | <u>34</u> | <u>264</u> | <u>50%</u> | <u>388%</u> |
| Říjen | 135 | <u>204</u> | <u>491</u> | <u>151%</u> | <u>364%</u> |
| Listopad | 315 | 433 | 683 | 137% | 217% |
| Prosinec | 383 | 579 | 819 | 151% | 214% |

Potřeba tepla na VYT a TV





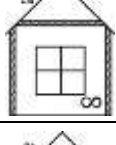
| Varianta | Q_{VYT} [kWh] |
|-----------|-----------------|
| 0 | 11 000 |
| 1a | 7 300 |
| 1b | 7 300 |
| 1c | 6 700 |
| 2a | 2 050 |
| 2b | 1 200 |

| Varianta | Piktogram | Vysvětlení |
|----------|---|--|
| 0 |  | Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ne |
| 1a |  | Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne |
| 1b |  | Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne |
| 1c |  | Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ano |
| 2a |  | Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano |
| 2b |  | Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano |

Potřeba tepla na VYT a TV




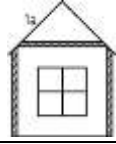


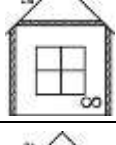

| Varianta | Q_{VYT} [kWh] |
|-----------|-----------------|
| 0 | 9 600 |
| 1a | 9 200 |
| 1b | 7 750 |
| 1c | 4 600 |
| 2a | 1 660 |
| 2b | 920 |

| Varianta | Piktogram | Vysvětlení |
|----------|---|--|
| 0 |  | Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ne |
| 1a |  | Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne |
| 1b |  | Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne |
| 1c |  | Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ano |
| 2a |  | Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano |
| 2b |  | Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano |

Potřeba tepla na VYT a TV



| Varianta | Q_{VYT} [kWh] |
|-----------|-----------------|
| 0 | 14 000 |
| 1a | 10 800 |
| 1b | 10 800 |
| 1c | 8 000 |
| 2a | 2 600 |
| 2b | 1 500 |

| Varianta | Piktogram | Vysvětlení |
|----------|---|--|
| 0 |  | Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ne |
| 1a |  | Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne |
| 1b |  | Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne |
| 1c |  | Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ano |
| 2a |  | Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano |
| 2b |  | Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano |

Potřeba tepla na přípravu TV

Možnost A

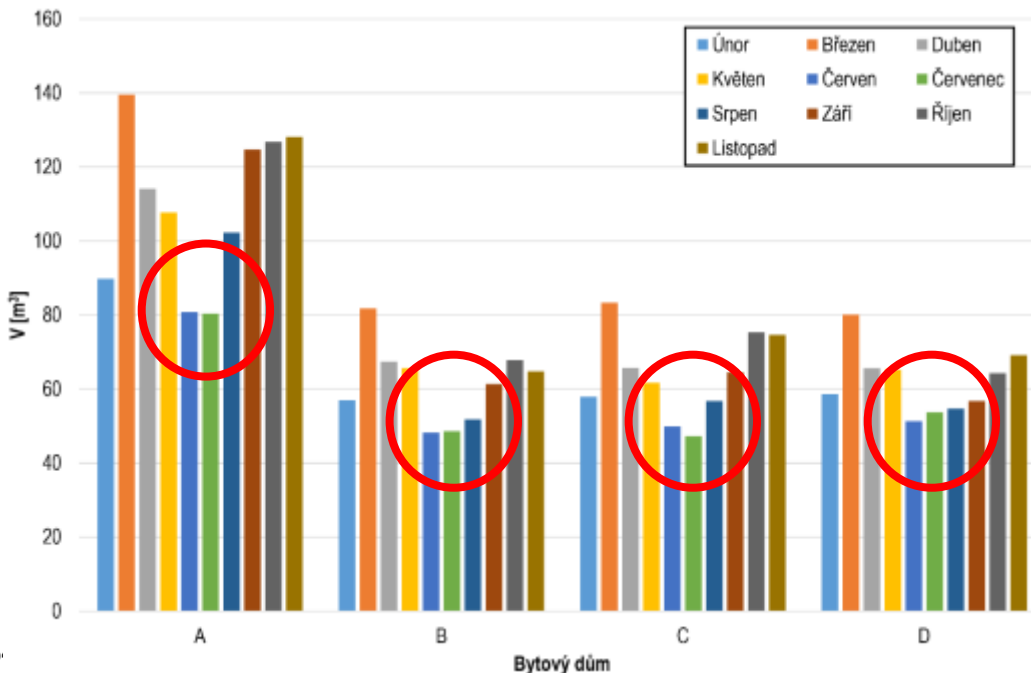
$$Q_{TV,r} = Q_{TV,den} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,den} \cdot \frac{(t_2 - t_{SV1})}{(t_2 - t_{SV2})} \cdot (N - d)$$

d počet dnů otopného období [den],

N počet pracovních dní soustavy TV (obvykle 365) [den]

t_{SV1} teplota studené vody v létě [°C],

t_{SV2} teplota studené vody v zimě [°C],



Možnost B

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot 349,5$$

349,5 dne ???

25 % snížení potřeby TV v
Červenci a Srpnu (tj. 62 dní)
 $t_{SV} = 10 \text{ °C}$

Př.: $V_{TV} = 120 \text{ l/den}$

2 680 kWh/rok

2 930 kWh/rok (+ 9,3 %)

Základní rozdělení dle použití v novostavbách:

- Pevná paliva (biomasa, hnědé uhlí)
- Plynná paliva (zemní plyn, propan-butan, bioplyn)
- Kapalná paliva (nafta, lehký topný olej)
- Elektrina (přímotopy, akumulace)
- Obnovitelné zdroje energie

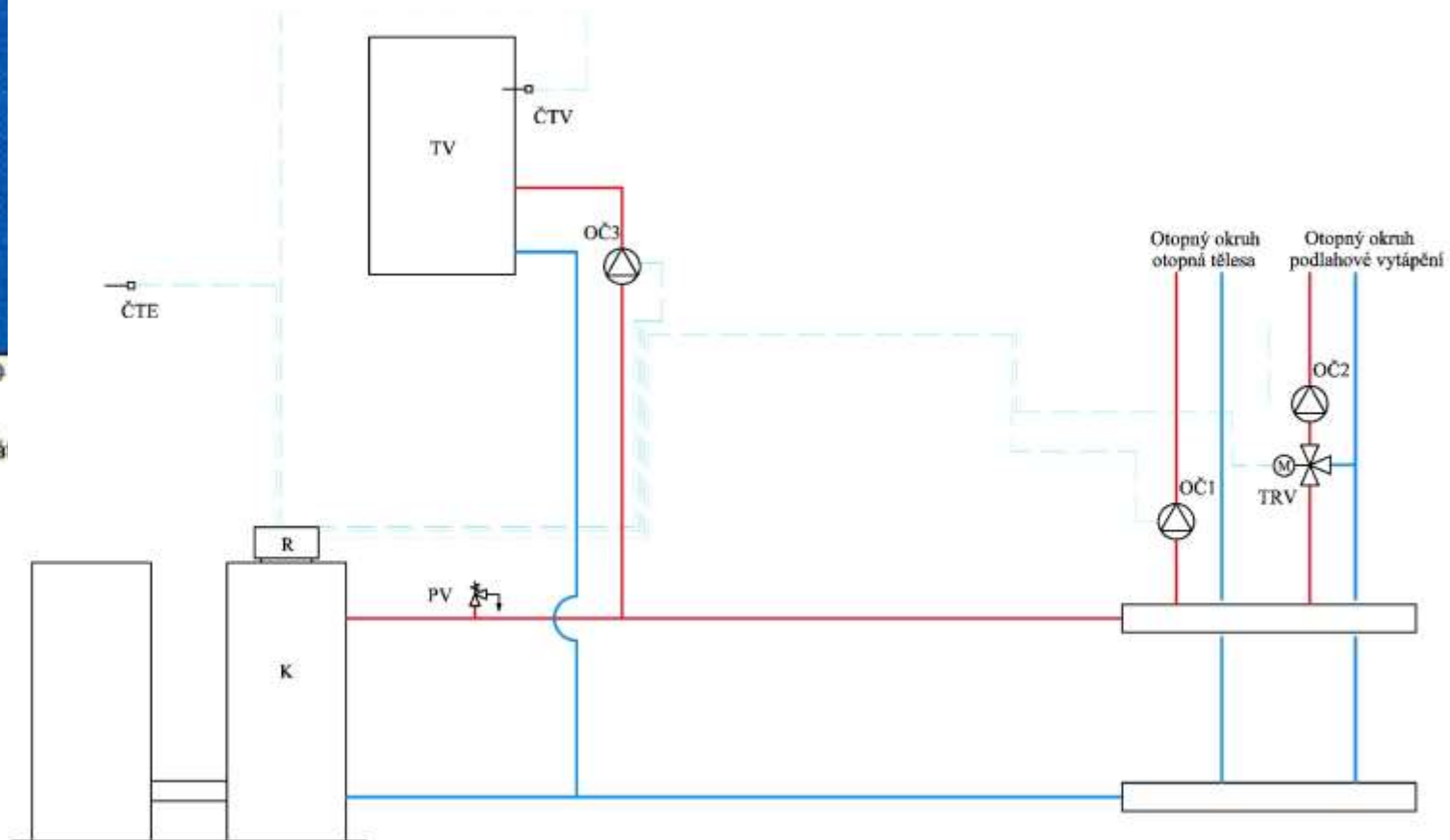
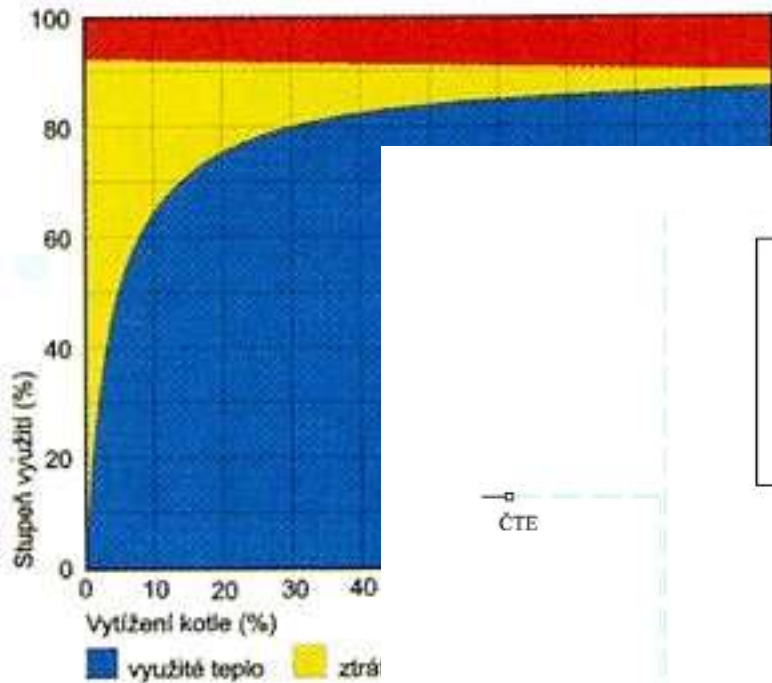
Zdroje tepla na tuhá paliva



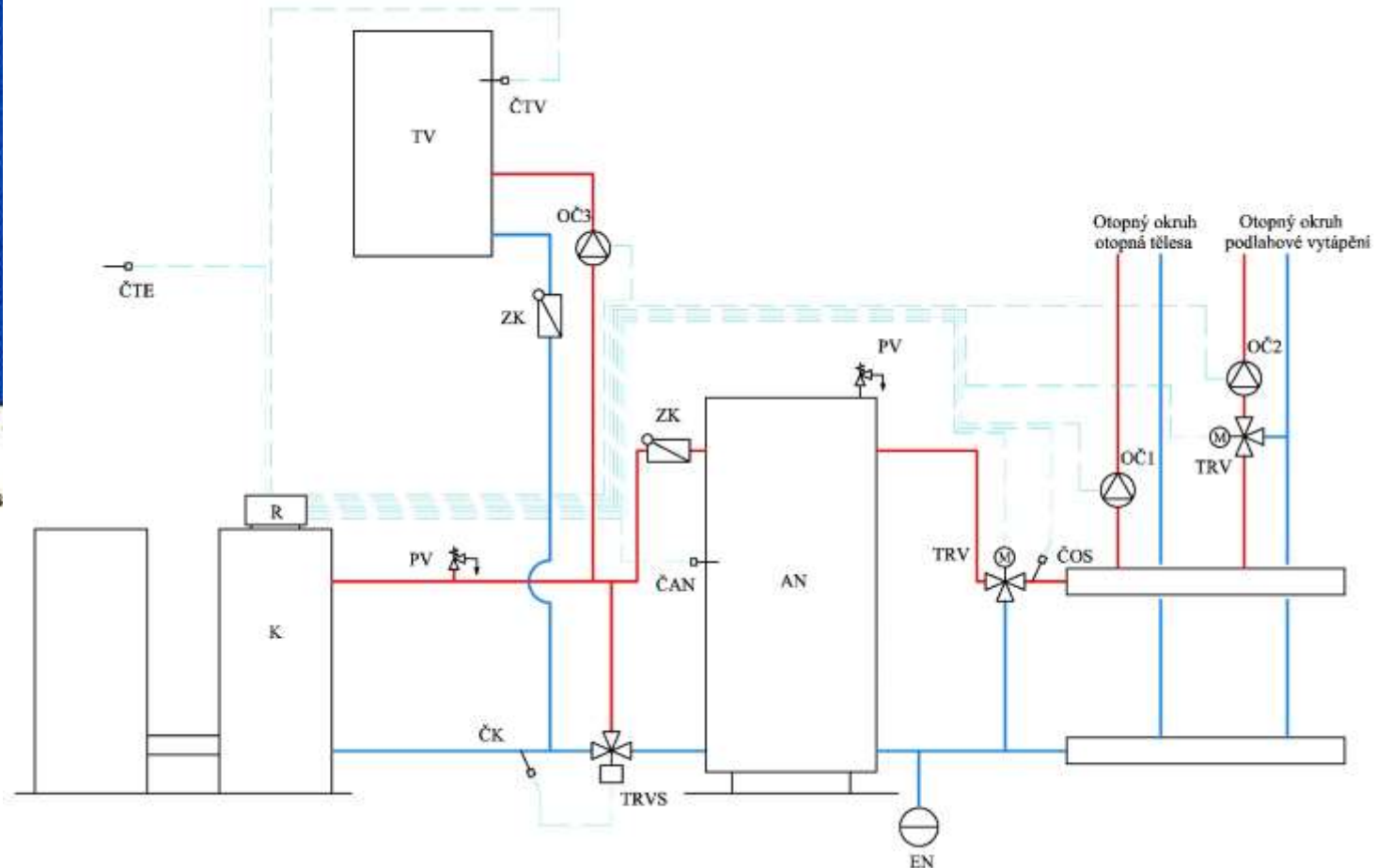
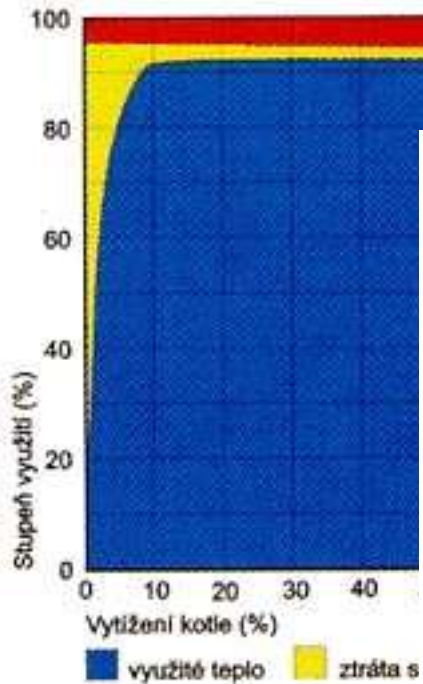
$$\eta_k = (0,6 \div 0,8)$$

$$\eta_k = (\text{až } 0,85)$$

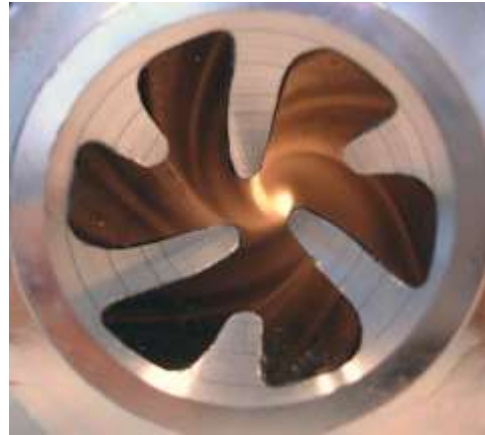
Klasický kotel



Nízkoteplotní kotel



Zdroje tepla na plynná paliva



Při dokonalém spalování z **1 m³ ZP** zkondenzuje cca **1,36 kg vlhkosti**.

$$\xi_{\text{Kom}} = \frac{V_{\text{spalin}} \cdot c_{\text{spalin}} \cdot (t_{\text{spalin}} - t_{\text{vzduchu}})}{H_{\text{paliva}}} = \frac{0,2625 \cdot 1,377 \cdot (185 - 20)}{8,87} = 6,7 \% \Rightarrow \eta_k = 93,3 \%$$

$$\xi_{\text{Kom}} = \frac{V_{\text{spalin}} \cdot c_{\text{spalin}} \cdot (t_{\text{spalin}} - t_{\text{vzduchu}})}{H_{\text{paliva}}} = \frac{0,2625 \cdot 1,377 \cdot (65 - 20)}{8,87} = 1,8 \% \Rightarrow \eta_k = 98,2 \%$$

Normovaný stupeň využití

$$\eta_N = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{\text{průměrná}}}} = \frac{5}{0,0468} = 106,8 \%$$

„Účinnost“

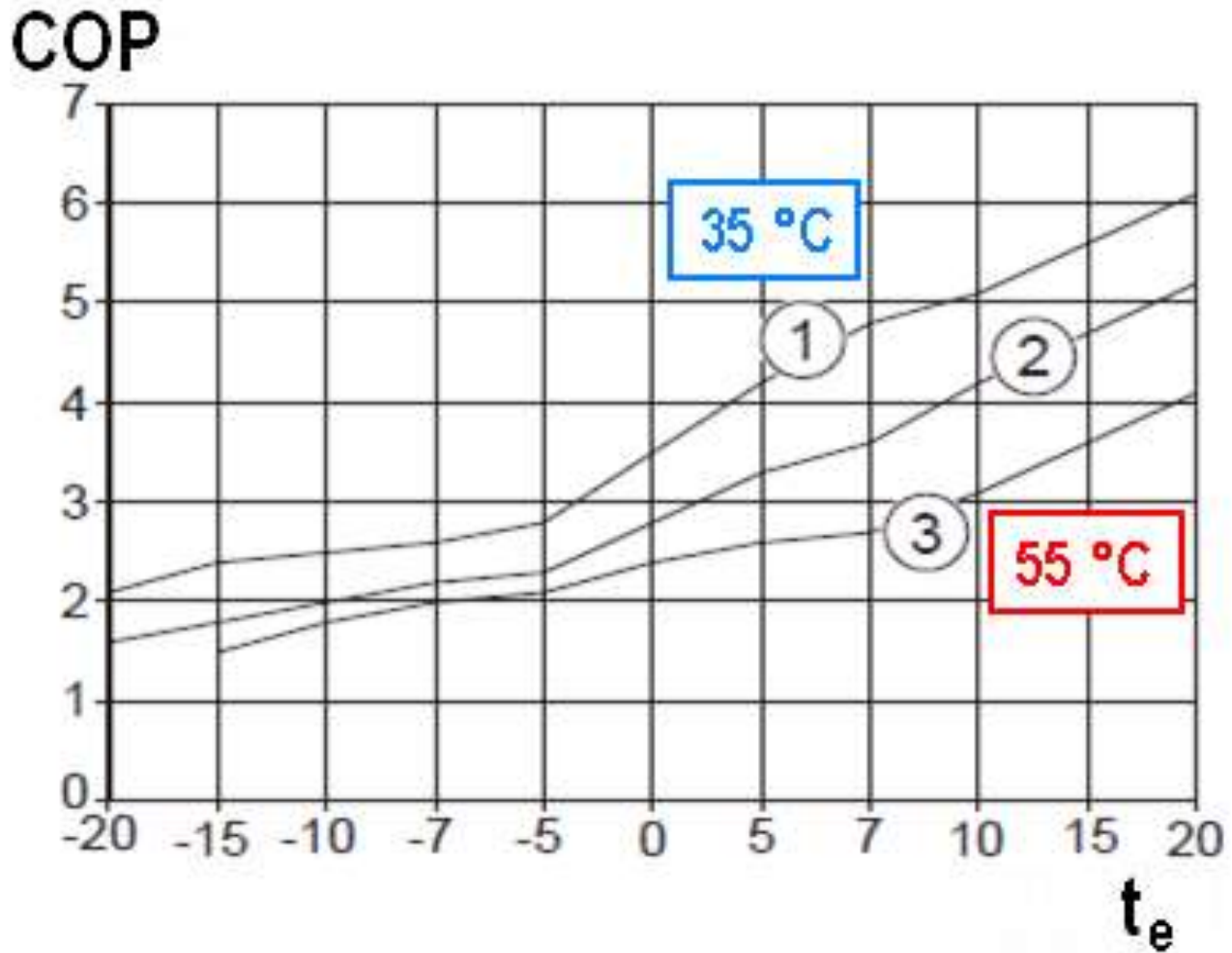
$$\eta_k = \frac{106,8}{111,5} = 0,958$$

| Vytížení kotle [%] | Teplota teplonosné látky t_{w1} / t_{w2} [°C] | Stupeň využití při dílčím zatížení η [%] |
|--------------------|---|---|
| 13 | 27,0 / 25,0 | 109,5 |
| 30 | 37,0 / 32,0 | 108,4 |
| 39 | 42,0 / 36,0 | 107,2 |
| 48 | 46,0 / 39,0 | 105,7 |
| 63 | 55,0 / 45,0 | 103,0 |

Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov (§7):

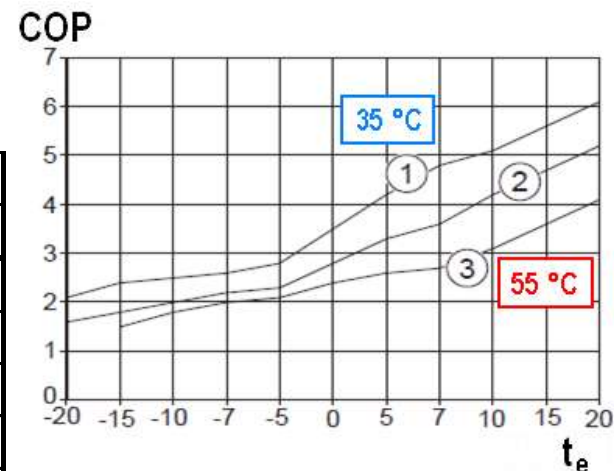
- místní systémy dodávky energie využívající energie z obnovitelných zdrojů (tzv. OZE),
- kombinovaná výroba elektřiny a tepla (tzv. KVET),
- soustava zásobování tepelnou energií (tzv. CZT),
- tepelné čerpadlo (tzv. TČ).

Tepelné čerpadlo – COP a SPF



Tepelné čerpadlo – COP a SPF

| Měsíc | Počet dnů | *Průměrné měsíční venkovní teploty v ČR | Příklad TČ | | |
|------------|------------|--|-------------|-------------|-------------|
| | | | 35 °C | 45 °C | 55 °C |
| září | 30 | 12,5 | 5,38 | 4,52 | 3,36 |
| říjen | 31 | 7,4 | 4,90 | 3,68 | 2,76 |
| listopad | 30 | 2,4 | 3,88 | 3,12 | 2,47 |
| prosinec | 31 | -1 | 3,32 | 2,64 | 2,28 |
| leden | 31 | -7,1 | 2,60 | 2,20 | 1,88 |
| únor | 28 | -1,2 | 3,30 | 2,62 | 2,24 |
| březen | 31 | 2,6 | 3,91 | 3,13 | 2,50 |
| duben | 30 | 7,3 | 4,90 | 3,67 | 2,75 |
| květen | 31 | 12,4 | 5,38 | 4,52 | 3,35 |
| červen | 30 | ** 16,1 | - | - | 3,70 |
| červenec | 31 | ** 17,9 | - | - | 3,85 |
| srpen | 31 | ** 13,5 | - | - | 3,45 |
| VYT | 273 | SPF - VYT | 4,18 | 3,35 | 2,62 |
| TV | 365 | SPF - TV | - | - | 2,89 |



* např.: www.tzb-info.cz

** ČSN EN ISO 13790

$$Q = m_w \cdot c \cdot (t_{w1} - t_{w2})$$

kde

m_w hmotnostní průtok otopné vody [kg/s],
 c měrná tepelná kapacita vody [J/kg·K] ($c \approx 4187$ J/kg·K),
 t_{w1} teplota vody na výstupu z TČ [°C],
 t_{w2} teplota vody na vstupu do TČ [°C].

Příklad:

$$Q_{VYT} = 4 \text{ kW, podlahové vytápění} \Rightarrow 35/28 \text{ °C}$$

$$Q_{TV} = 4 \text{ kW} \Rightarrow 55/10 \text{ °C}$$

$$m_{VYT} = \frac{4000}{4187 \cdot (35 - 28)} \cdot 3600 = 491,3 \text{ kg / h}$$

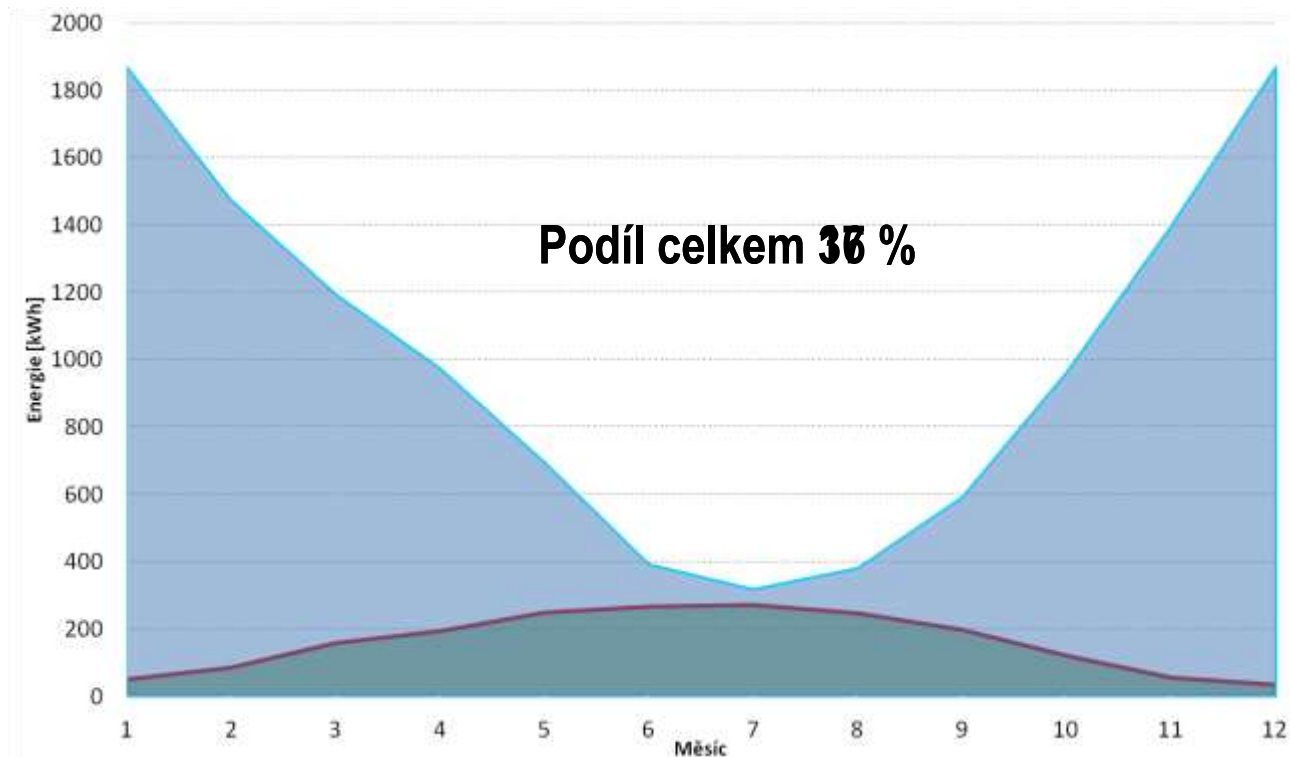
$$V_{VYT} \approx 8,2 \text{ l / min}$$

$$m_{VYT} = \frac{4000}{4187 \cdot (55 - 10)} \cdot 3600 = 76,4 \text{ kg / h}$$

$$V_{VYT} = 1,27 \text{ l / min}$$

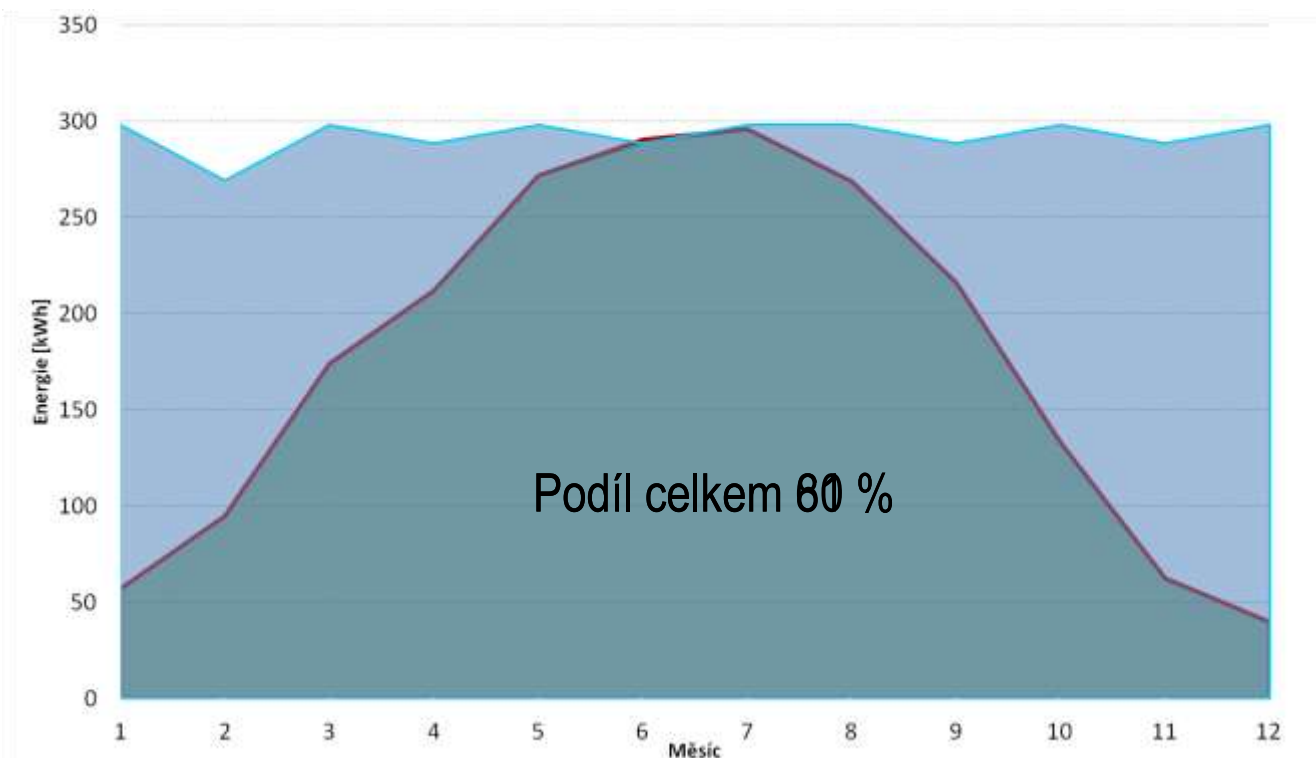
Rodinný dům: Tepelná ztráta 8 kW (pokrytí dle zadání minimálně 25 %), 4 osoby,
 $t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, $z = 15 \text{ } \%$

Využití pro VYT a přípravu TV



Rodinný dům: 4 osoby, $t_1 = 10 \text{ °C}$, $t_2 = 55 \text{ °C}$, $z = 15 \%$

Využití pouze pro přípravu TV



1. Potřeba teplé vody [$\text{m}^3/\text{měrná jednotka} \cdot \text{perioda}$]

2. Způsob odběru teplé vody [$V_{TV} = f(\tau)$]

Dále:

- zdroj tepla [*teplotní úroveň, provoz*],
- způsob nabíjení zásobníku TV [*regulace, odběrová místa*]

Sprcha – odběr TV:

Průtok ($t_{TV} = 55\text{ °C}$) v potrubí TV – požadavek ČSN EN 806-3:
0,2 l/s (12 l/min).

Teplota vody pro sprchování $t_{MIX} \approx 38$ až 43 °C .

MĚŘENÍ – REÁLNÝ STAV – BYTOVÝ DŮM:

Průměrná doba sprchování cca 5 až 6 minut.

$V_{MIX} = 40$ až 45 l/sprchu = $7,5$ až 9 l/min.

$Q_1 = 1,3$ až $1,84$ kWh/sprchu.



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

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

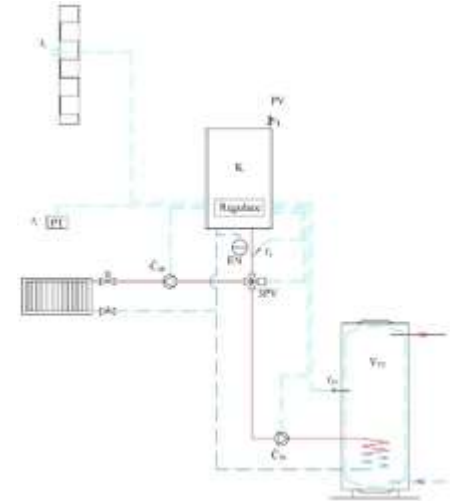
$t_{SV} = 10\text{ °C} \Rightarrow V_{TV} = 2,67$ l/min = $0,04$ l/s

Přednostní příprava teplé vody



Návrh systému přípravy TV

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



- Q_{TV} - tepelný výkon nutný k dohřevu TV [W],
 V_{TV} - objem zásobníku TV [m³],
 τ_a - doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro dohřev TV [s],
 ρ - hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m³],
 c - měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku [J/kg·K],
 X_p - spínací diference pro dohřev TV (5 nebo 10 K) [K],
 y - korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV [-].

| Zásobník TV | y [-] | |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | $\tau_a < 20 \text{ minut}$ | $\tau_a < 10 \text{ minut}$ |
| Vertikální zásobník TV | 0,94 | 0,89 |
| Horizontální zásobník TV (do 400 l) | 0,96 | 0,91 |
| Horizontální zásobník TV (nad 400 l) | 0,90 | 0,85 |

Jaký zásobník TV?

Počet odběrných míst např. rodinný dům:

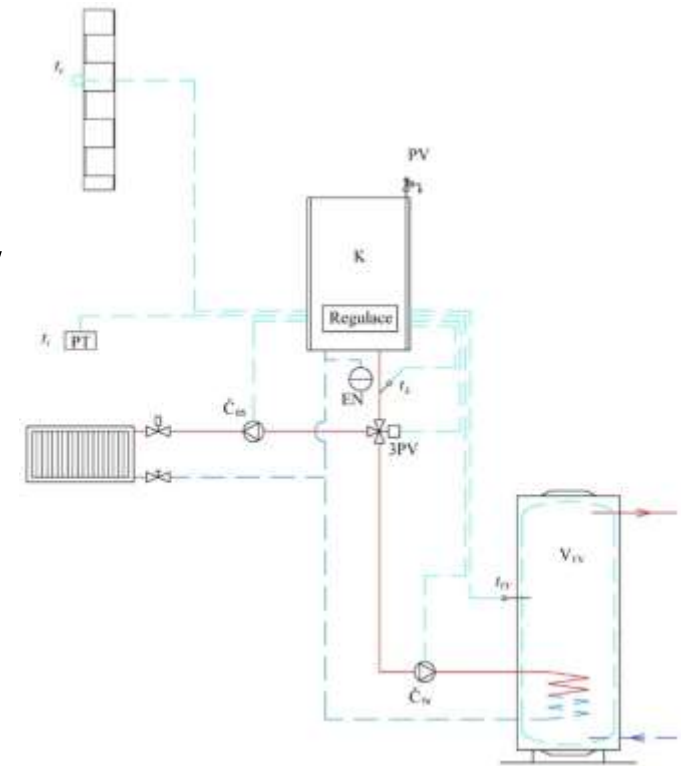
3 umyvadla – v reálu neuvažovat, odběr je příliš krátký

1 vana – OK \Rightarrow maximálně 6 [l/min]

1 sprcha – OK \Rightarrow maximálně 6 [l/min]

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

Teplota vody **MIX \approx 38 až 43 °C**



Zásobník o objemu **65 l** (H65W)

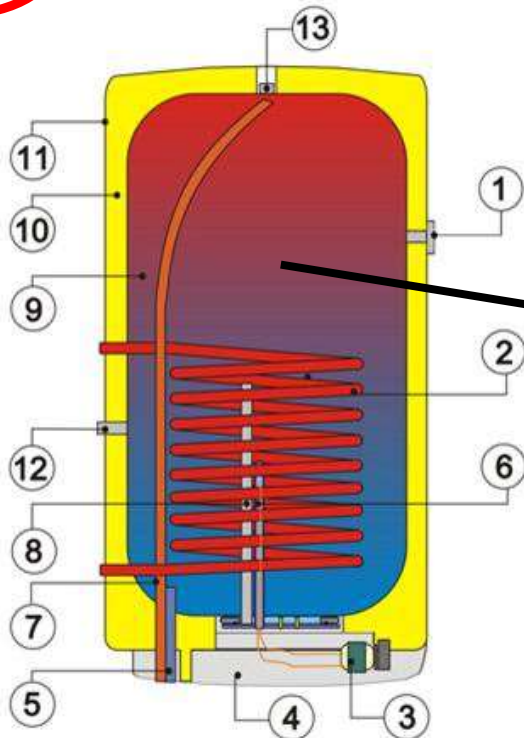
18 kW \Rightarrow 438 l/h ($t_{TV} = 45$ °C)

Zásobník o objemu **120 l** (S 120/5)

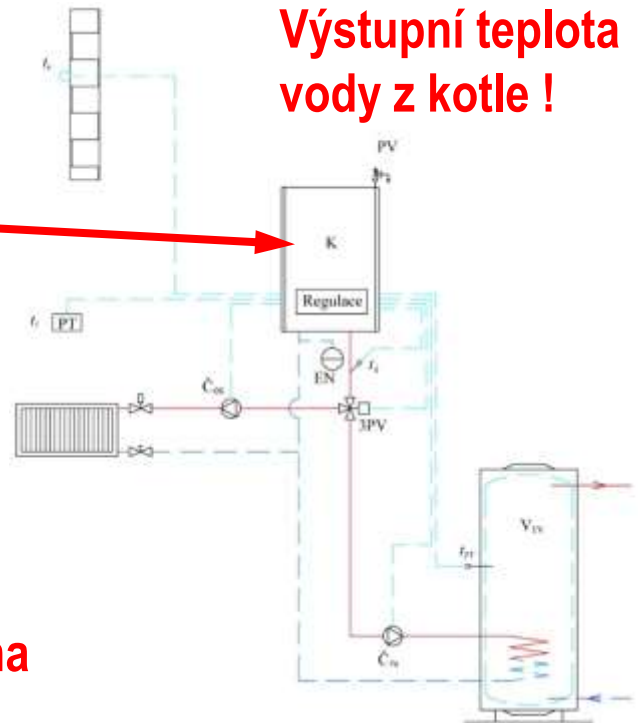
34 kW \Rightarrow 834 l/h ($t_{TV} = 45$ °C)

Jaký zásobník TV?

34 kW \Rightarrow 834 l/h ($t_{TV} = 45\text{ °C}$)



**Teplosměnná plocha
výměníku tepla !**



**Výstupní teplota
vody z kotle !**

Dům s nízkou potřebou energie

- 1) Energetická bilance – potřeba tepla na VYT, VZT, CHL, TV, osvětlení atd. - !!! Potřeba energie na VYT vs. Potřeba pro přípravu TV => velikost zdroje tepla !!!
- 2) Návrh zdroje tepla – návrh využití podílu AZE, podmínky omezující provoz
- 3) Regulace – dynamické chování systémů HVAC



DĚKUJI ZA POZORNOST

<http://utp.fs.cvut.cz>

Roman.Vavricka@fs.cvut.cz

