



Komplexní vzdělávací program pro podporu environmentálně šetrných technologií ve výstavbě a provozování budov



Evropský sociální fond
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti



Tepelná čerpadla

Tomáš Matuška

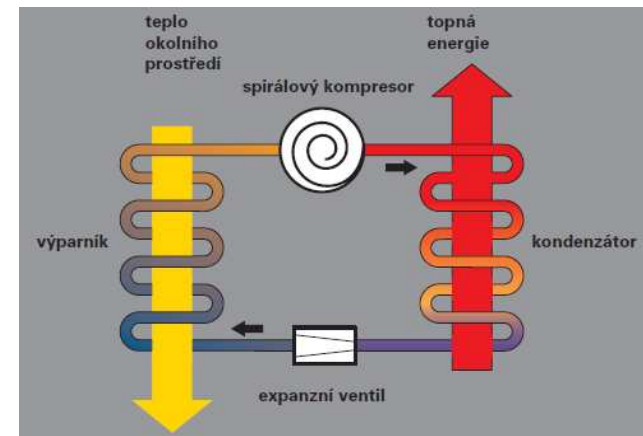
Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

ČVUT v Praze



Základy přecherpávání tepla

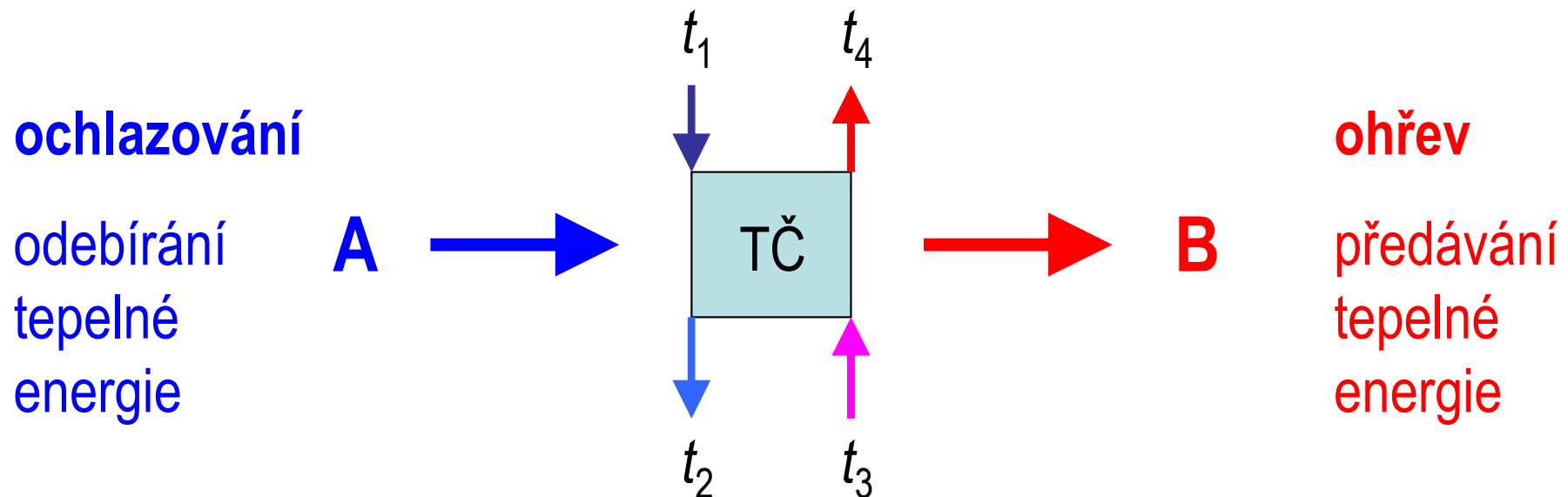
- princip přecherpávání tepla
- základní oběhy
- hlavní součásti tepelných čerpadel





Tepelná čerpadla

- zařízení, která umožňují:
 - cíleně **čerpát** tepelnou energii z prostředí **A** o **nízké** (= **nevyužitelné**) teplotě (anergie)
a zároveň
 - **předávat** ji do prostředí **B** při **vyšší** (= **využitelné**) teplotě





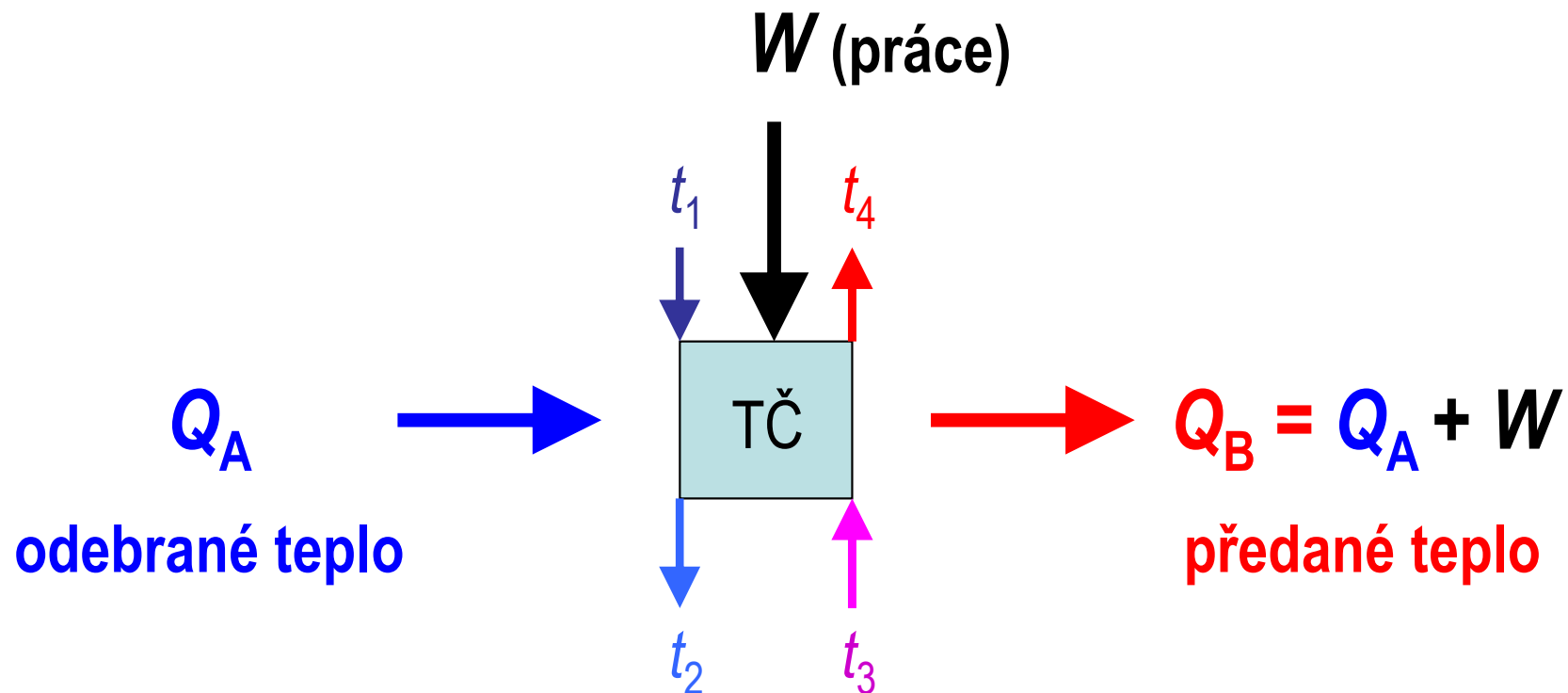
Tepelná čerpadla – základní principy

- 2. zákon termodynamiky (růst entropie, nevratnost tepelných pochodů):
 - „tepelná energie nemůže samovolně přecházet z prostředí o nižší teplotě do prostředí o vyšší teplotě“
 - děj lze uskutečnit pouze za přívodu vnější energie o vyšší kvalitě (potenciálu, teplotě)
- vysokopotenciální energie
 - elektrická (elektromotor)
 - mechanická (hřídel motoru, převod)
 - tepelná o **vyšší teplotě** než je teplota, na kterou se přečerpává (plynový hořák)



Tepelná čerpadla – základní principy

- přecherpávání tepla:
 - pohonná vysokopotenciální energie W degraduje a přechází s přecherpávanou energií do prostředí **B**





Zařízení pro přečerpávání tepla

- **chladicí zařízení**

- využívají primárně chladicího jevu
- užitečným teplem je teplo odebírané prostředí A (snižuje jeho teplotu)
- nevyužitým teplem je teplo odváděné do prostředí B (odpadní teplo)

- **tepelné čerpadlo**

- účelně využívá teplo předávané do prostředí B

- rozdíl není v principu, ale v charakteru využití tepla
- nelze však jednoduše směřovat s ohledem na odlišnosti v konstrukci prvků obou zařízení



Náročnost přecherpávání tepla

topný faktor

coefficient of performance

COP

$$\varepsilon_t = COP = \frac{Q_B}{W}$$

chladič faktor

energy efficiency ratio

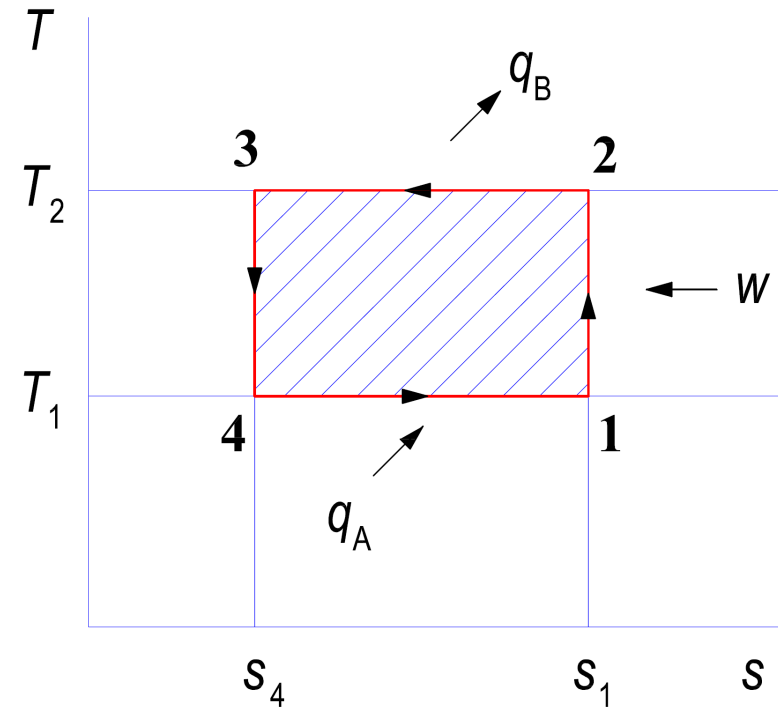
EER

$$\varepsilon_{ch} = EER = \frac{Q_A}{W}$$



Carnotův oběh

- **teoretický oběh**
 - vratný (ideální)
 - tepelně nejúčinnější typ oběhu
 - nelze jej v reálném zařízení uskutečnit
- **izoentropické změny ($s = \text{konst.}$)**
 - komprese, expanze
- **izotermické změny ($T = \text{konst.}$)**
 - přívod tepla, odvod tepla



$$COP_C = \frac{q_B}{w} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

$$EER_C = \frac{q_A}{w} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = COP_C - 1$$



Carnotův oběh

- **nereálný oběh – nezohledňuje:**
 - konečnou velikost teplosměnných ploch
 - reálné vlastnosti pracovních látek (chladičů)
 - skutečnou účinnost zdroje pohonné energie (neizoentropický zdroj)
 - tepelné ztráty do okolí
 - potřebu pohonné energie pro pomocná zařízení
- **skutečný topný faktor – srovnání s Carnotem**

$$COP_{TČ} = \eta_{TČ} \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

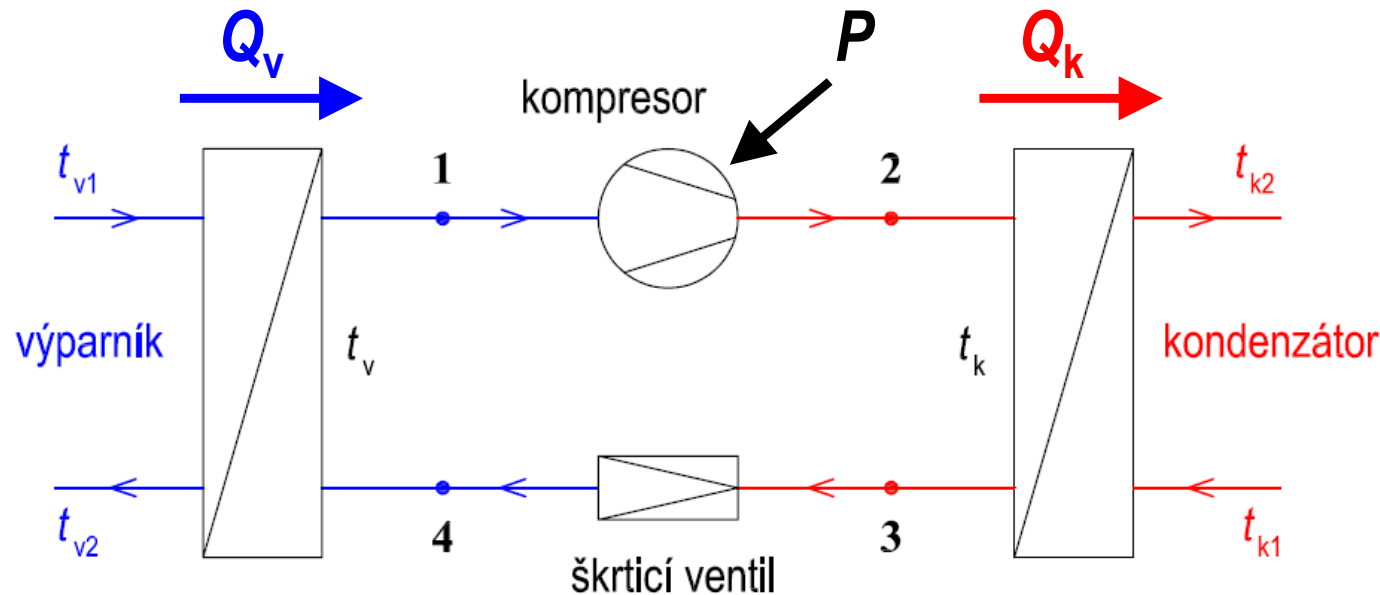
srovnávací účinnost $\eta_{TČ} = 0,4$ až $0,6$

malé výkony

velké výkony



Parní oběh

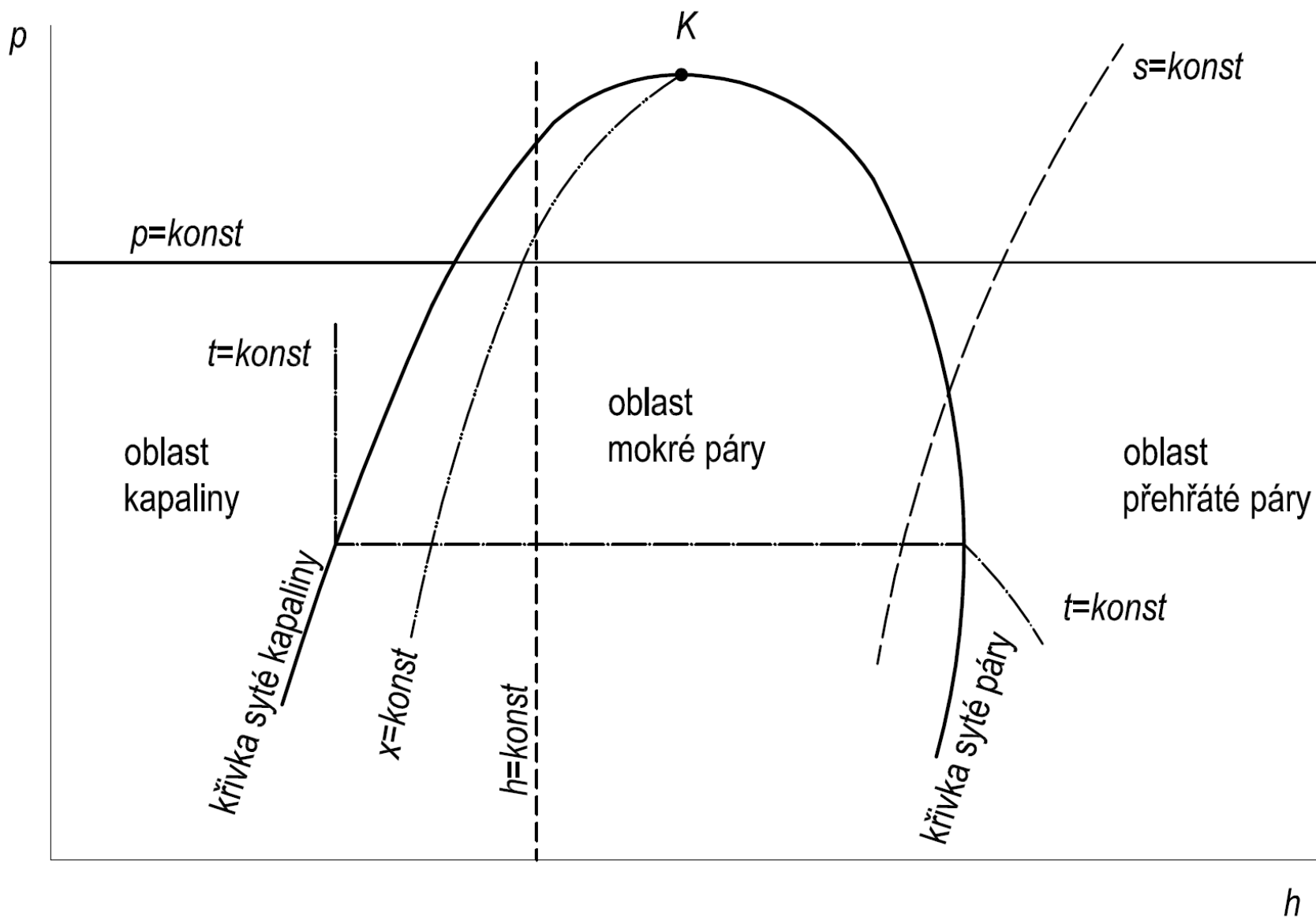


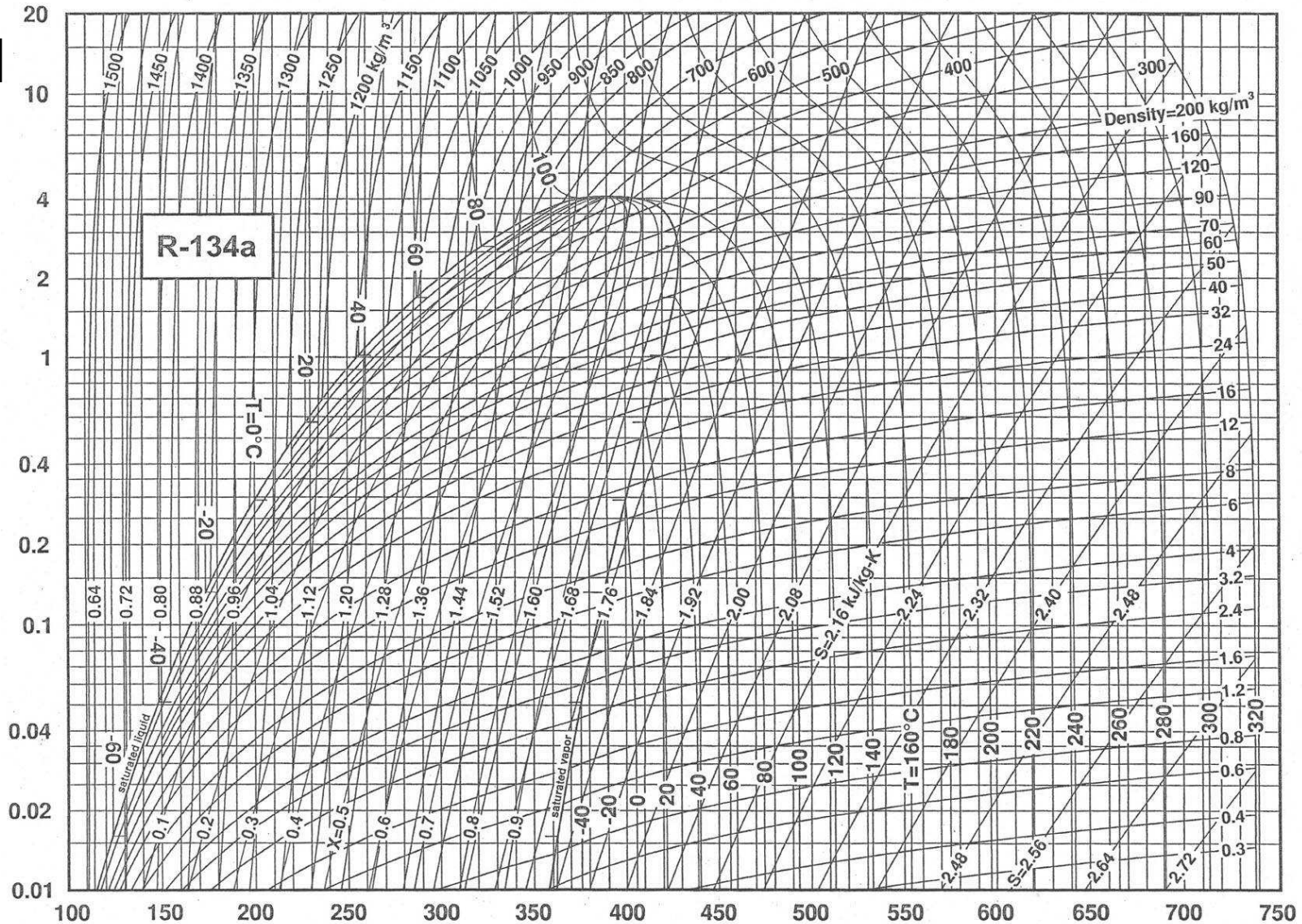
$$Q_k = Q_v + P$$

- 4-1: vypařování při nízkém vypařovacím tlaku p_v a teplotě $t_v < t_{v2}$, ochlazení
- 1-2: komprese na vyšší kondenzační tlak p_k
- 2-3: ochlazení par a kondenzace při tlaku p_k a teplotě $t_k > t_{k2}$, odvedení přečerpaného tepla z kondenzátoru, ohřev
- 3-4: škrticí ventil pro udržení rozdílu tlaků mezi V a K



Pracovní látka – reálné chladivo



p [MPa] $h \text{ [J/kg]}$



Rankinův oběh

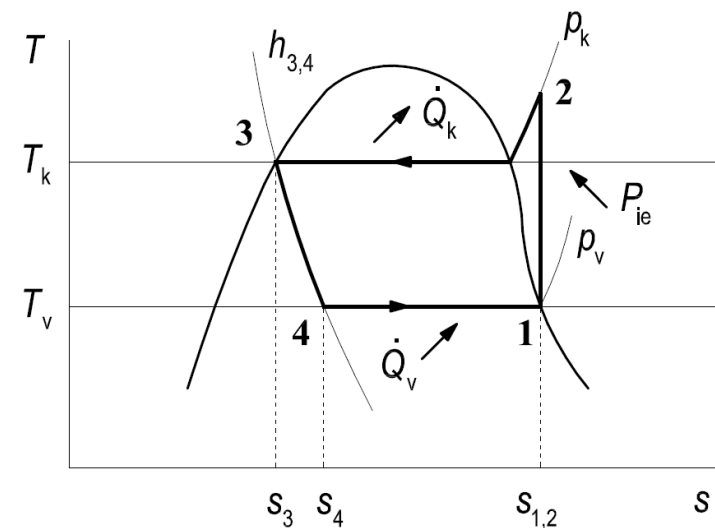
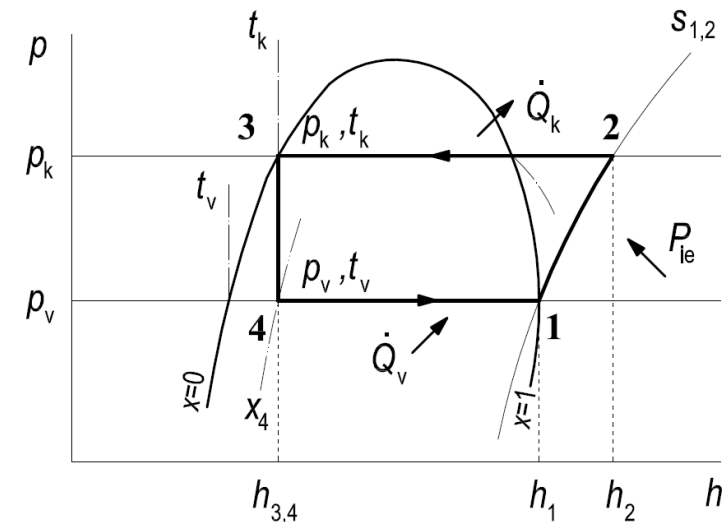
- parní oběh s reálnou pracovní látkou (chladičem) – idealizovaný Rankinův oběh

4-1: **izobarické vypařování** na mez syté páry

1-2: **izoentropická komprese** syté páry na přehřátou páru

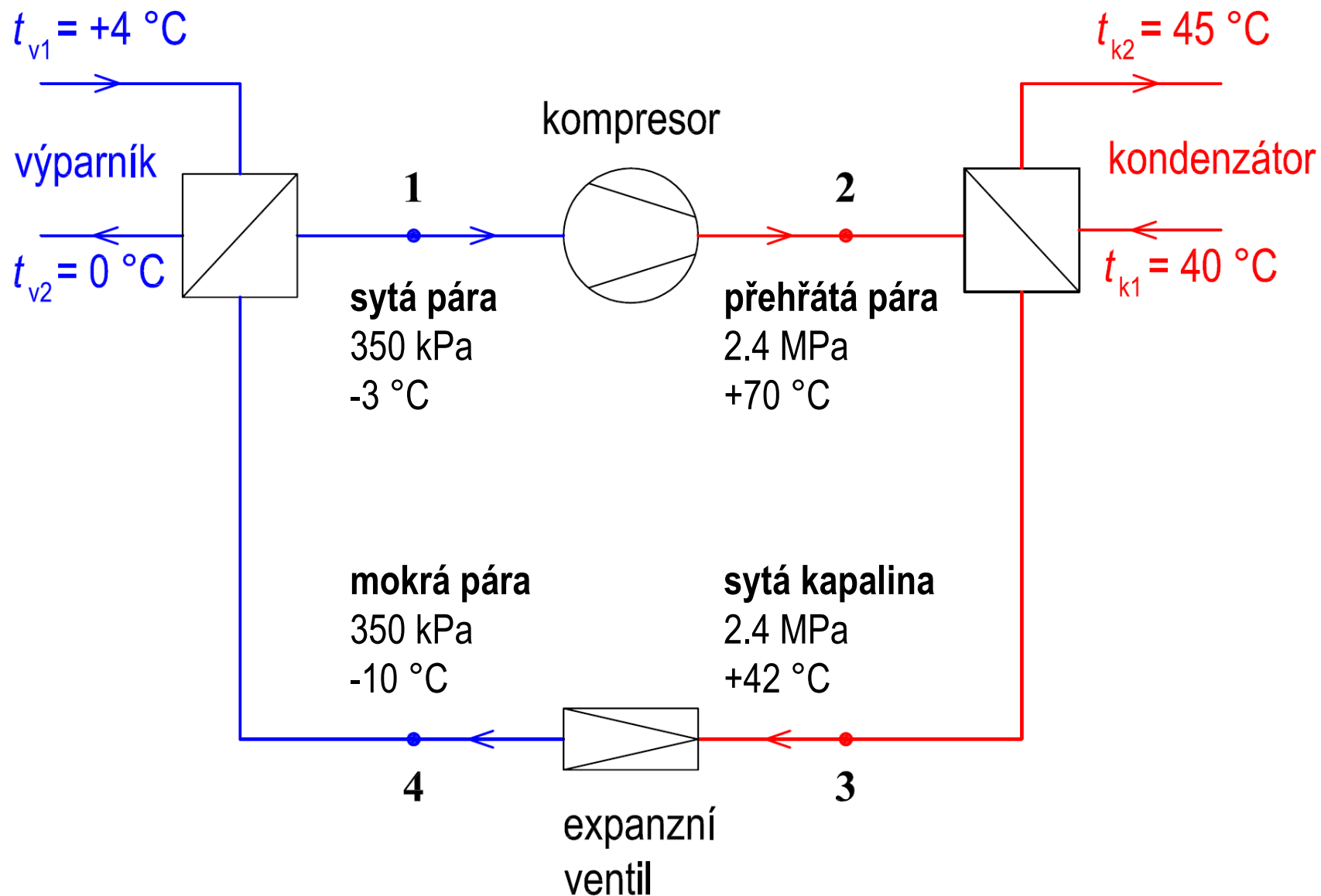
2-3: **izobarické ochlazení** přehřátých par na mez sytosti a následná kondenzace na mez syté kapaliny

3-4: **izoentalpické škrcení** na mokrou páru, snížení tlaku škrcením, nekoná se práce, nepřivádí se teplo = nemění se entalpie (adiabatické škrcení)





Rankinův oběh





Skutečný oběh x Rankinův oběh

- idealizovaný Rankinův oběh předpokládá:
 - žádné podchlazení nebo přehřátí chladiva, stavy chladiva na mezi sytosti
 - nulové tlakové ztráty v oběhu chladiva (potrubí, výměníky)
 - dokonale tepelně izolované tepelné čerpadlo, eliminace sdílení tepla s okolím
 - izoentropická = bezztrátová komprese
- Rankinův oběh není technicky zcela realizovatelný, odchylky od skutečného oběhu jsou malé

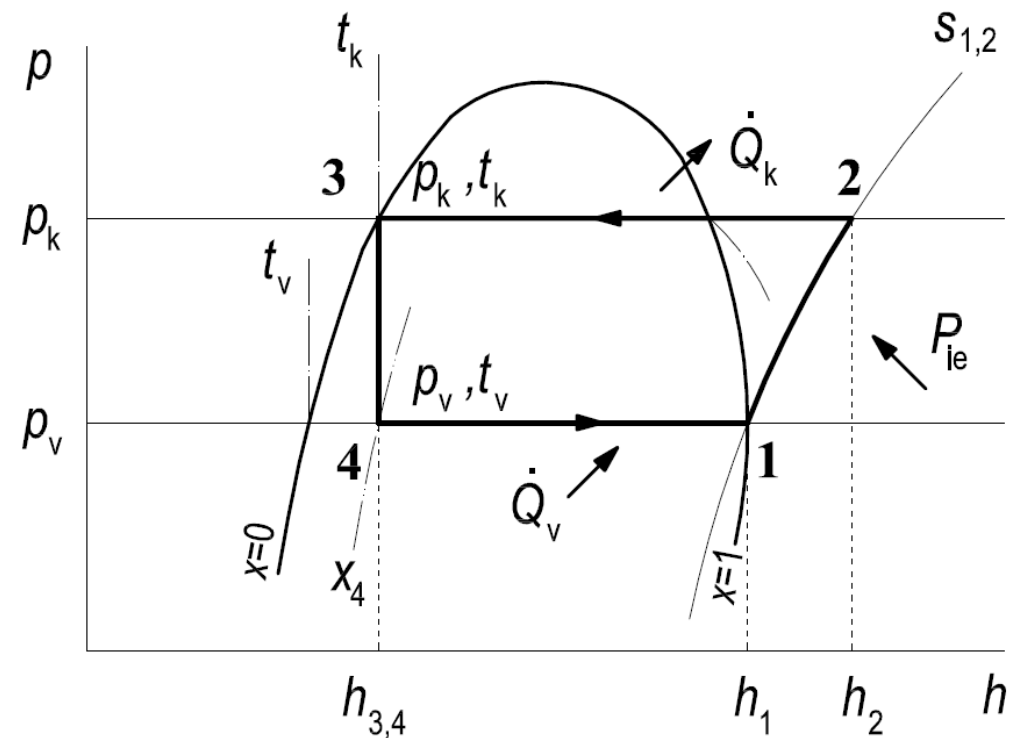


Bilance Rankinova oběhu

$$\dot{Q}_v = \dot{M}_{ch} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q}_k = \dot{M}_{ch} \cdot (h_2 - h_4)$$

$$P_{ie} = \dot{M}_{ch} \cdot (h_2 - h_1)$$



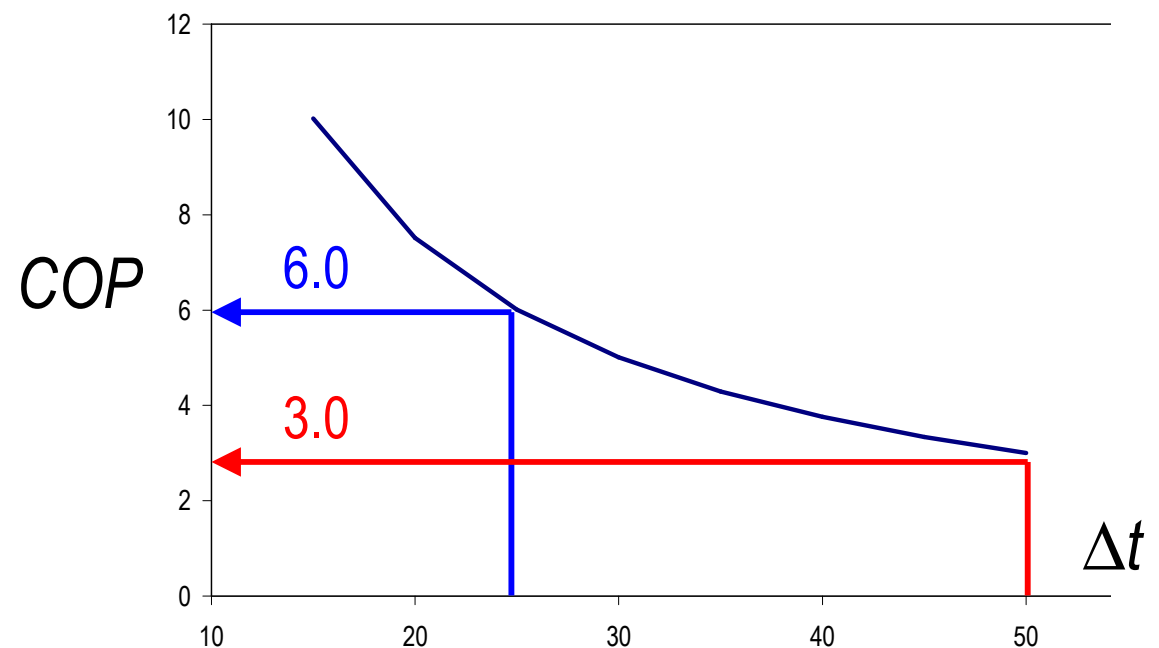
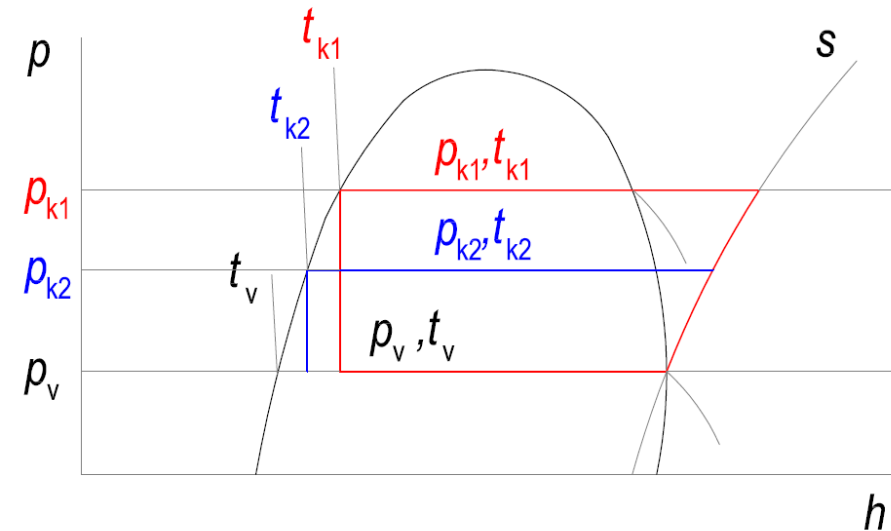
$$COP_R = \frac{\dot{Q}_k}{P_{ie}} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$EER_R = \frac{\dot{Q}_v}{P_{ie}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$



Topný faktor závislý na teplotách

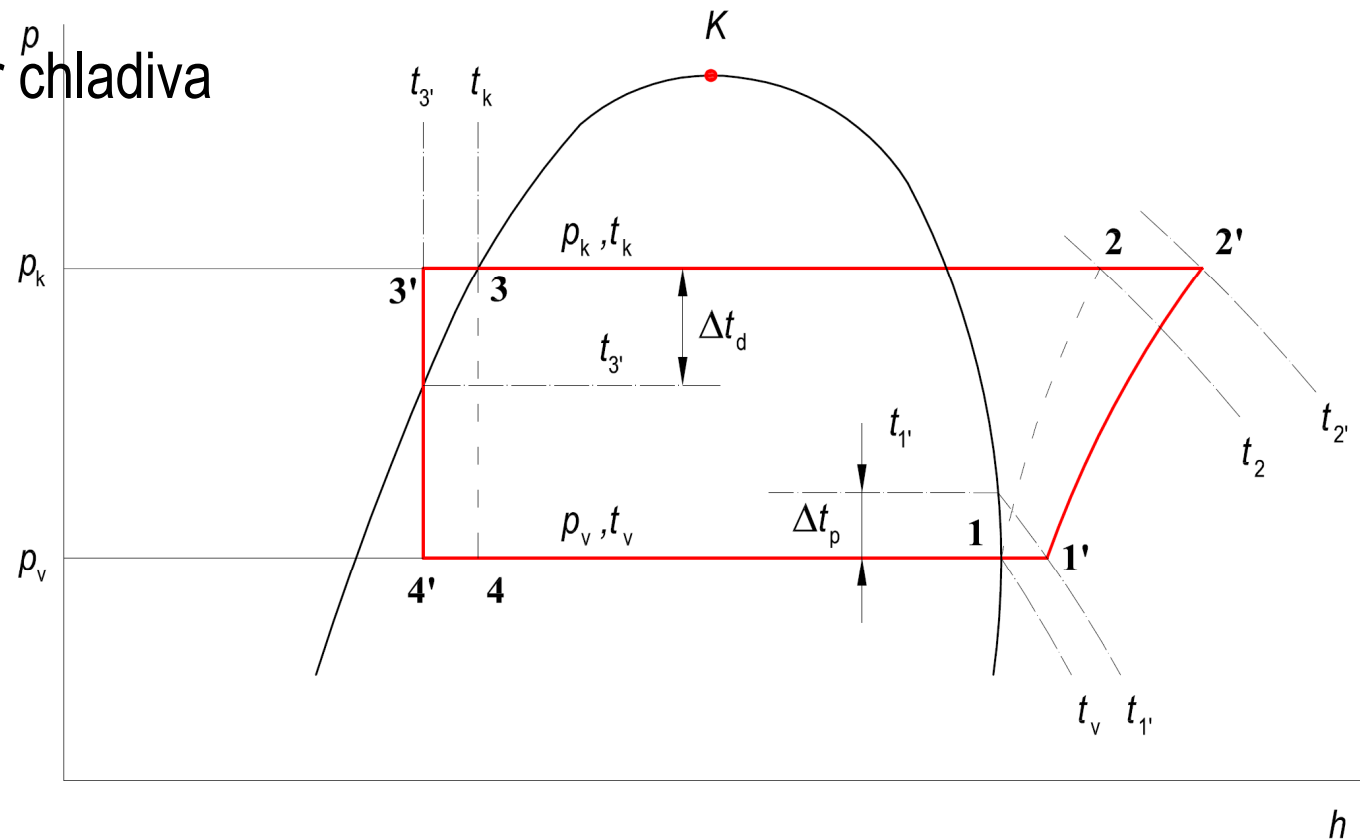
- t_k - dána okruhem spotřeby
- otopnou soustavou
(tělesa, podlahové vytápění, VZT, TV)
- t_v - dána teplotou
ochlazovaného prostředí
(země, vzduch, povrch.
voda, podzemní voda)
- typ chladiva
- typ kompresoru





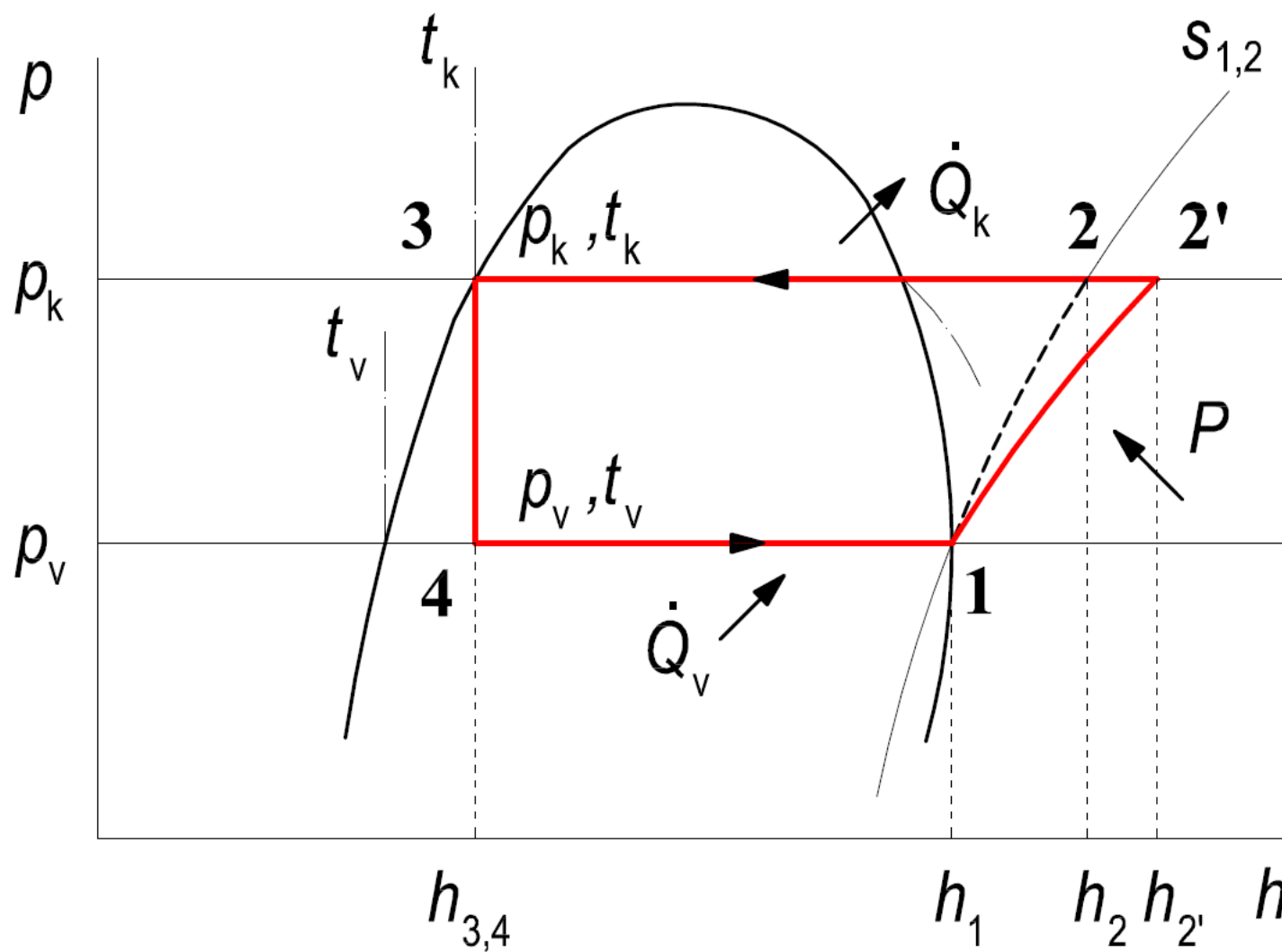
Skutečný oběh

- odchyluje se od Rankinova oběhu v:
 - přehřívání par chladiva
 - podchlazení kapalného chladiva
 - kompresi par chladiva





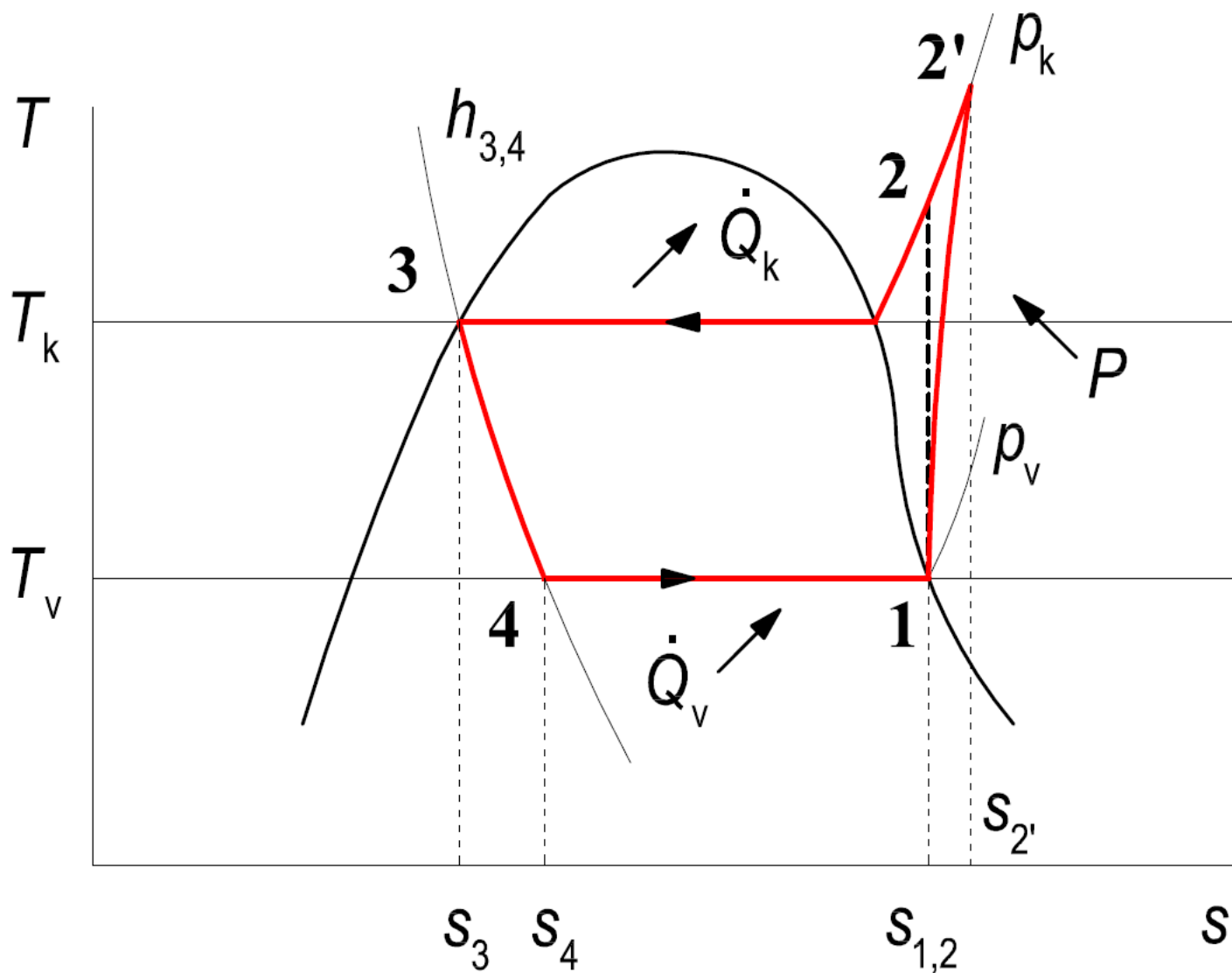
Reálná komprese



$$\eta_{ie} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1}$$



Reálná komprese



$$\eta_{ie} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1}$$



Prvky tepelného čerpadla

výparník

expanzní
ventil

kondenzátor

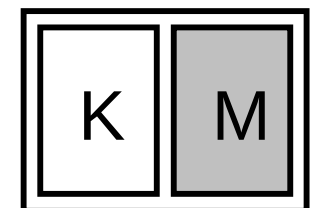
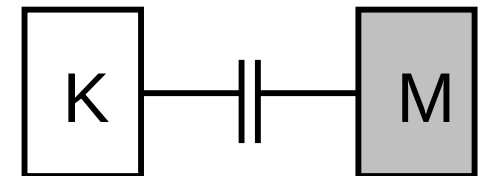
kompresor





Kompresor - provedení

- nasává přehřáté páry z výparníku při tlaku na sání p_v a stlačuje je na kondenzační tlak p_k
- **oddělené**
 - pohonný motor je od kompresoru oddělen převodem
 - hřídel je v kompresorové skříni těsněna ucpávkou, velká zařízení
 - tepelné ztráty motoru se nepodílí na oběhu
- **hermetické**
 - motor a kompresor v hermeticky uzavřené tlakové nádobě
 - ztráty (elektro)motoru se podílí na bilanci oběhu
vinutí je chlazeno nasávanými parami chladiva
přehřívání par na sání kompresoru





Kompresor - konstrukce

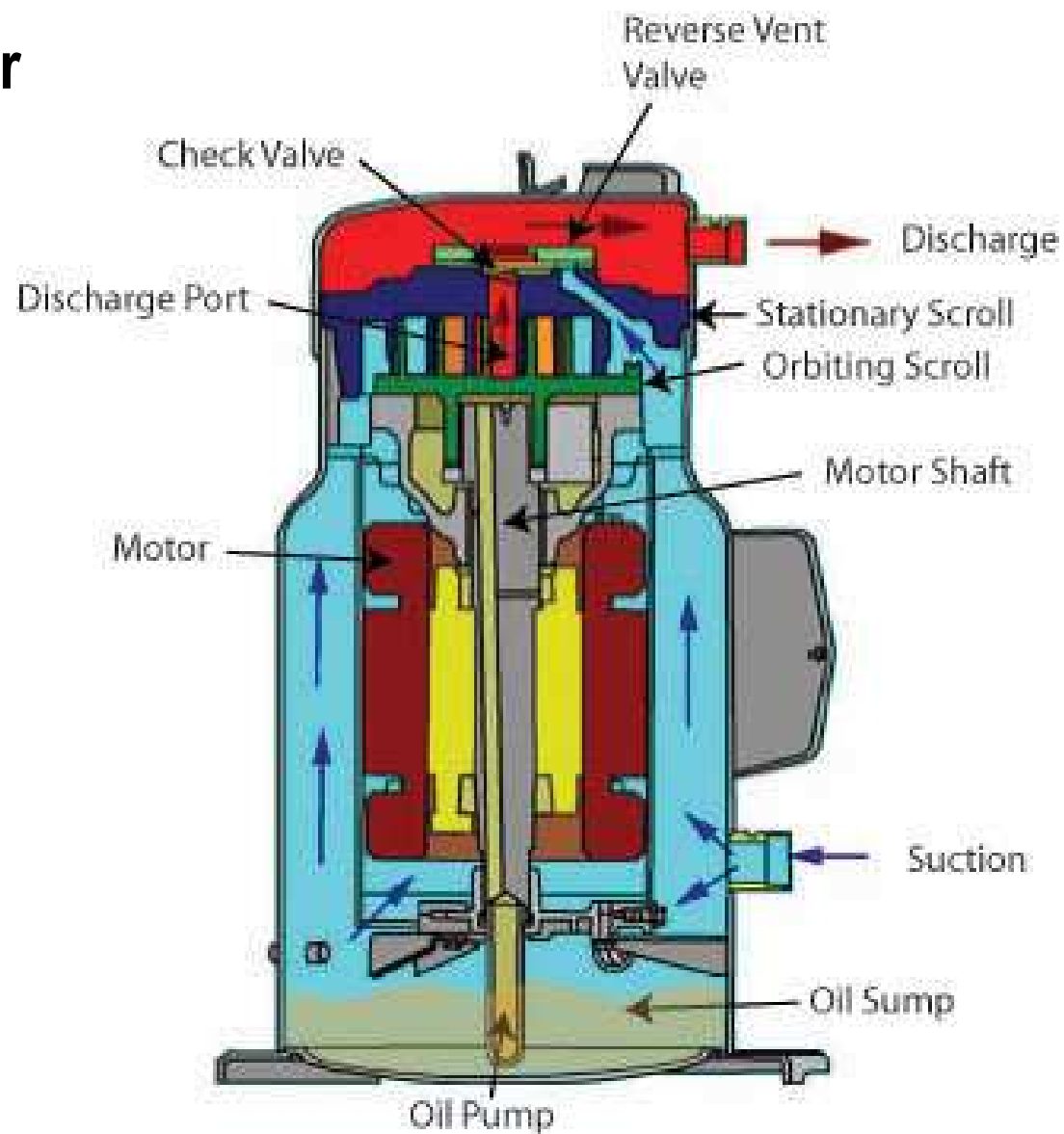
- **rotační spirálové kompresory (scroll)**
 - pracovní cyklus nasávání, stlačování a výtlačku par chladiva je realizován pohybem pohyblivé spirály vůči statické spirále
 - plynulá změna kompresního prostoru
 - sání je na obvodu, výtlaček ve středu
 - menší množství pohybujících se částí = vyšší životnost, spolehlivost, menší vibrace, nižší hlučnost
 - eliminace škodlivého prostoru





Kompresor - konstrukce

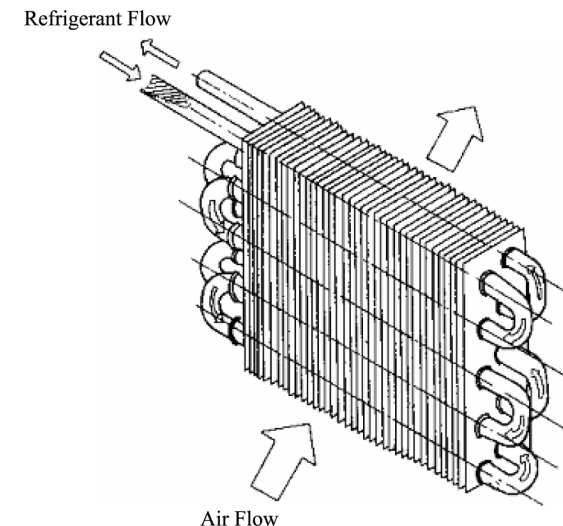
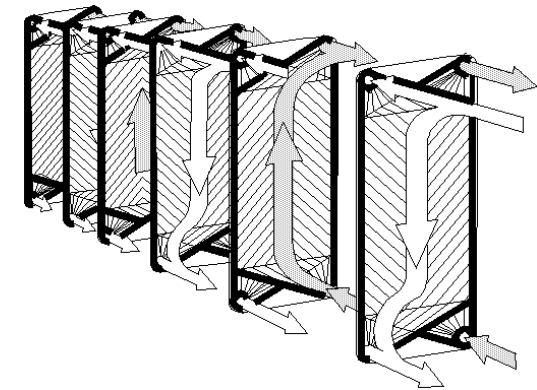
rotační spirálový kompresor





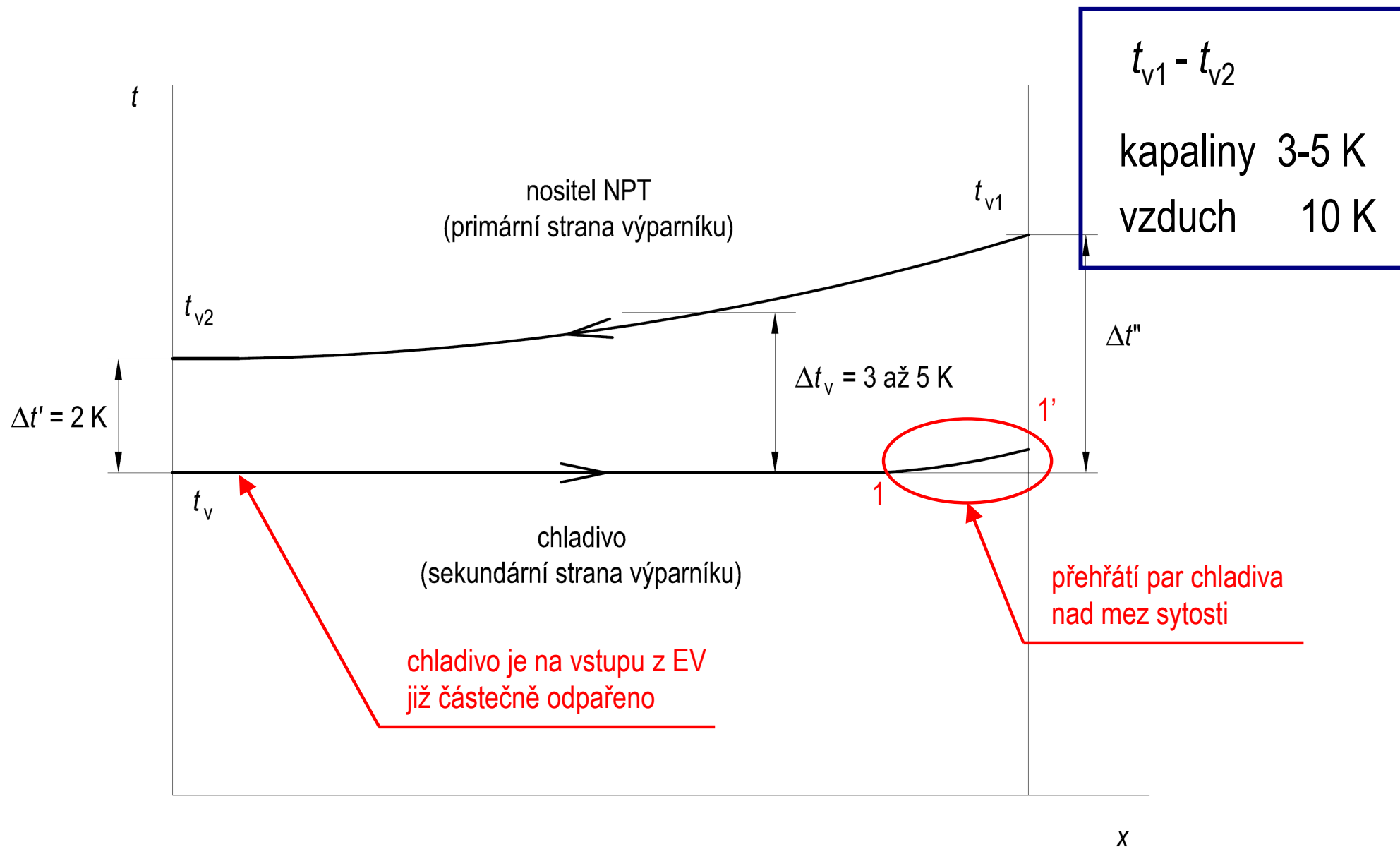
Výparník

- odebírá teplo nízkopotenciálnímu zdroji tepla (chlazenému prostředí) vypařováním chladiva za nízkého tlaku při teplotě **nižší** než je výstupní teplota teplotnosné látky t_{v2}
- **ochlazování teplotnosné látky:**
 - nemrznoucí směs (TČ země-voda)
 - voda (TČ voda-voda)
 - vzduch (TČ vzduch-voda)
- **výměníky:**
 - kapaliny: letovaný deskový výměník
 - vzduch: trubkový žebrový výměník





Výparník





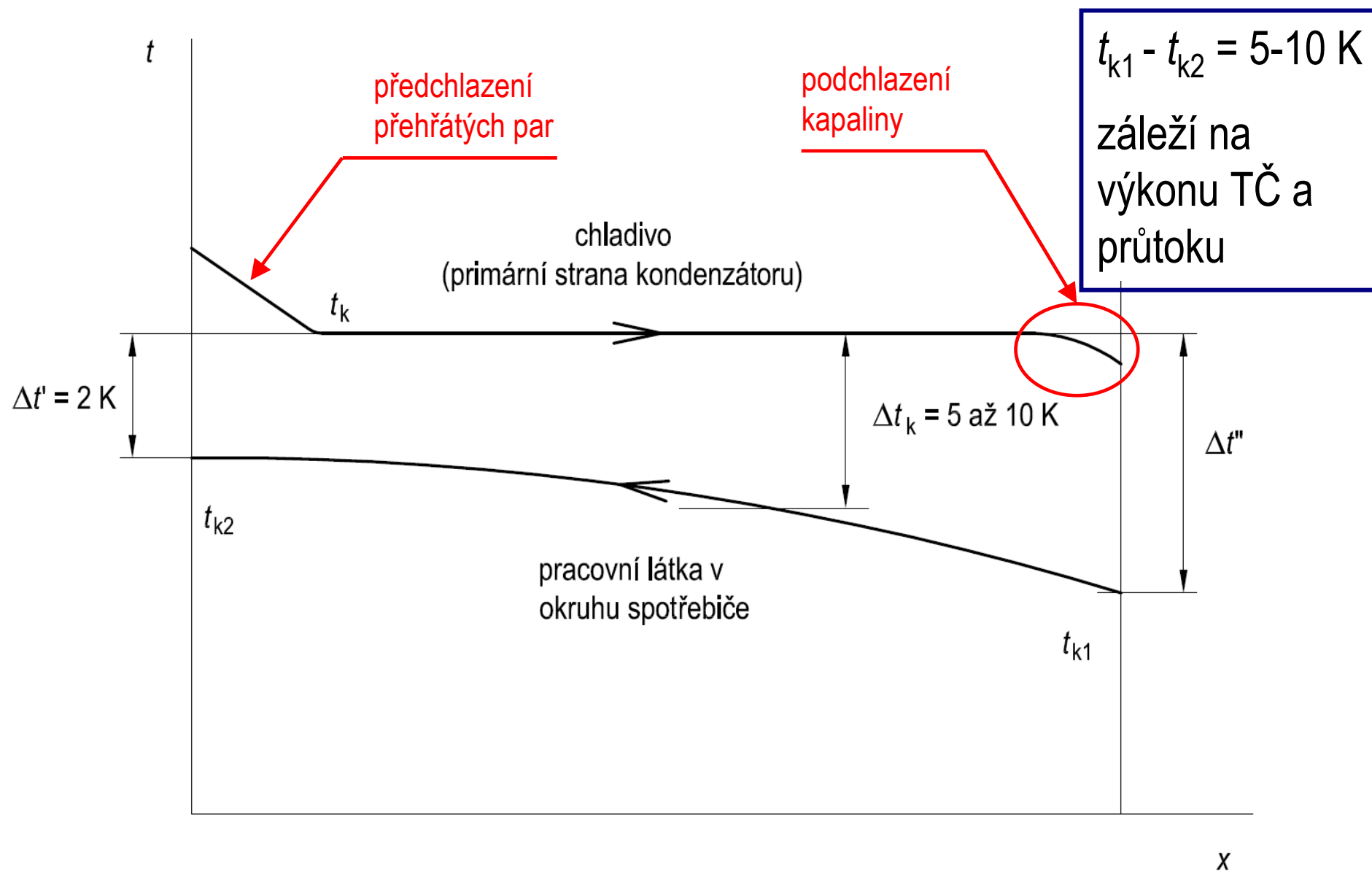
Kondenzátor

- předává teplo pro využití do teponosné látky (ohřívanému prostředí) kondenzací chladiva za vysokého tlaku při teplotě **vyšší** než je výstupní teplota teponosné látky t_{k2}
- **ohřívání teponosné látky:**
 - otopná voda (běžná TČ)
 - teplá voda (TČ ohříváče)
- **výměníky:**
 - letovaný deskový výměník
 - trubkový žebrový výměník (uvnitř zásobníku)





Kondenzátor





Expanzní (škrticí) ventil

- **udržuje tlakový rozdíl** mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího oběhu
- **reguluje průtok chladiva** z kondenzátoru do výparníku v závislosti na výstupní teplotě z výparníku
- **udržuje přehřátí chladiva** za výparníkem $\Delta t_p = 4$ až 8 K
- průchodem kapalného chladiva EV se poklesem tlaku část chladiva odpaří a do výparníku vstupuje jako směs páry a kapaliny při výparné teplotě (mokrý pára)
- elektronicky řízené EV



Chladiva

Chladivo (složení)	Faktor poškození ozónové vrstvy RODP	Faktor vlivu na globální oteplování HGWP
plně halogenované uhlovodíky (CFC)		
R11 (CFCI₃) - reference	1	1
R12 (CF ₂ CI ₂)	1	3
částečně halogenované uhlovodíky (HCFC)		
R22 (CHF ₂ CI)	0,06	0,34
R401 (R22+R152a+R124)	0,03	0,22
R402 (R22+R290+R125)	0,02	0,64
fluorované uhlovodíky (HFC) a jejich směsi (bez chloru)		
R134a (C ₂ H ₂ F ₄)	0	0,27
R507 (C ₂ HF ₅ +C ₂ H ₃ F ₃)	0	0,98
R410a (CH ₂ F ₂ +C ₂ HF ₅)	0	0,41
R407c (CH ₂ F ₂ +C ₂ HF ₅ +C ₂ H ₂ F ₄)	0	0,39

**zakázaná chladiva bez
možnosti servisu**

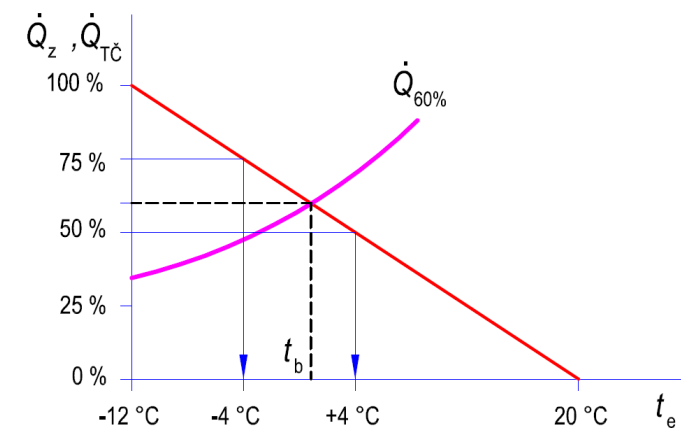
**přechodná do 2015
(pouze servis, nesmí do
nových zařízení)**

**dlouhodobá alternativní
bezchlorová chladiva
nahrazující CFC, bez vlivu
na ozónovou vrstvu**



Navrhování tepelných čerpadel

- parametry tepelného čerpadla
- provozní režimy, navrhování
- akumulace tepla
- bilancování – intervalová metoda sezónní topný faktor





Parametry tepelného čerpadla

- **topný výkon Q_k [kW]** – výkon odebíraný z kondenzátoru
 - **topný faktor COP [-]**
-

při jasně definovaných podmínkách t_{v1} a t_{k2}

- **elektrický příkon P_{el} [kW]**
- **výkon zdroje NPT Q_v [kW]** – výkon přiváděný do výparníku



Topný faktor – zkušební normy

- ČSN EN 14511 - Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru
 - ČSN EN 14511-1: dtto - Termíny a definice
 - ČSN EN 14511-2: dtto - Zkušební podmínky
 - ČSN EN 14511-3: dtto - Zkušební metody
 - ČSN EN 14511-4: dtto - Požadavky

EN 14511 v současné době nahradila EN 255

řada výrobců má platné certifikáty z měření podle EN 255

Topný faktor – zkušební podmínky

- ČSN EN 14511: voda-voda
 - jmenovité: **10/35 °C** 10/45 °C
 - provozní: 15/45 °C 10/55 °C
- ČSN EN 14511: nemrznoucí směs-voda (země-voda)
 - jmenovité: **0/35 °C** 0/45 °C
 - provozní: 5/35 °C 5/45 °C 0/55 °C
 - 5/45 °C
- ČSN EN 14511: vzduch-voda (venkovní vzduch)
 - jmenovité: **7/35 °C** 7/45 °C
 - provozní: **2/35 °C** 2/45 °C 7/55 °C
 - 7/35 °C -7/45 °C -7/55 °C
 - 15/35 °C -15/45 °C



Topný faktor EN 14511 x EN 255

- Značení:

země-voda S0/W35, vzduch-voda A2/W35, voda-voda W10/W35

- podle ČSN EN 14511:

- otopná voda vstupující do tepelného čerpadla daná **30 °C**, vystupující 35 °C, teplotní spád 5 K

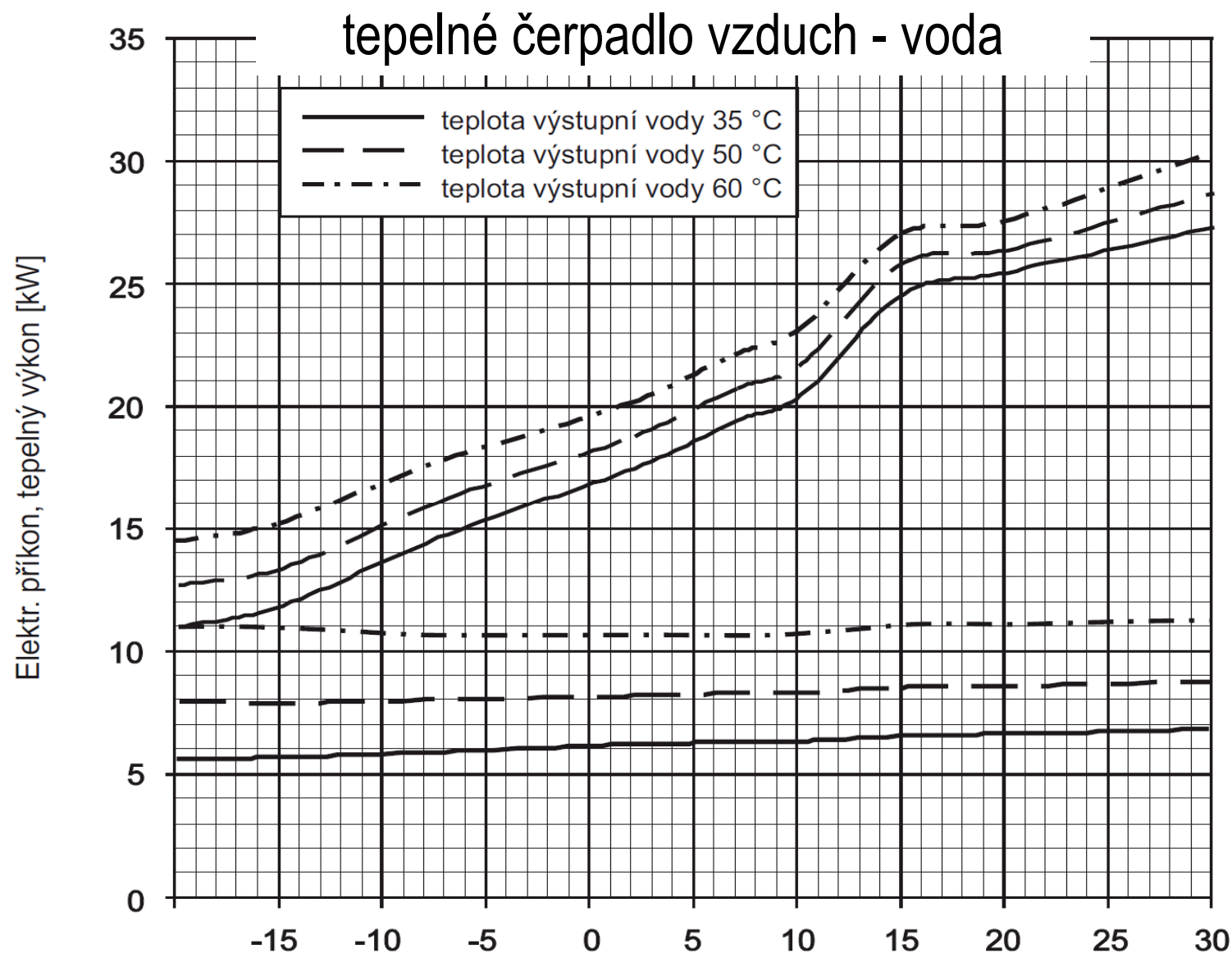
- podle ČSN EN 255:

- otopná voda vstupující do tepelného čerpadla neurčena (**25 °C**), vystupující 35 °C, výrobci mohli udávat teplotní spád 10 K

podle EN 255 lepší topné faktory od několik desetín !!!

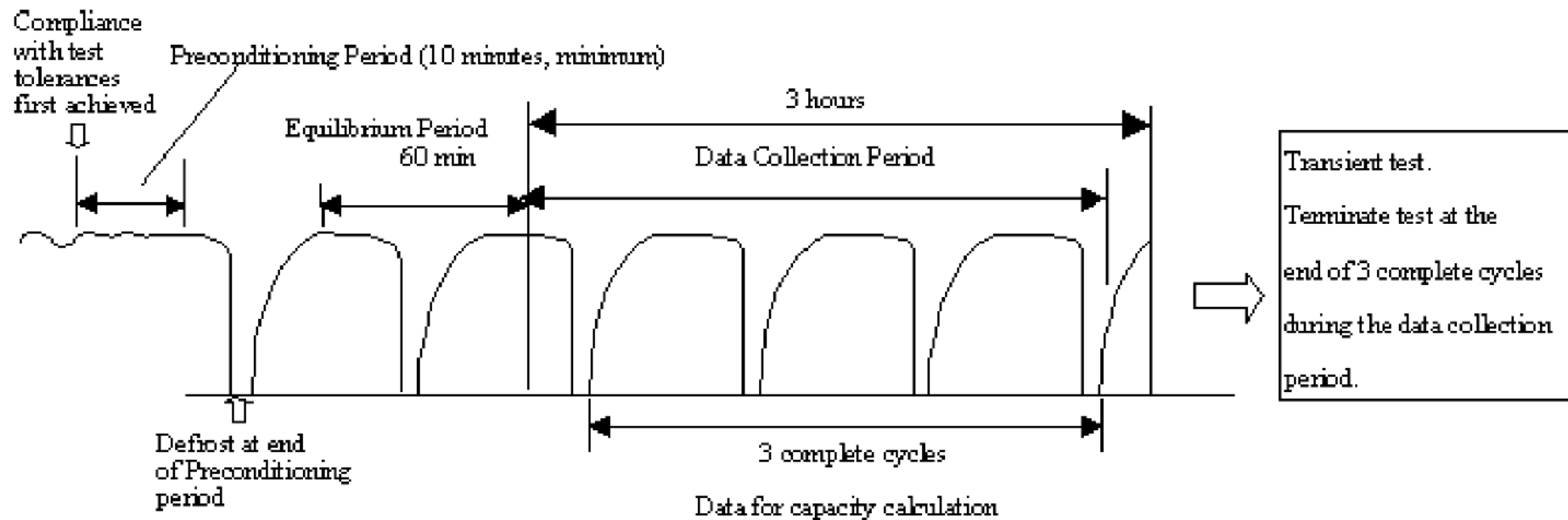


Parametry tepelného čerpadla





Topný faktor EN 14511



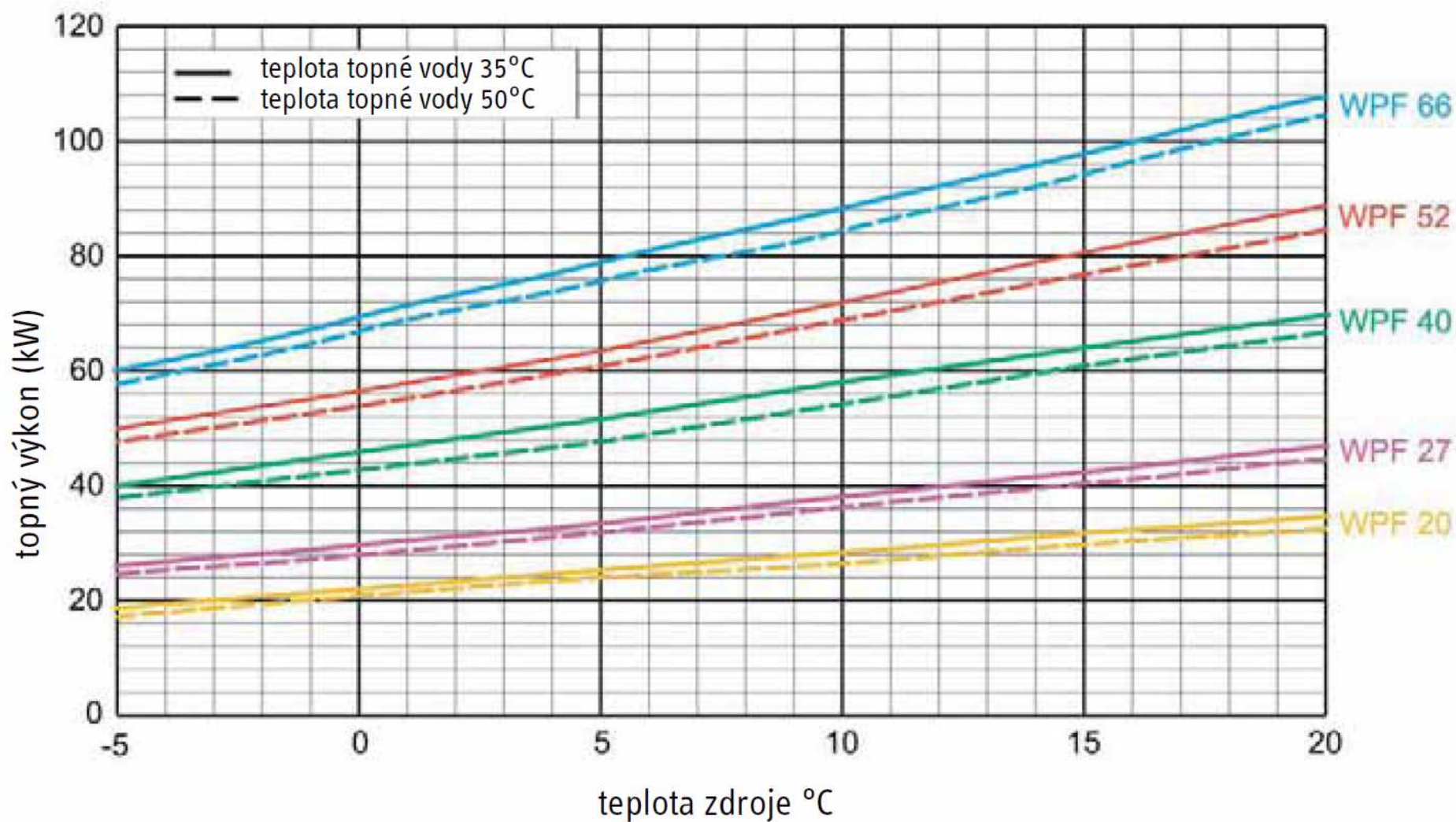
zkušební sekvence tepelného čerpadla musí odpovídat jeho funkci v provozu

tepelná čerpadla vzduch-voda: **včetně odmrazovacího cyklu**



Parametry tepelného čerpadla

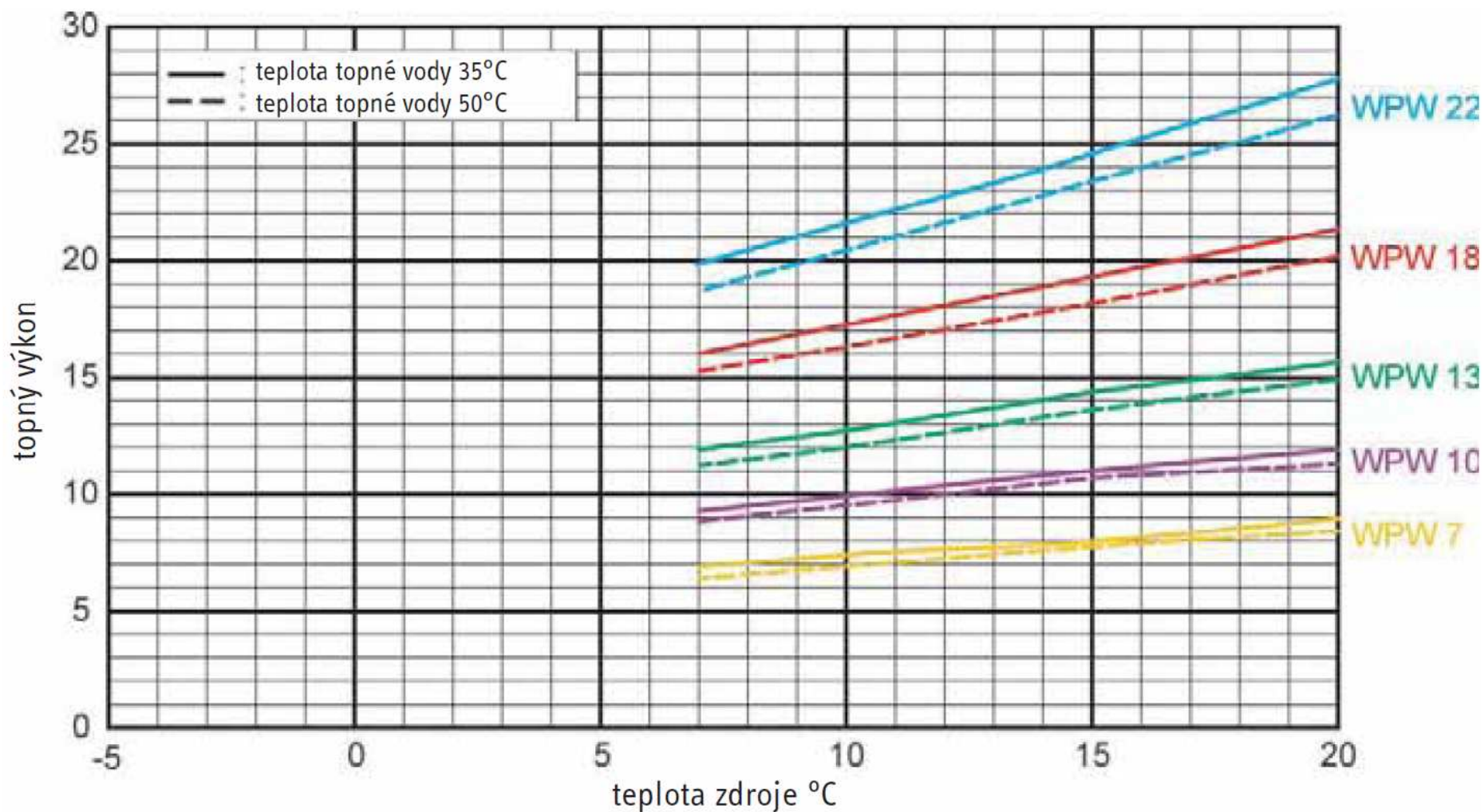
tepelné čerpadlo země - voda





Parametry tepelného čerpadla

tepelné čerpadlo voda - voda





Minimální topný faktor TČ

- **minimální topný faktor tepelného čerpadla pro nahrazení primárního paliva**

- **tepelné zařízení:** přeměna primárního paliva s účinností η_k

(např. plynový kotel)

$$Q_{p1} = \frac{Q_d}{\eta_k}$$

- **tepelné čerpadlo:** přeměna primárního paliva na elektrickou energii s účinností η_e – přeměna elektrické energie (mechanická práce) na teplo z tepelného čerpadla (využití **obnovitelné** části z prostředí) s topným faktorem **COP**

$$Q_{p2} = \frac{P_e}{\eta_e} = \frac{Q_d}{COP} \cdot \frac{1}{\eta_e}$$



Minimální topný faktor TČ

- minimální topný faktor tepelného čerpadla pro nahrazení primárního paliva (včetně ztrát akumulace)

$$Q_{p2} < Q_{p1} \qquad COP > \frac{\eta_k}{\eta_e}$$

- **plynový kotel** $\eta_k = 0.92$ (**provozní účinnost ???**), účinnost elektrárny (0.35) + ztráty v rozvodech $\eta_e = 0.30$

minimální sezónní topný faktor **$COP > 3,1$**

- **plynový kondenzační kotel** $\eta_k = 1.04$, účinnost produkce el. energie $\eta_e = 0.30$

minimální sezónní topný faktor **$COP > 3.5$**

uspoří tepelná čerpadla primární energii?

jsou obnovitelnými zdroji tepla?



Tepelná čerpadla s plynovými motory

- minimální topný faktor tepelného čerpadla pro nahrazení primárního paliva (včetně ztrát akumulace)

$$Q_{p2} < Q_{p1}$$

$$COP > \frac{\eta_k - q}{\eta_m}$$

- **plynový kotel** $\eta_k = 0.92$, účinnost motoru pohánějícího kompresor $\eta_m = 0.30$, podíl využití energie ze spalin a chlazení motoru $q = 0.50$

minimální sezónní topný faktor **$COP > 1.4$**

- **plynový kondenzační kotel** $\eta_k = 1.04$, účinnost motoru pohánějícího kompresor $\eta_m = 0.30$, podíl využití energie ze spalin a chlazení motoru $q = 0.50$

minimální sezónní topný faktor **$COP > 1.8$**

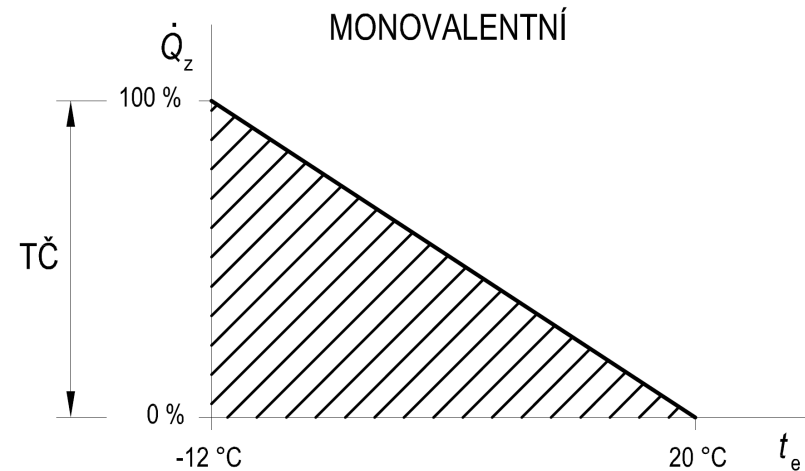
tepelná čerpadla s plynovými motory – vyšší využití primárního paliva



Provozní režimy tepelných čerpadel

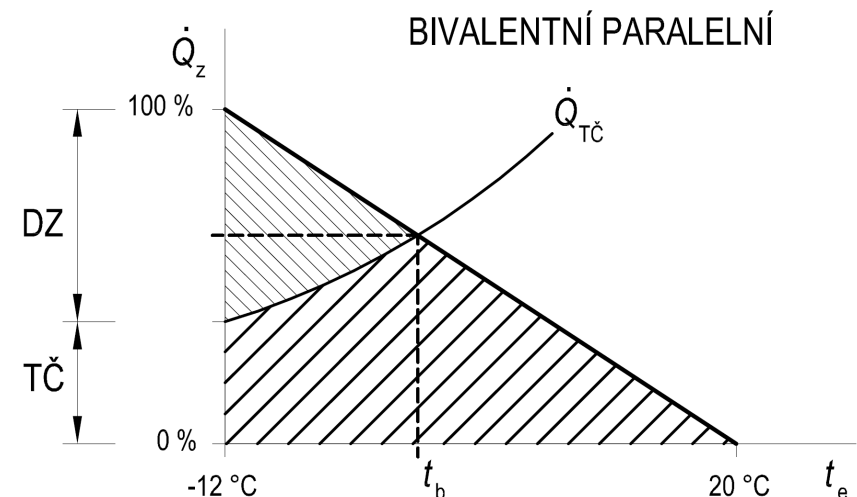
■ monovalentní provoz

- tepelné čerpadlo je jediným vytápěcím zařízením – nízkoteplotní vytápění do teploty otopné vody 55 °C



■ paralelně bivalentní provoz

- pod teplotou bivalence se připíná další zdroj, tepelné čerpadlo pracuje i pod bodem bivalence. **Nízkoteplotní otopná soustava** (velkoplošná otopná tělesa, podlahové vytápění) s teplotou do 55 °C

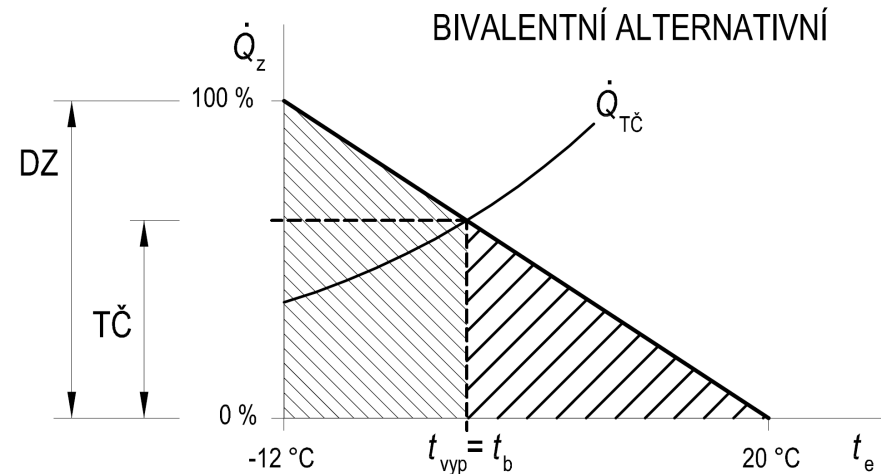




Provozní režimy tepelných čerpadel

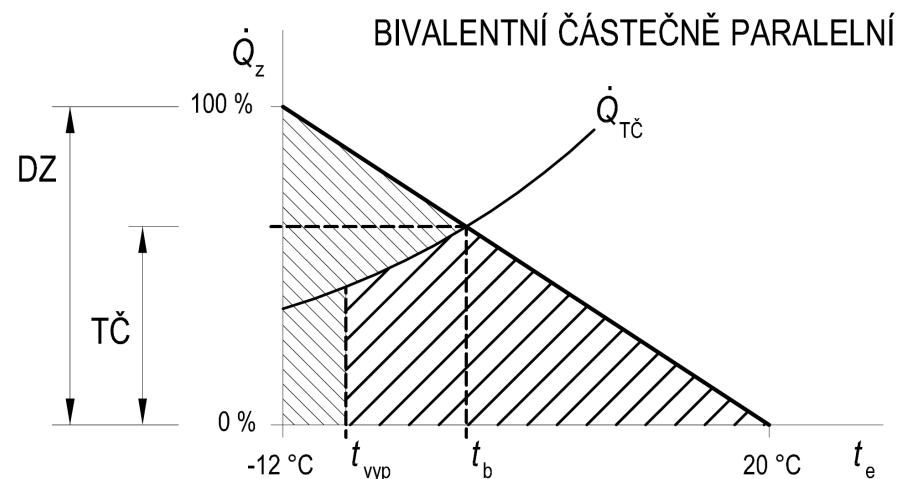
■ alternativně bivalentní provoz

- při poklesu pod stanovenou teplotu bivalence a vytápění zajišťuje jiný zdroj. Vhodné pro otopné soustavy s teplotou otopné vody do 90 °C



■ částečně paralelně bivalentní provoz

- pod teplotou bivalence (od výkonu) se připojuje další zdroj tepla, a dále při nedosažení potřebné výstupní teploty otopné vody se čerpadlo vypíná.





Navrhování tepelných čerpadel

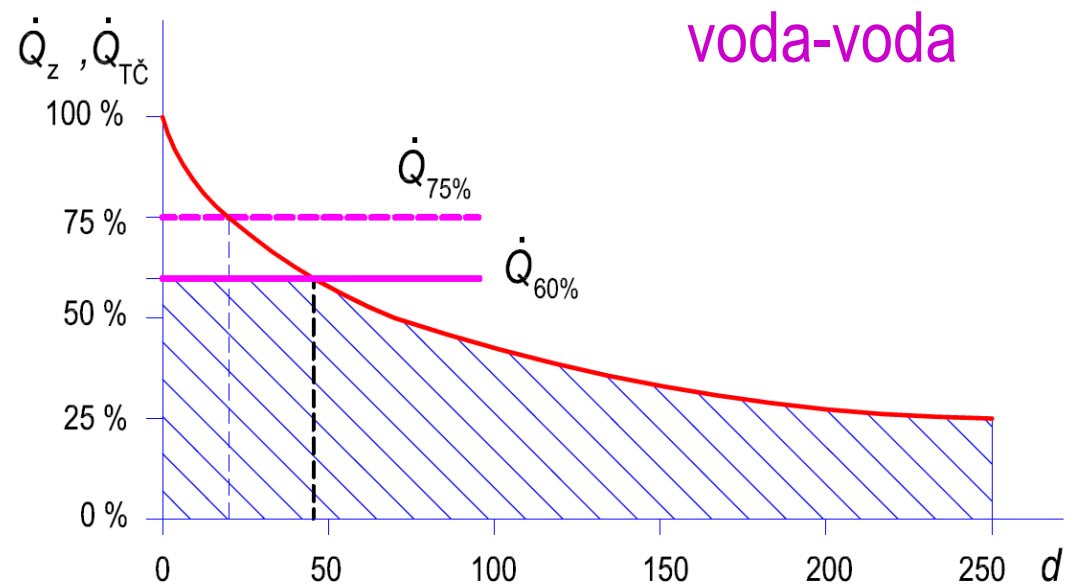
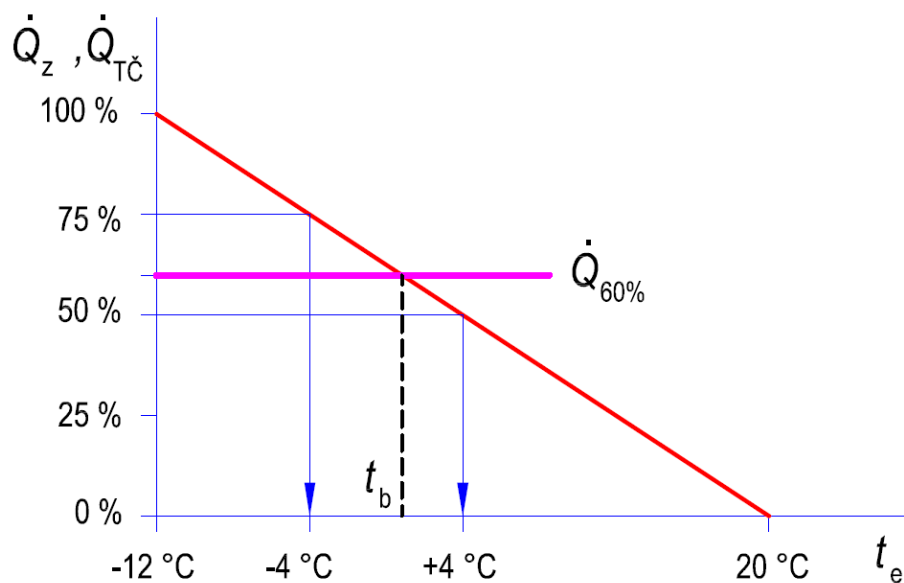
- **návrh typu tepelného čerpadla**
 - dostupný zdroj NPT

- **návrh topného = kondenzačního výkonu Q_k (pro vytápění)**
 - tepelná ztráta objektu
 - výkon pro přípravu teplé vody
 - návrhová teplota otopné vody: teplotní spád
 - návrhová teplota zdroje NPT



Navrhování tepelných čerpadel

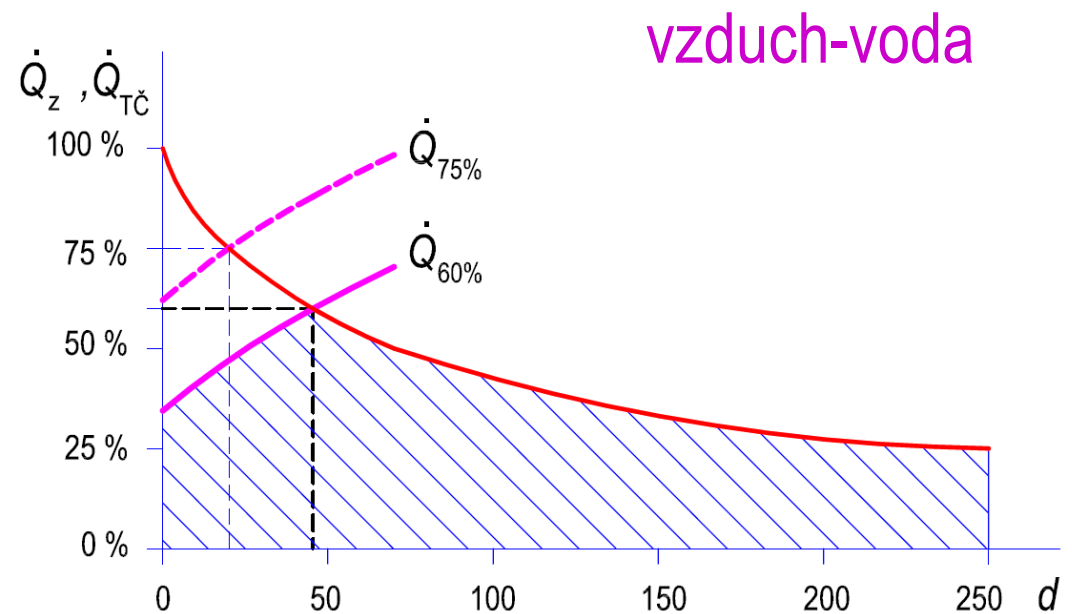
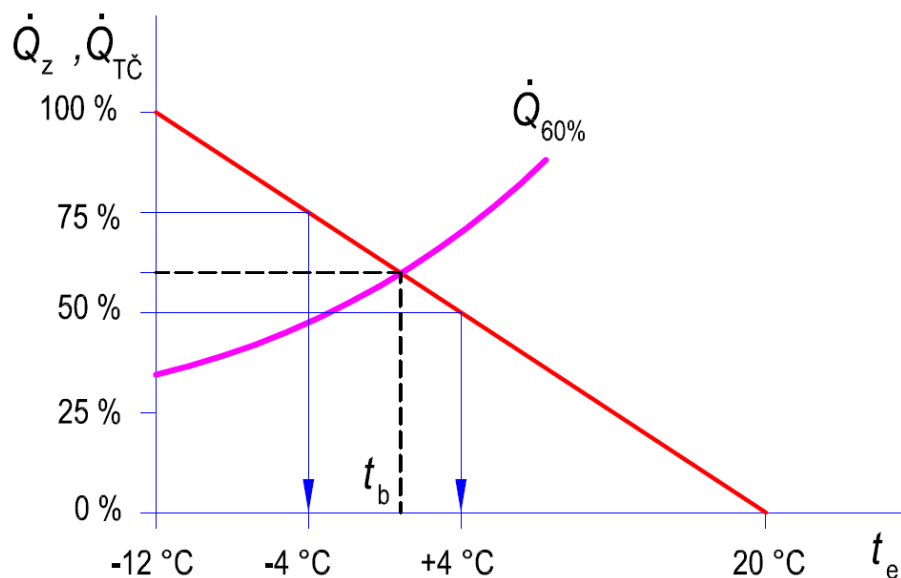
- návrh zdroje tepla (výkon nezávislý na venkovních podmínkách)
 - 50 % tepelné ztráty objektu - pokrytí 85 % potřeby tepla
 - 60 % tepelné ztráty objektu - pokrytí 93 % potřeby tepla
 - 70 % tepelné ztráty objektu - pokrytí 97 % potřeby tepla





Navrhování tepelných čerpadel

- návrh zdroje tepla (výkon závislý na venkovních podmínkách)
 - 50 % tepelné ztráty objektu - pokrytí 75 % potřeby tepla
 - 60 % tepelné ztráty objektu - pokrytí 85 % potřeby tepla
 - 70 % tepelné ztráty objektu - pokrytí 92 % potřeby tepla





Navrhování tepelných čerpadel

- **monovalentní (100 %) x bivalentní provoz (např. 70 %)**
 - monovalentní provoz země-voda: pro pokrytí potřeby tepla o 3 % vyšší (97 % na 100 %) je nutné:
 - zvýšit výkon TČ na cca 140 %
 - zvýšit ve stejném poměru zdroj NPT na 140 % (hloubka vrtů)
 - monovalentní provoz vzduch-voda
 - vysoké výkony v letním období, výměník v zásobníku TV nepředá výkon

monovalentní řešení je ekonomicky neefektivní

zvýšení investice není vyváženo malým navýšením úspory energie



Regulace výkonu

- **běžná tepelná čerpadla**
 - start-stop režim
 - cyklování = snížení životnosti kompresoru
 - zamezení cyklování
 - poddimenzování
 - akumulace tepla – návrh akumulátoru pro minimální dobu chodu tepelného čerpadla
- **tepelná čerpadla s regulací výkonu**
 - **inverter** - frekvenční měnič
 - digital scroll
 - vliv na úsporu: **řádově procenta (!)**



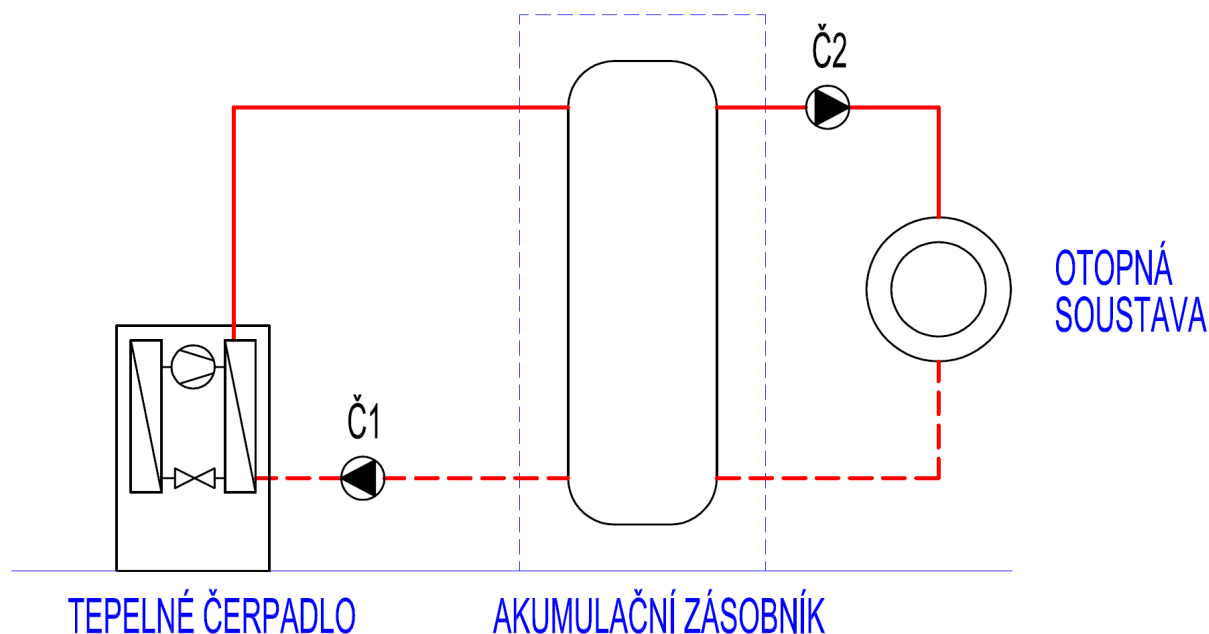
Akumulace tepla pro TČ

- **předimenzovaný zdroj** po většinu otopného období
 - vyrovnání souladu mezi výkonem TČ a potřebou vytápění
- **snížení četnosti spínání kompresoru** (1 x 10 min)
 - prodloužení životnosti kompresoru
- **překlenutí doby blokace chodu** (22 + 2 hod/den)
- **zdroj tepla pro venkovní jednotky** (vzduch-voda)
 - ochrana proti zamrznutí



Akumulace tepla pro TČ

- **hydraulické oddělení okruhu zdroje tepla od okruhu spotřeby**
 - hydraulický zkrat
 - otopná soustava neovlivňuje okruh TČ
 - zajištění požadovaných průtoků na kondenzátoru TČ





Bilancování provozu TČ

- **účel bilancování**
 - **provozní** (sezónní) topný faktor tepelného čerpadla ε_t
 - skutečná spotřeba el. energie tepelným čerpadlem
 - skutečná spotřeba energie dodatkovým zdrojem tepla

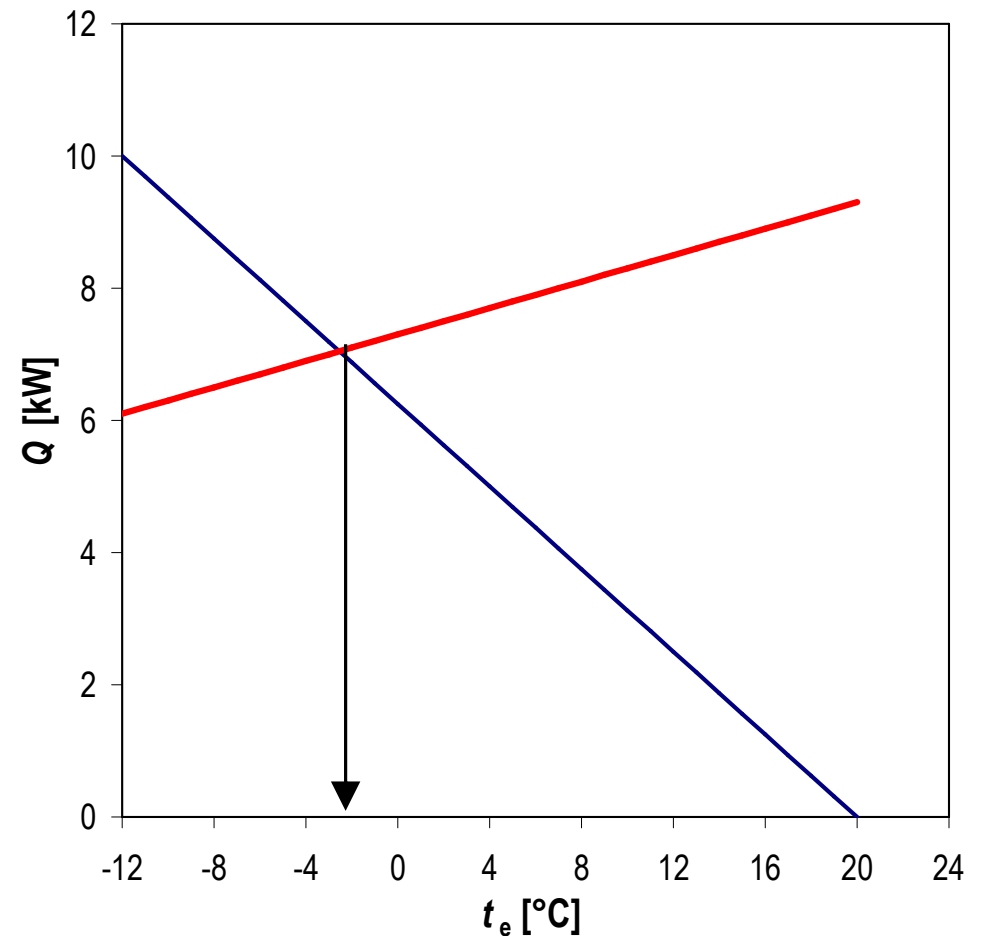
- **jednoduchý výpočtový postup**
 - jednoduchý výpočet s použitím tabulkového procesoru (Excel)
 - standardizované klimatické parametry (křivka trvání teplot pro danou lokalitu)



Bilancování provozu TČ

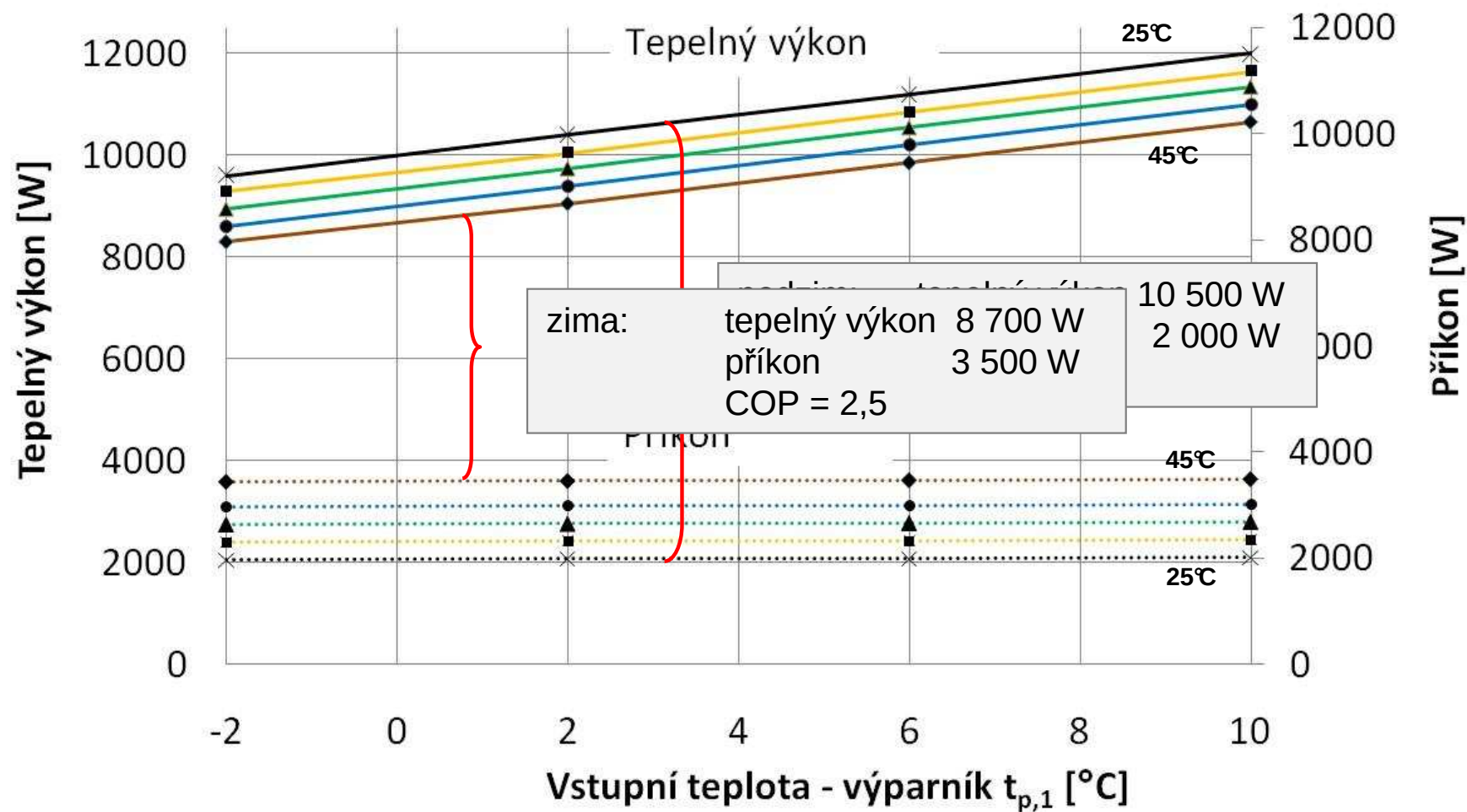
- nelze použít měsíční metodu (!)
 - průměrné měsíční teploty zřídka pod teplotou bivalence

	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno
I	-1,5	-2	-2,1	-2
II	0	-0,9	-1	-0,6
III	3,2	3	2,7	3,7
IV	8,8	7,4	7,4	8,7
V	13,6	12,7	12,8	14,1
VI	17,3	15,7	15,6	16,9
VII	19,2	17,5	17,4	18,8
VIII	18,6	16,6	16,8	17,8
IX	14,9	12,9	13,5	14
X	9,4	7,7	8,3	8,7
XI	3,2	2,8	3,1	3,6
XII	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2





Bilancování provozu TČ



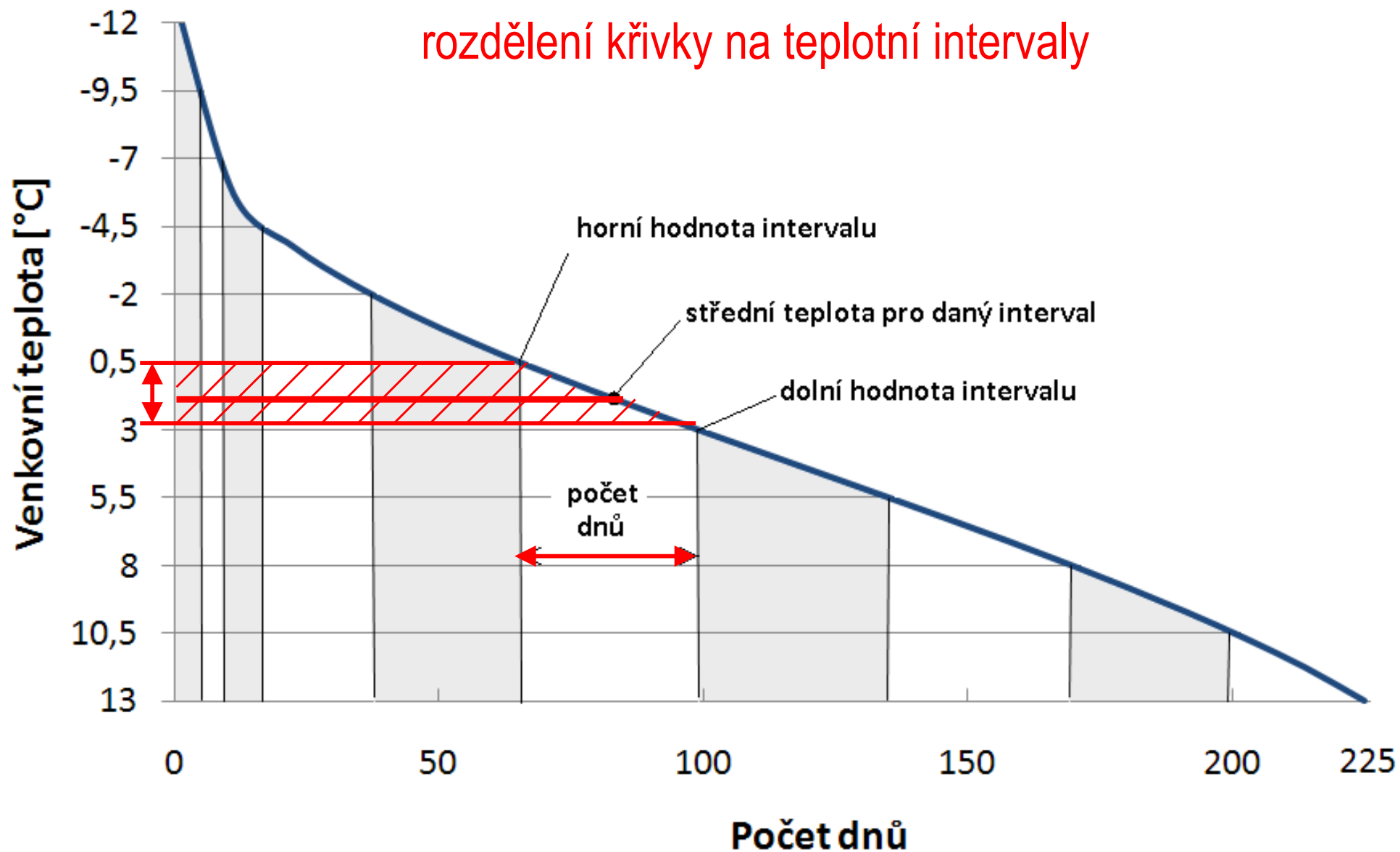


Bilancování provozu TČ

- **metoda teplotních intervalů, intervalová metoda, bin-metoda**
 - metoda je standardizovaná v ČSN EN 15316-4-2
 - využívá křivky trvání teplot pro otopné období, případně celý rok
 - rozdělení křivky trvání teplot na rovnoměrné teplotní intervaly s odpovídajícími dobami trvání teploty
 - **pro střední teplotu intervalu se stanoví:**
 - potřeba tepla objektu
 - teplo dodané tepelným čerpadlem
 - el. energie spotřebovaná kompresorem
 - teplo dodané dodatkovým zdrojem



Intervalová metoda: výpočet



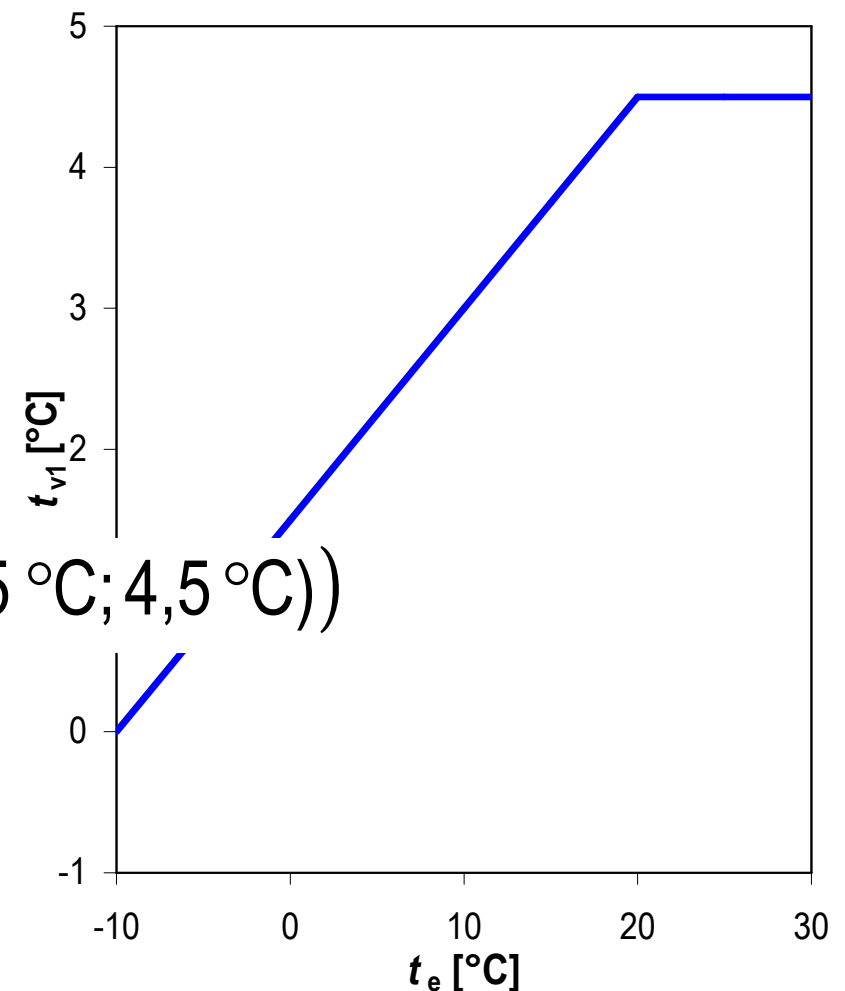


Intervalová metoda: vstupy

- **teplota zdroje NPT** = teplota na vstupu do výparníku t_{v1}
 - vzduch-voda: $t_{v1} = t_e$
 - voda-voda: $t_{v1} = 10\text{ °C}$
 - země-voda. $t_{v1} = f(t_e)$

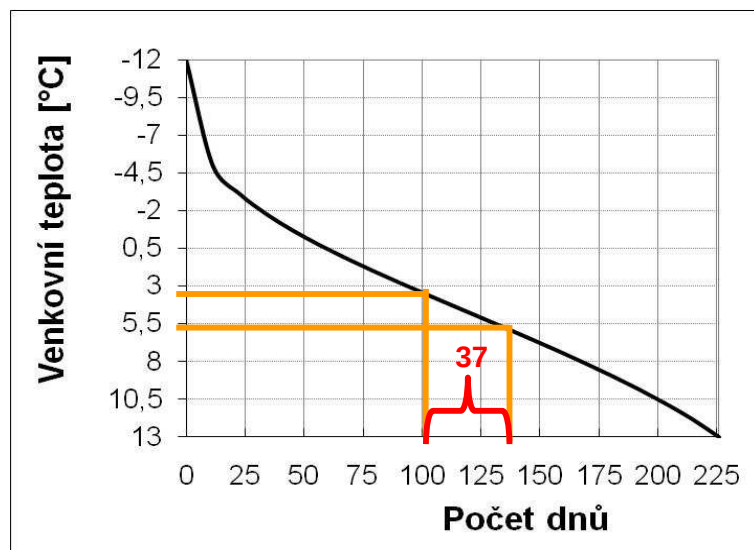
EN 15316-4-2:

$$t_{v1} = \max(0\text{ °C}; \min(0,15 \cdot t_e + 1,5\text{ °C}; 4,5\text{ °C}))$$

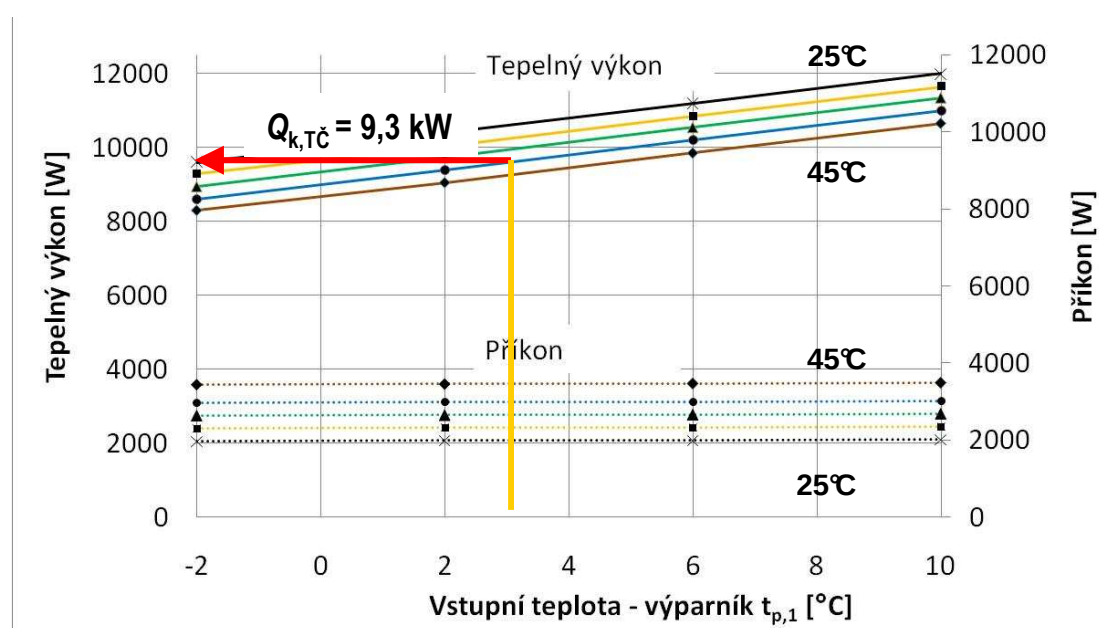
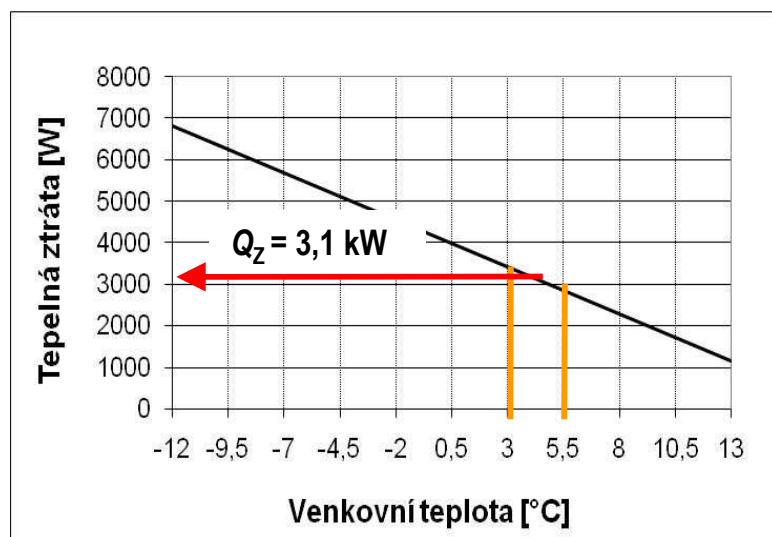




Intervalová metoda: výpočet



	t_e		τ		$t_{e,p}$	Q_z	t_{k2}	Q_k	a_t	$E_{el,TČ}$
	[°C]		[dny]	[hod]	[°C]	[W]	[°C]	[W]	[-]	[kWh]
1	-12	-9,5	3	75	-10,8	6542	49	8150	2,20	224
2	-9,5	-7	5	125	-8,3	5975	47	8400	2,27	329
3	-7	-4,5	12	298	-5,8	5407	45	8700	2,35	684
4	-4,5	-2	22	524	-3,3	4839	42	8800	2,38	1066
5	-2	0,5	30	710	-0,8	4272	40	9000	2,43	1248
6	0,5	3	35	847	1,8	3704	38	9150	2,47	1269
7	3	5,5	37	893	4,3	3136	36	9300	2,51	1114
8	5,5	8	32	768	6,8	2569	33	9450	2,55	772
9	8	10,5	30	718	9,3	2001	31	9600	2,59	553
10	10,5	13	24	586	11,8	1433	29	9700	2,62	320
Potřeba el. energie (otopné období) [kWh]										7579





Intervalová metoda: výstupy

energie dodaná tepelným čerpadlem

$$Q_{TČ} = \sum_j \min(Q_{k,TČ}; Q_{p,c})_j$$

spotřeba el. energie tepelného čerpadla

$$E_{el,TČ} = \sum_j \frac{\min(Q_{k,TČ}; Q_{p,c})_j}{\varepsilon_{tj}}$$

spotřeba el. energie dodatkového zdroje:
elektrokotle (EK)

$$E_{el,dod} = \sum_j [Q_{p,c,j} - \min(Q_{k,TČ}; Q_{p,c})_j]$$



Intervalová metoda: výstupy

doba chodu tepelného čerpadla

$$\tau_{\text{TČ}} = \sum_j \frac{\min(Q_{\text{k,TČ}}; Q_{\text{p,c}})_j}{\dot{Q}_{\text{k,TČ}}}$$

spotřeba provozní energie
(čerpadla, pohony ventilů)

$$E_{\text{el,pom}} = P_{\text{pom}} \cdot \tau_{\text{TČ}}$$

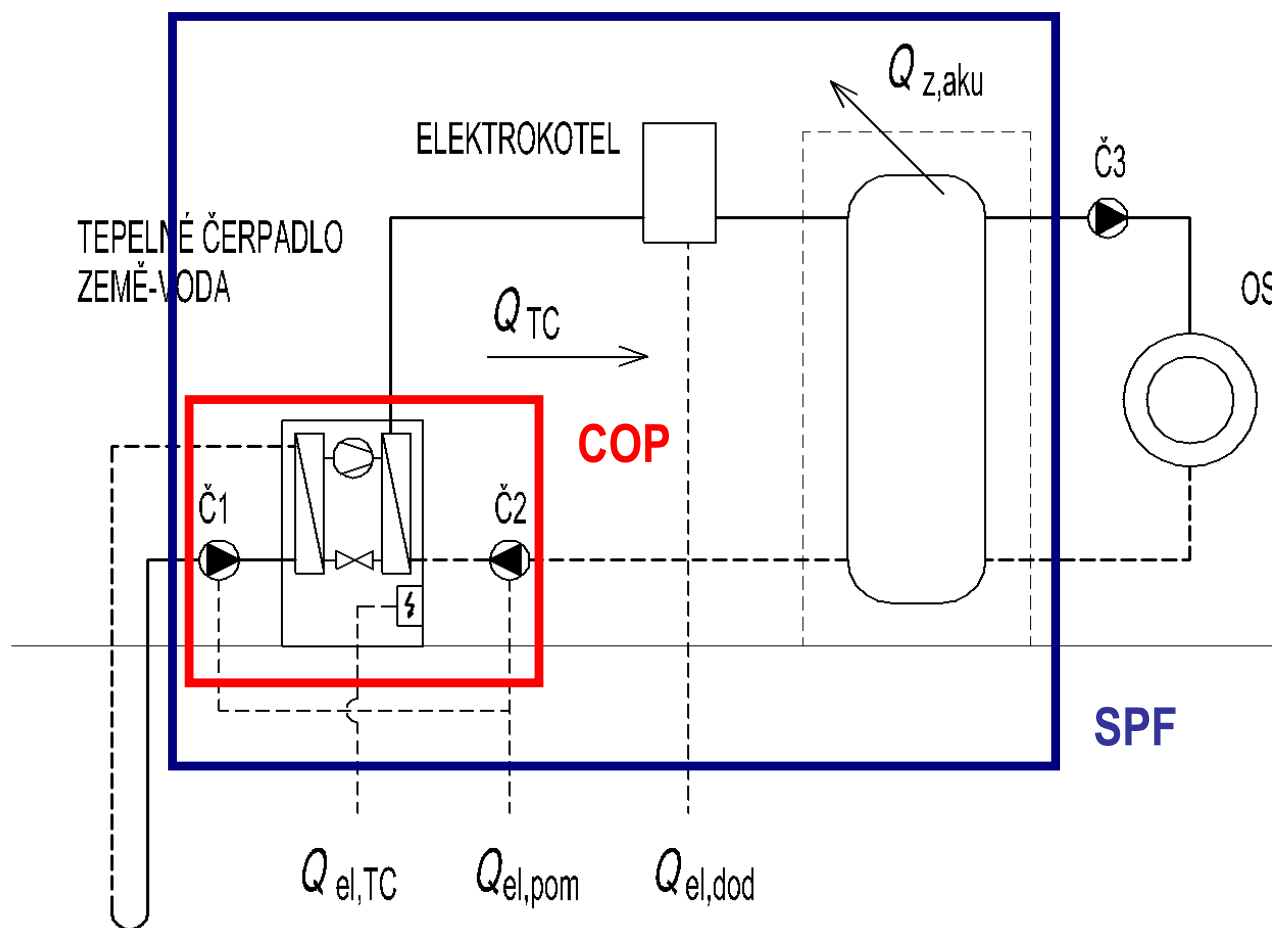
skutečný topný faktor

$$COP_{\text{rok}} = \frac{Q_{\text{TČ}}}{E_{\text{el,TČ}} + E_{\text{el,pom}}}$$

pro přesnější analýzu bivalentního zdroje – vhodné teplotní intervaly po kroku 1 K



Sezónní topný faktor



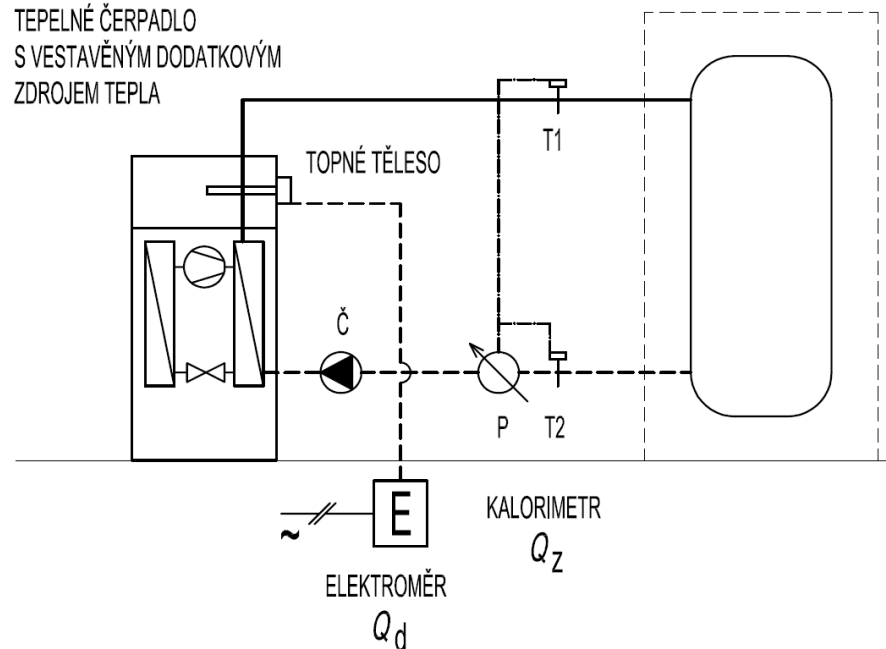
sezónní topný faktor (soustavy s TČ)

$$SPF = \frac{Q_{TČ} - Q_{z,aku}}{E_{el,TČ} + E_{el,pom} + E_{el,dod}}$$

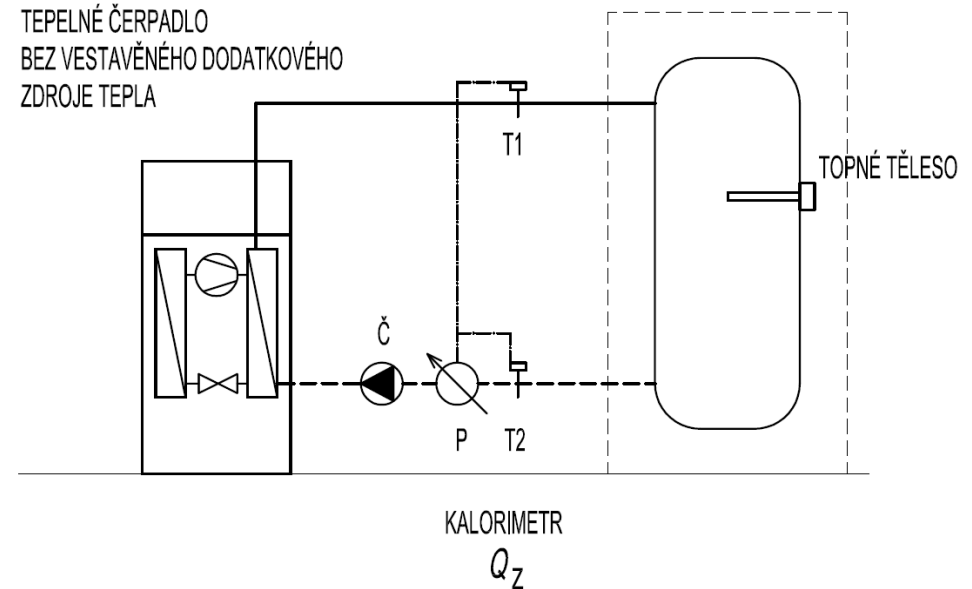


Provozní měření tepelných čerpadel (OPŽP)

TEPELNÉ ČERPADLO
S VESTAVĚNÝM DODATKOVÝM
ZDROJEM TEPLA



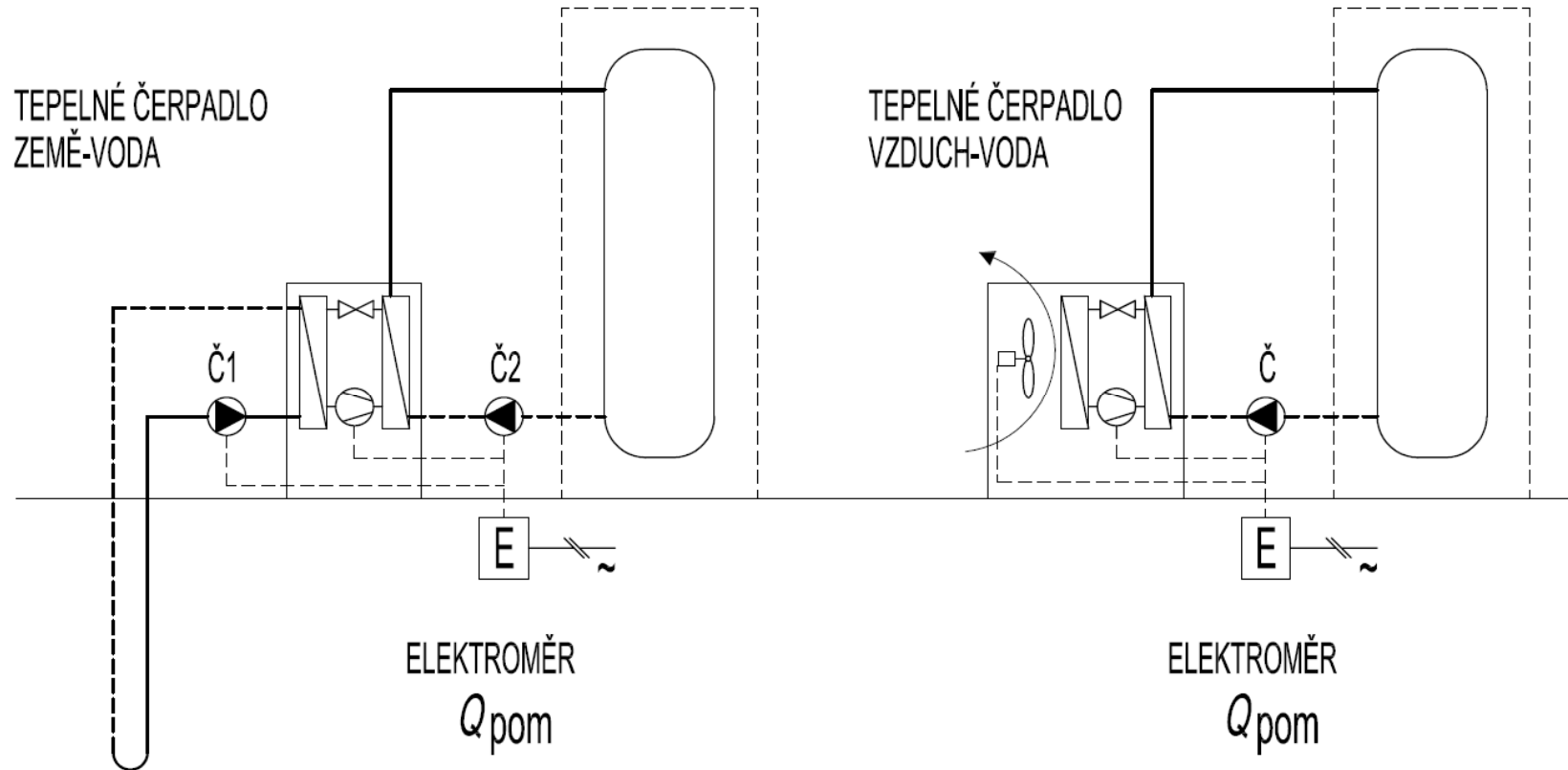
TEPELNÉ ČERPADLO
BEZ VESTAVĚNÉHO DODATKOVÉHO
ZDROJE TEPLA



měření dodaného tepla z čistě tepelného čerpadla do aplikace:
jednoduché a levné měření, jediný kalorimetr s pamětí (průtokoměr)
vestavěný dodatekový zdroj: nutné měření příkonu



Provozní měření tepelných čerpadel (OPŽP)



měření pomocné el. energie tepelného čerpadla:

skutečný přínos v úspoře primární energie

stanovení využitého obnovitelného tepla přivedeného na výparník

skutečný topný faktor tepelného čerpadla



Otopná soustava

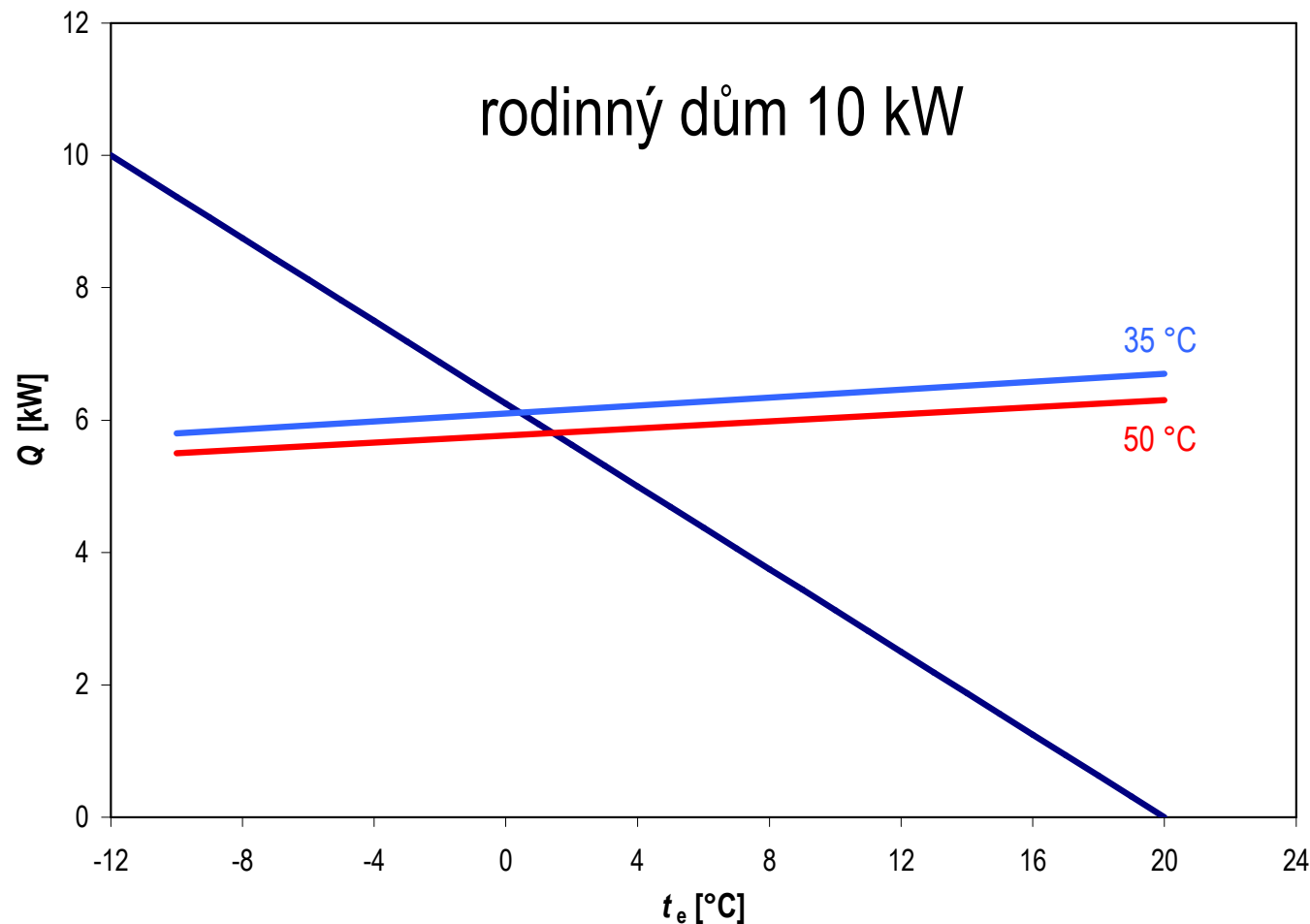
- **nízkoteplotní vytápění $< 55\text{ }^{\circ}\text{C}$**
 - podlahové vytápění
 - stěnové vytápění
 - otopná tělesa s větší teplosměnnou plochou
 - vzduchotechnika
- **ohřev bazénové vody**
- **příprava teplé vody**
 - vzduch-voda: výhodné parametry v letním období
 - země-voda: snížení možnosti regenerace vrtů (!)



Analýza provozu TČ

země-voda

- **tepelné čerpadlo země - voda**
 - vliv teploty otopné vody, vliv pomocné energie



oběhová čerpadla

primární okruh 30 W

sekundární okruh:

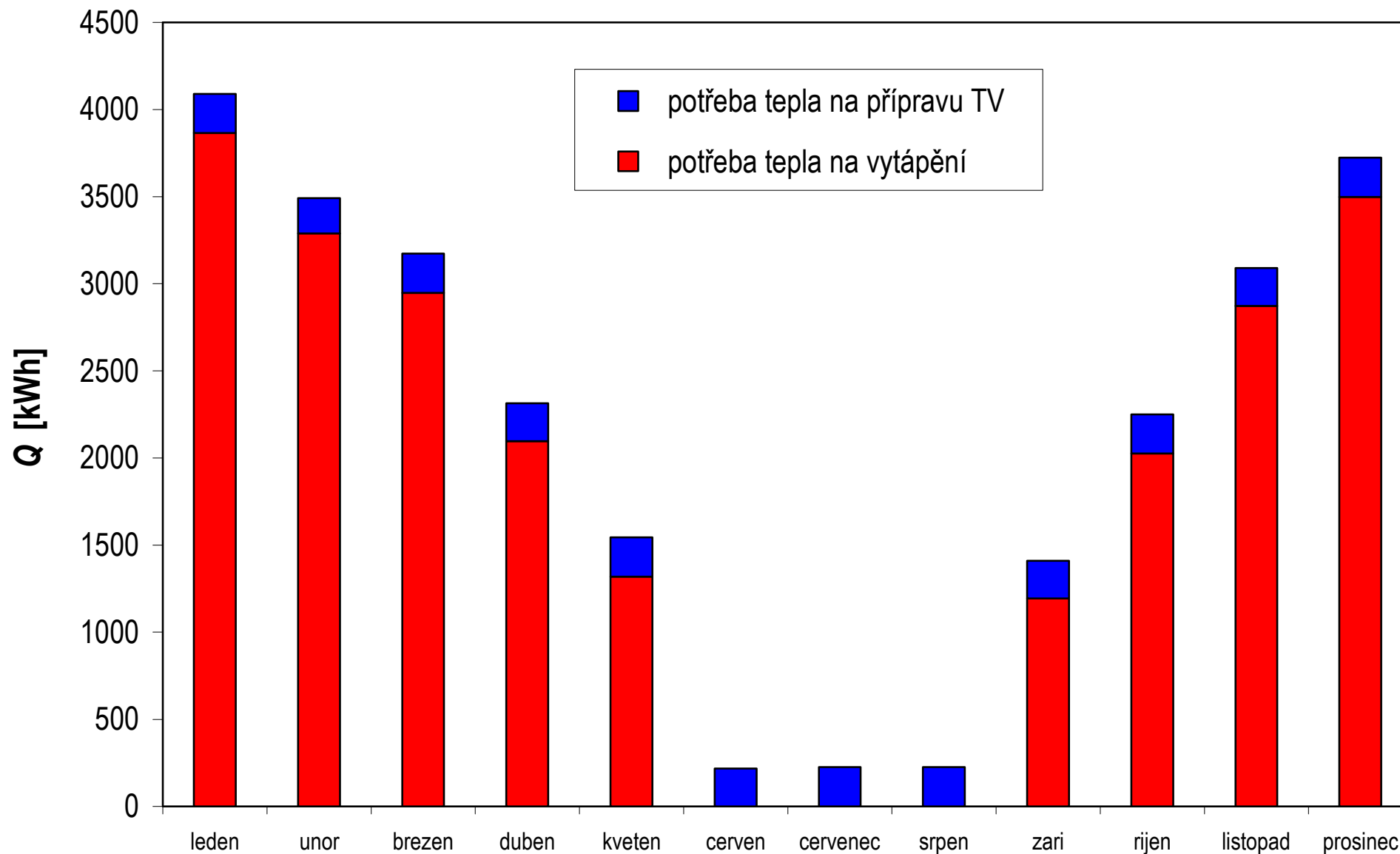
vytápění 30 W

teplá voda: 30 W



Analýza provozu TČ

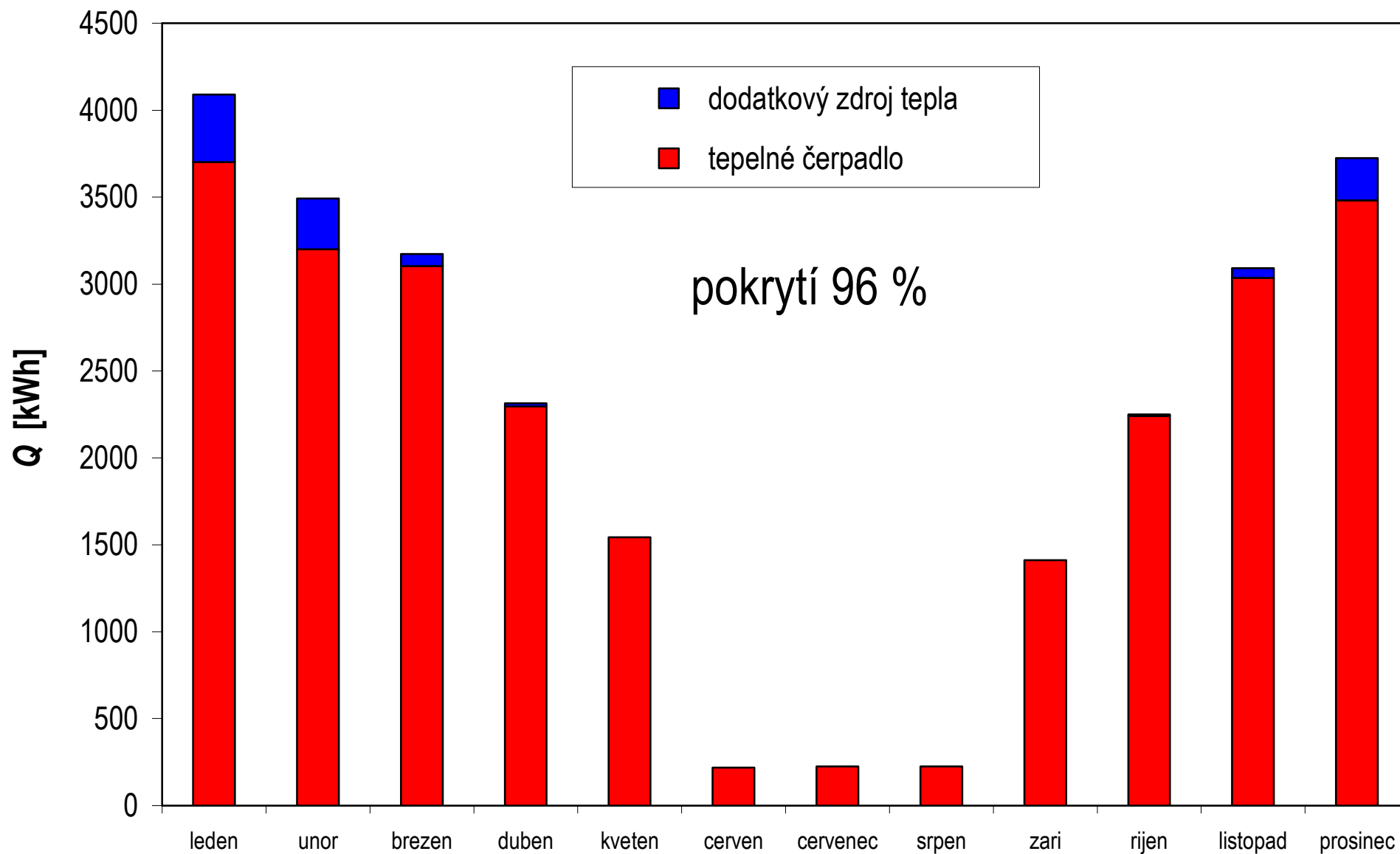
země-voda





Analýza provozu TČ

země-voda



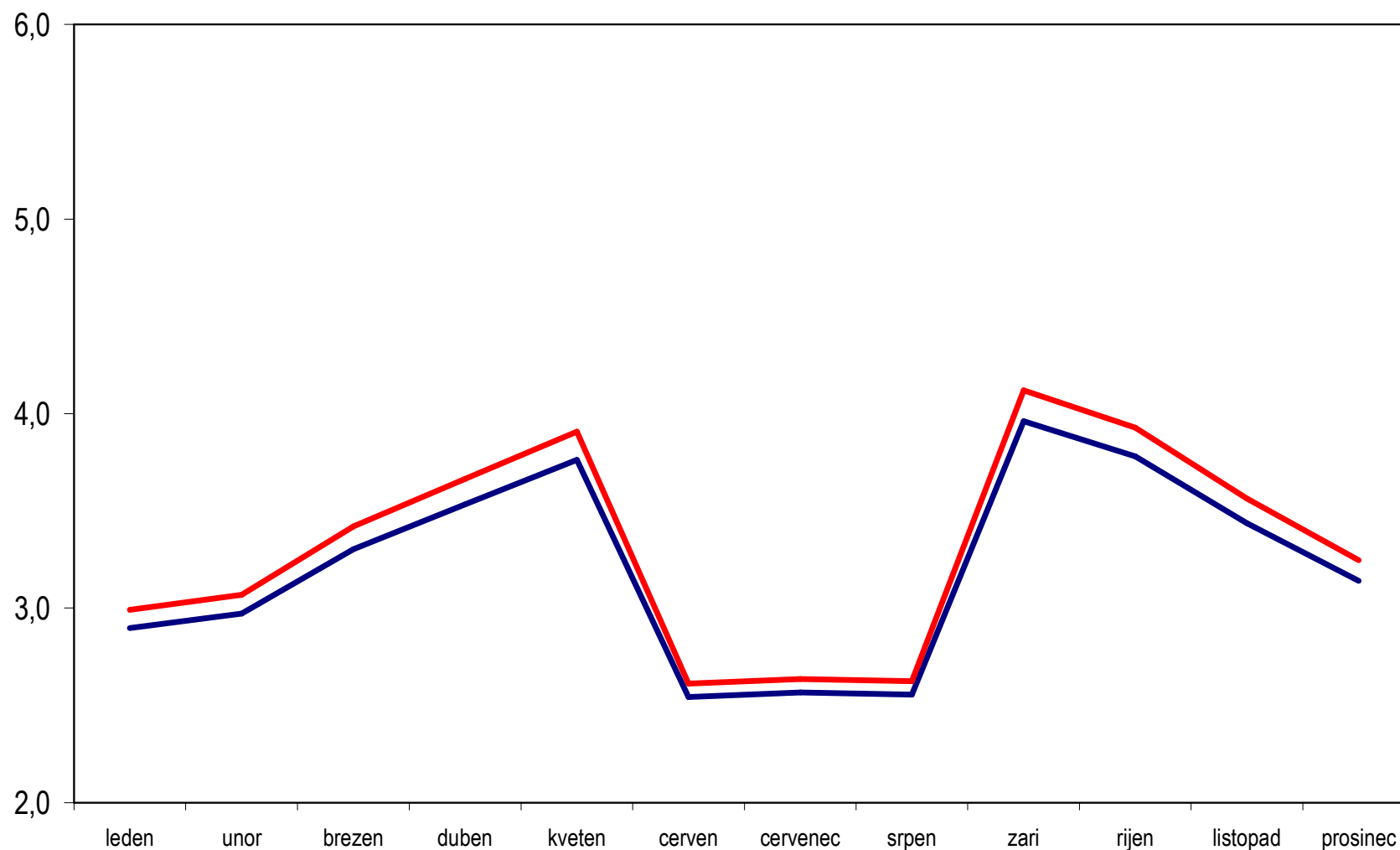


Analýza provozu TČ

55/45 °C

roční topný faktor TČ (bez pomocné energie): 3,38

roční topný faktor TČ (s pomocnou energií): 3,27



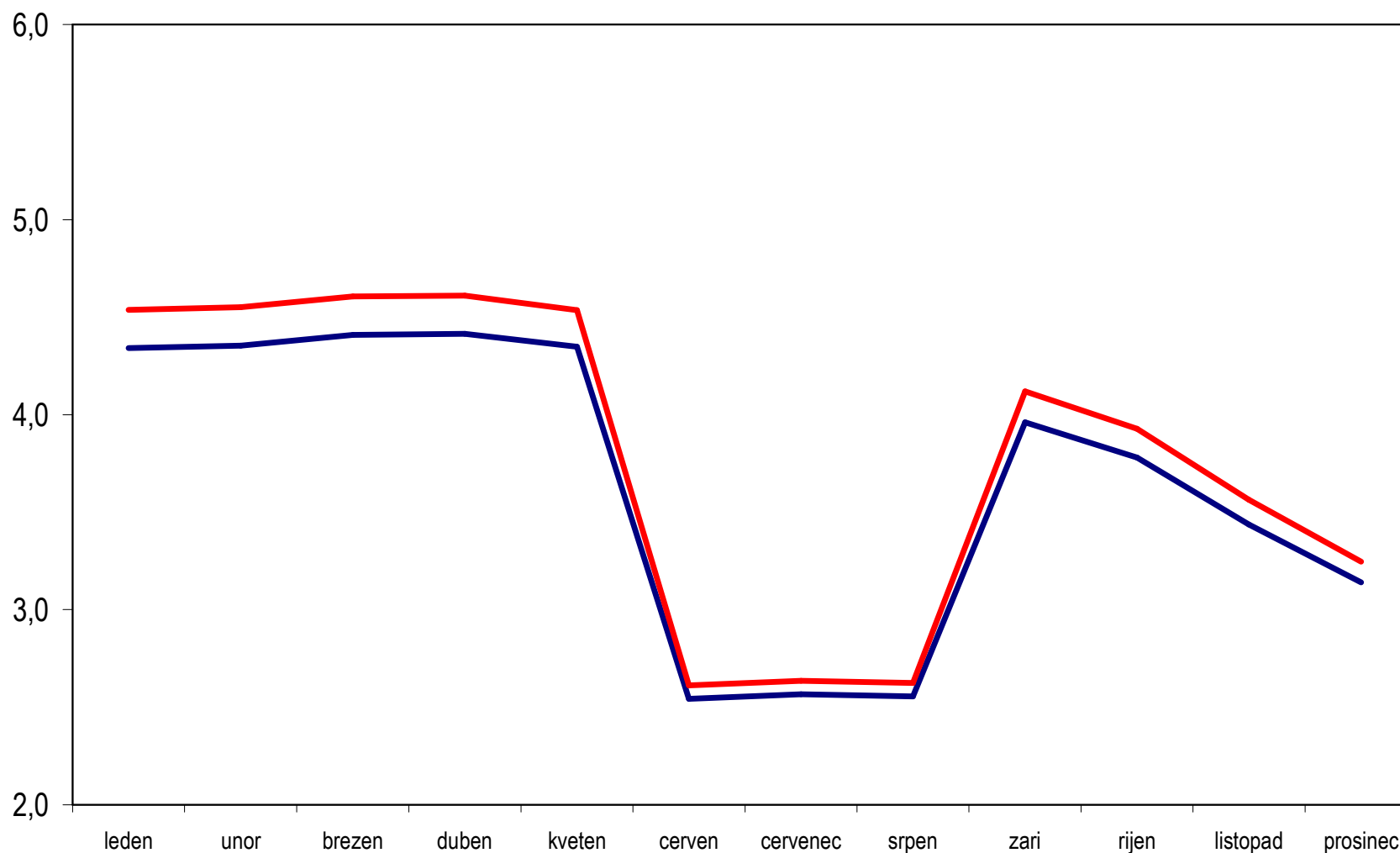


Analýza provozu TČ

35/25 °C

roční topný faktor TČ (bez pomocné energie): 4,04

roční topný faktor TČ (s pomocnou energií): 3,88

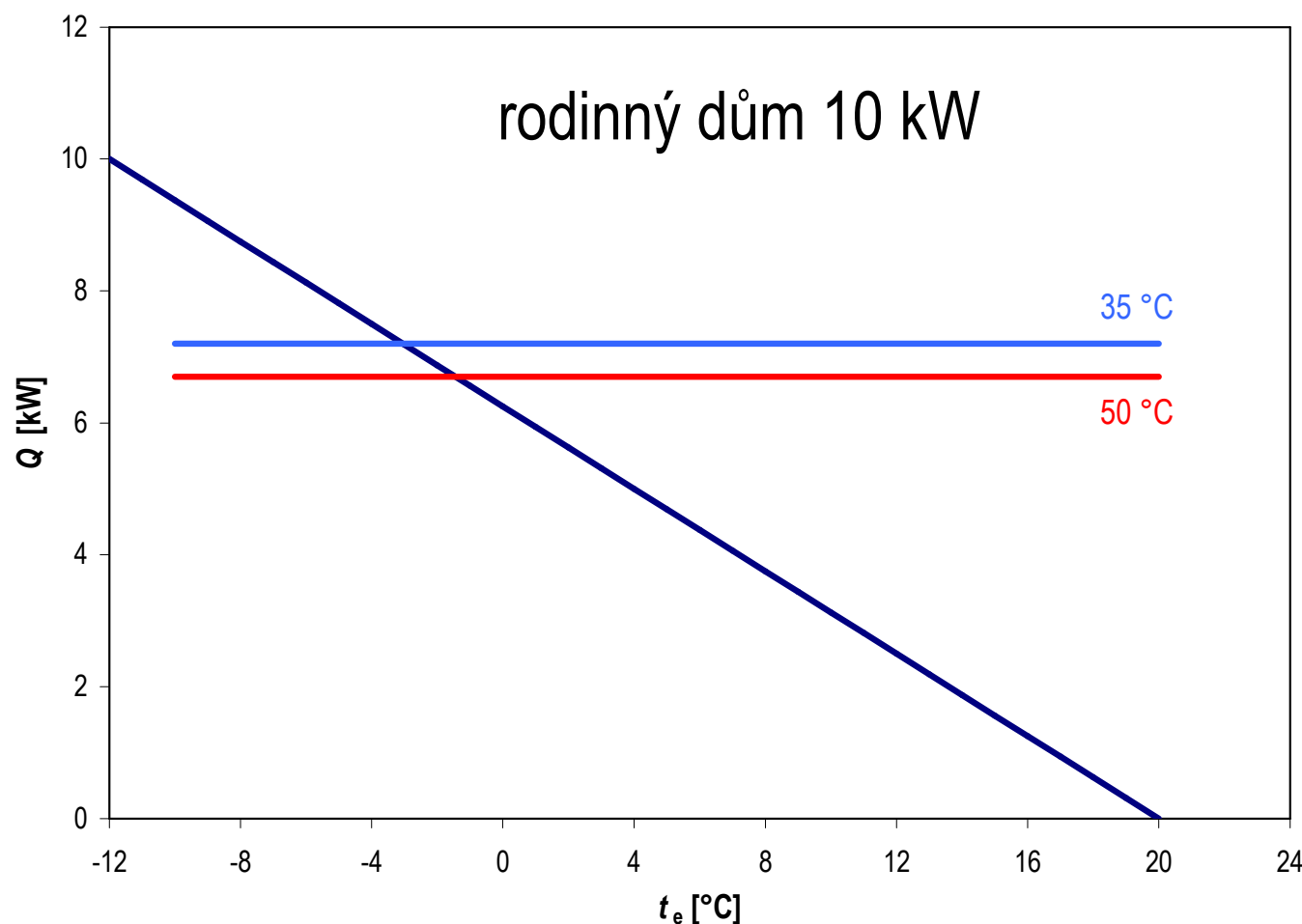




Analýza provozu TČ

voda-voda

- tepelné čerpadlo voda - voda
 - vliv teploty otopné vody, vliv pomocné energie



oběhová čerpadla

primární okruh **370 W**

sekundární okruh:

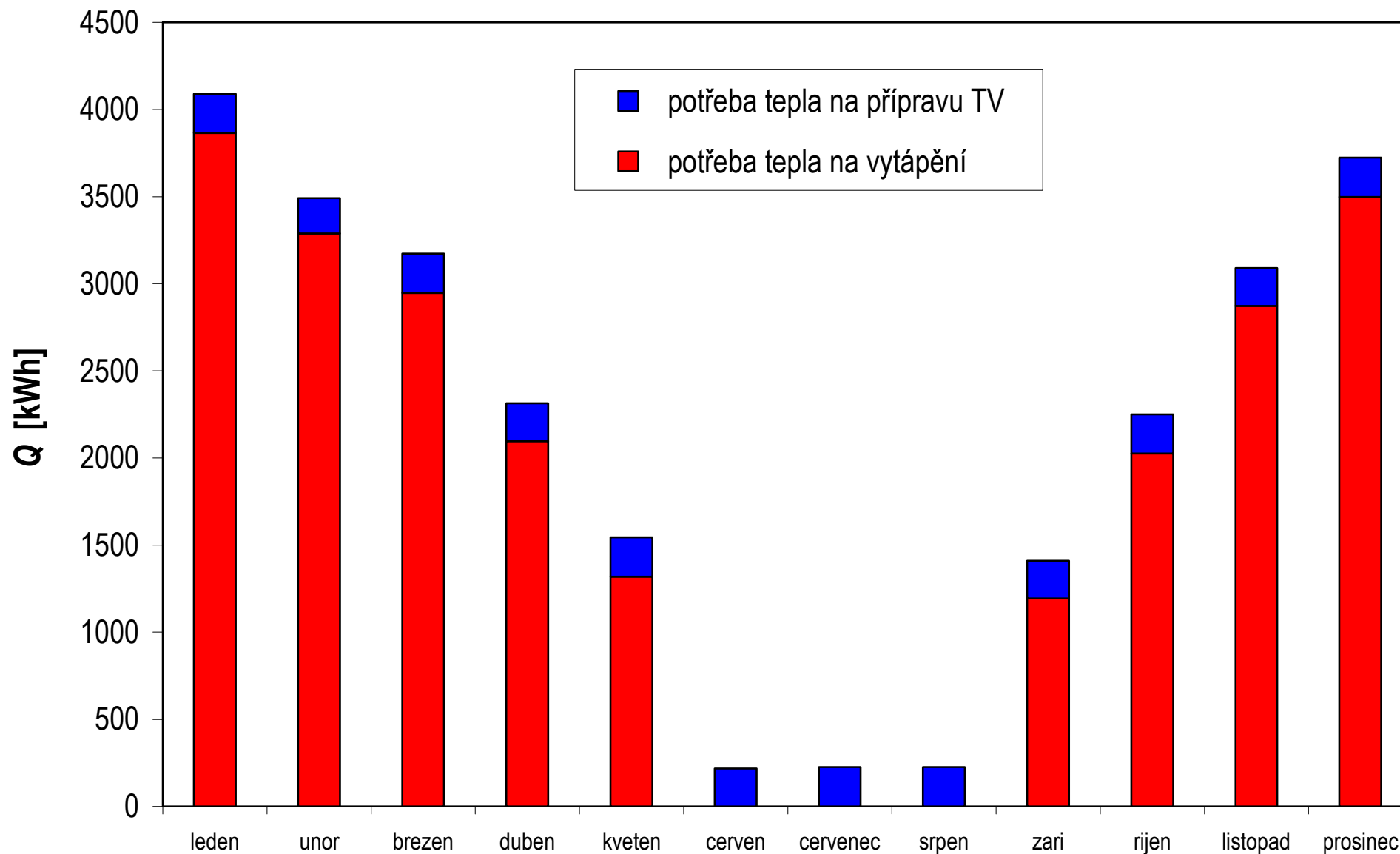
vytápění 30 W

teplá voda: 30 W



Analýza provozu TČ

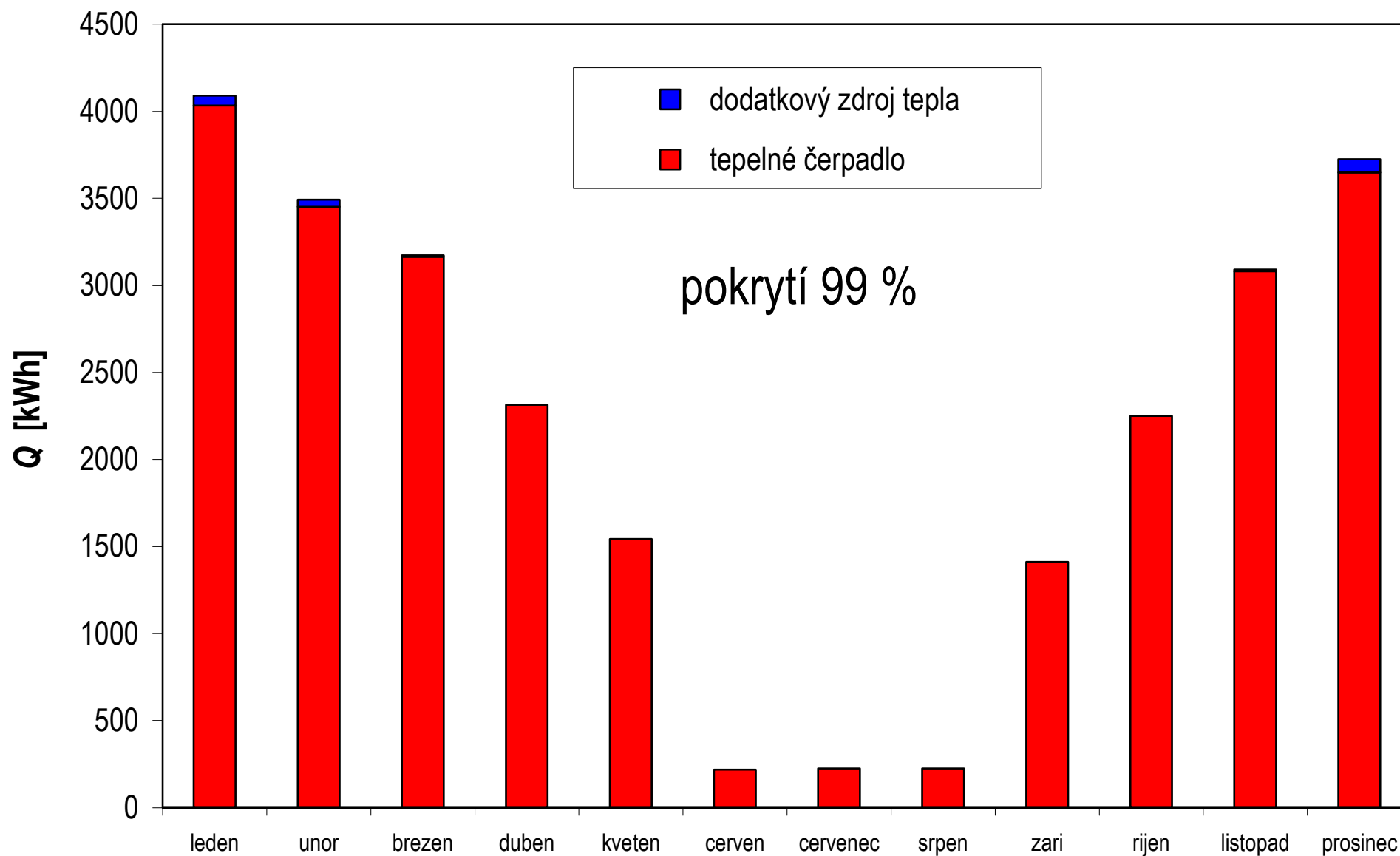
voda-voda





Analýza provozu TČ

voda-voda



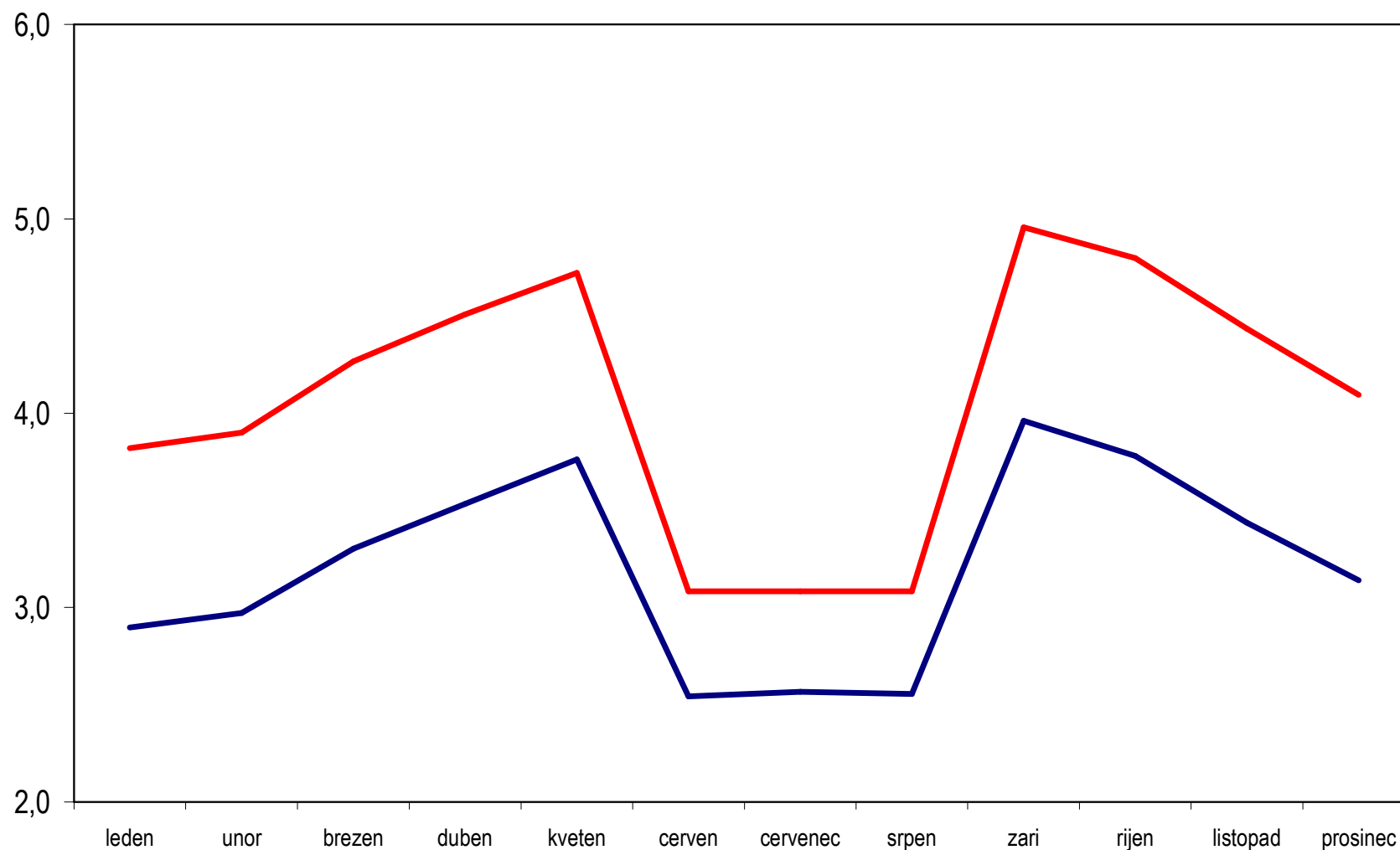


Analýza provozu TČ

55/45 °C

roční topný faktor TČ (bez pomocné energie): 4,21

roční topný faktor TČ (s pomocnou energií): 3,34



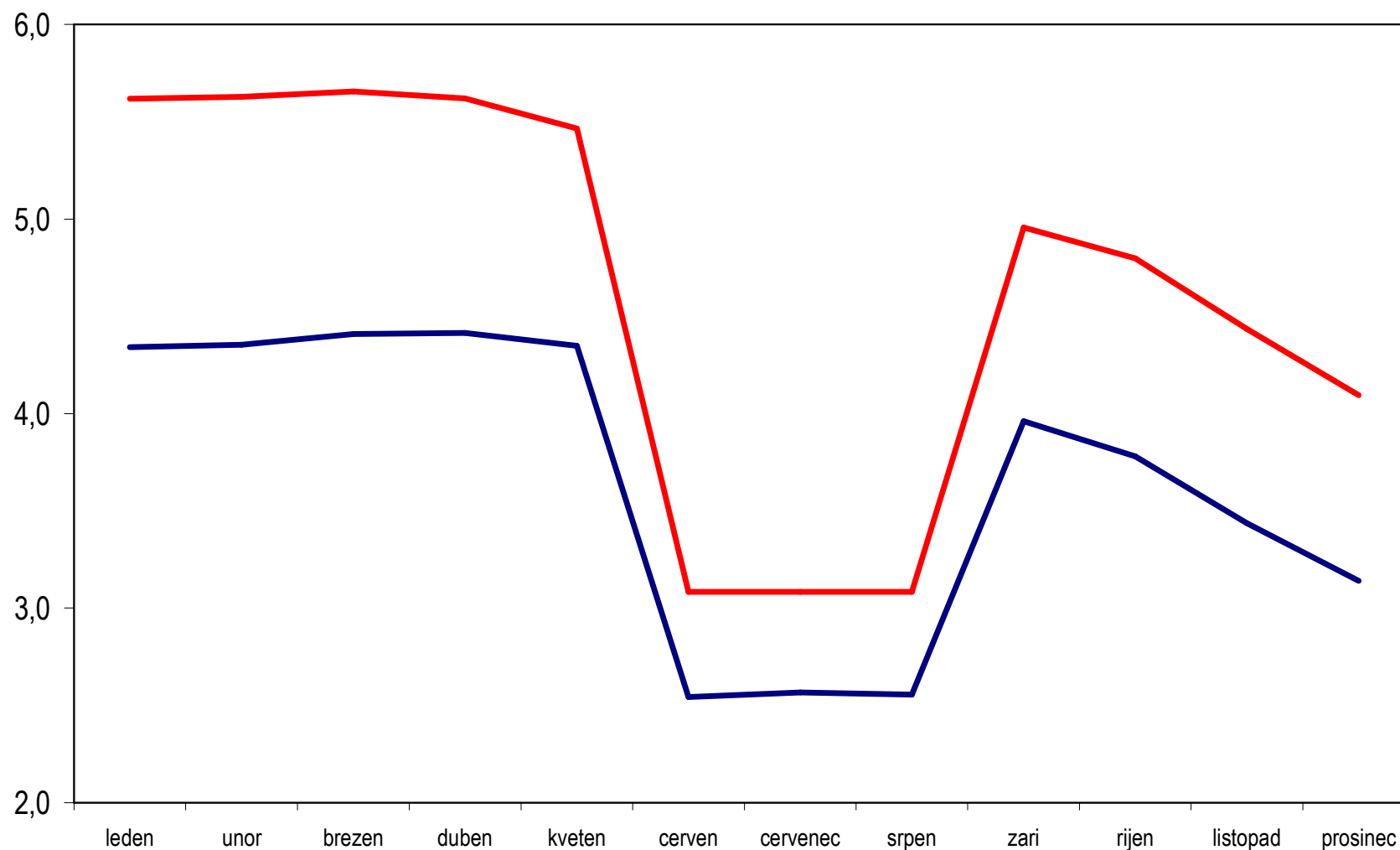


Analýza provozu TČ

35/25 °C

roční topný faktor TČ (bez pomocné energie): 4,97

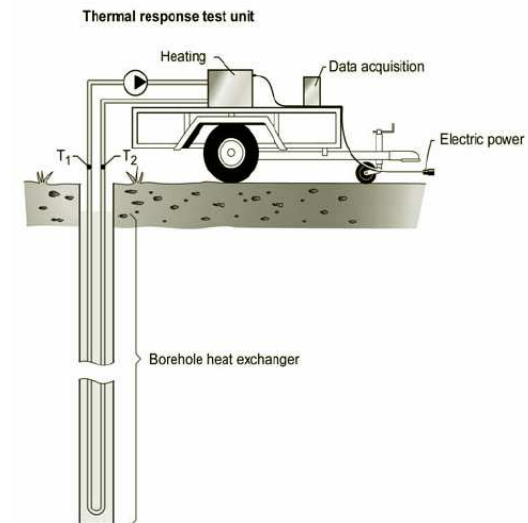
roční topný faktor TČ (s pomocnou energií): 3,83





Nízkopotenciální zdroje tepla

- zemský masiv – vrty, kolektory
- voda – spodní, povrchová
- vzduch – venkovní, odpadní
- sluneční záření





Přírodní a druhotné zdroje tepla

- **energie pocházející ze slunečního záření = energie okolního prostředí**

sluneční záření: 200 až 1000 W/m²

vzduch

srážky, povrchová voda, studniční voda

země

- **geotermální voda** v několika oblastech (KV, Teplice, jižní Morava)
- **odpadní energie**

technologické procesy, prádelny, mycí linky, větrání budov



Zdroje tepla pro tepelná čerpadla

- **země**

energie zemského masivu

- **voda**

energie spodní, povrchové nebo odpadní vody

- **vzduch**

energie okolního nebo odpadního vzduchu

reverzní klimatizační jednotky – vytápění/chlazení



Energie zemského masivu

- **měrný výkon**

tok z povrchu 10 až 40 W/m² (v nejchladnějších dnech)

tok ze zemské kůry 0,04 až 0,06 W/m²

- **teplota**

pod 2-5 m trvalá teplota > 10 °C

geotermální teplotní gradient 3 K/100 m

- **tepelná vodivost**

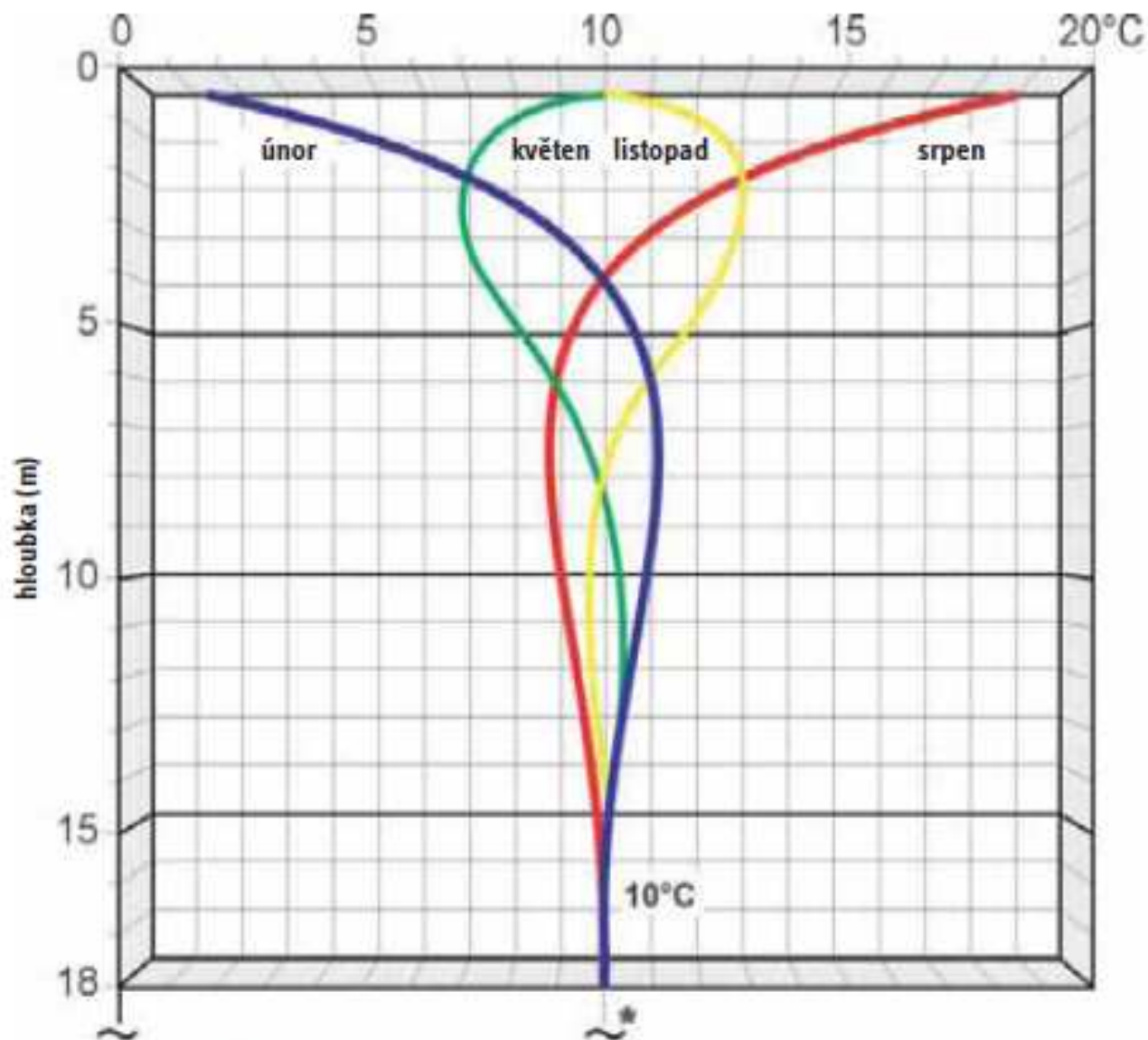
suchá písčité půda 1,1 W/m.K

mokrý žula 3,3 W/m.K

průměr 2 W/m.K



Teplota zeminy



od cca 15-20 m

geotermální teplotní
gradient 3 K/100 m

relativně stálá teplota

podpovrchová vrstva
výrazně ovlivňována
klimatickými
podmínkami



Energie zemského masivu

- **svislé zemní vrty**

suché vrty – sondy

- **horizontální zemní kolektory**

podpovrchové výměníky

- **studny**

čerpání spodní vody – odlišná technologie využití



Svislé zemní vrty (sondy)



- čerpání tepla ze zemského masivu suchými vrty do 200 m
- běžně do 100 m
- není náročné na prostor
- 1-2 smyčky PE hadic
- teploty primárního okruhu:
od -4 °C do +4 °C



Znalost geologie !

- **návrh hloubky a počtu vrtů**

znalost tepelných vlastností masivu

riziko poddimenzování – pozná se po několika letech

klesá výkon a topný faktor, vrt se nestačí zregenerovat

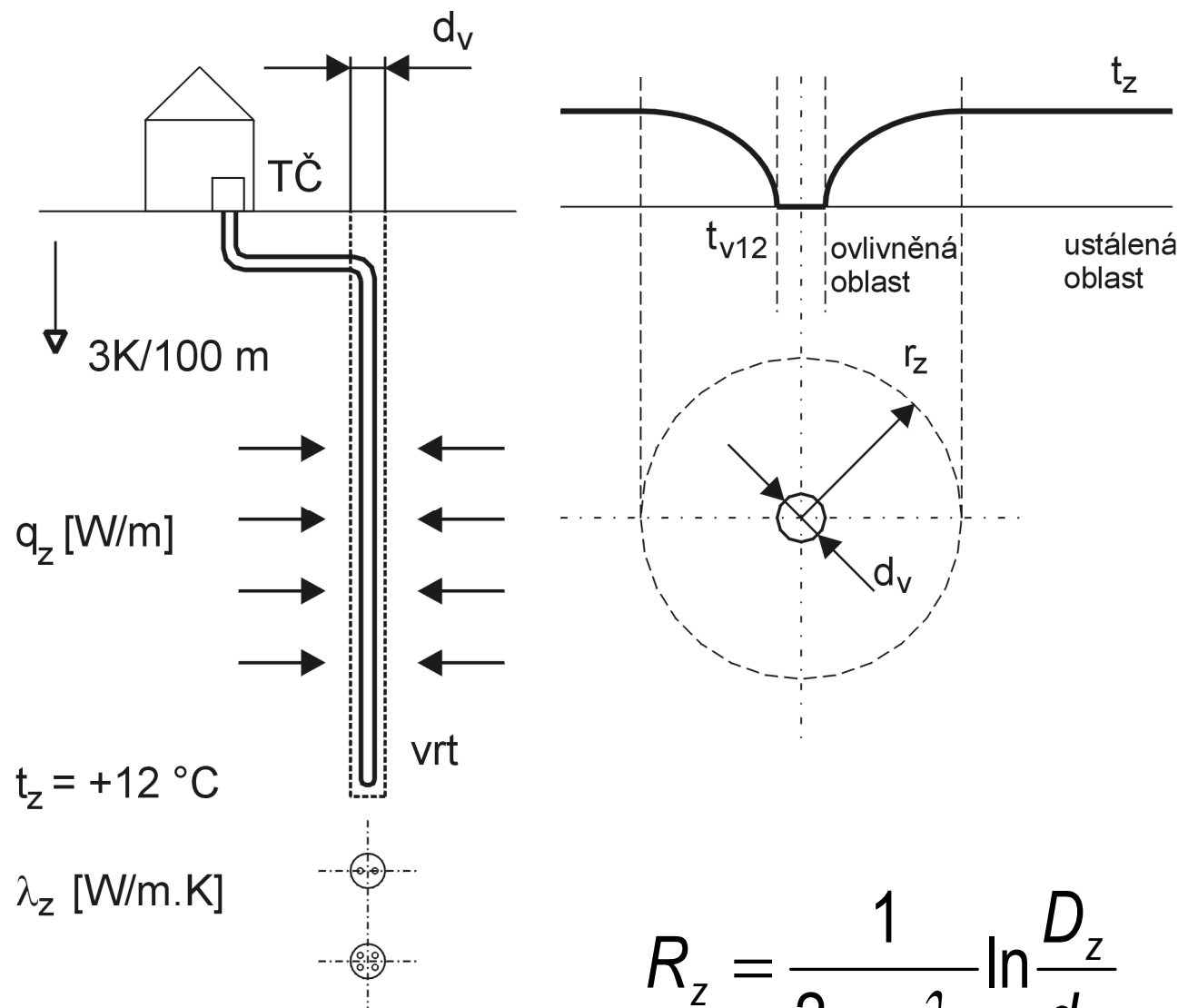
- **ekologie**

narušení a propojení zvodní

spojení hlubokých vrstev s kvalitní vodou s méně hlubokými
znečištěnými



Zemní vrty – tepelný odpor



průměr ovlivněné oblasti
 $D_z = 2$ až 5 m

průměr vrtu
 $d_v = 100$ až 150 mm

HDPE DN25, DN32

tepelná vodivost zeminy
 $\lambda_z = 1,5$ až $3,0$ W/m.K

$$R_z = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_z} \ln \frac{D_z}{d_v} \quad [\text{m.K/W}]$$



Zemní vrty – měrný výkon

$$q_{z,l} = \frac{t_z - t_{v12}}{R_z} \quad [\text{W/m}]$$

teplota ve vrtu

$t_{v12} = \text{okolo } 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ (+4 až – 4°C)

teplota zeminy v neovliněné oblasti

$t_z = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$ (+3 K/100 m)

Vlastnosti podloží	měrný tepelný tok $q_{z,l}$ [W/m]
hornina s velkým výskytem spodních vod	100
pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí	80
normální pevná hornina, průměr	55
vrt v suchých nánosech, nízká tepelná vodivost	30



Hloubka vrtu

$$l_v = \frac{\dot{Q}_v}{q_z} = \frac{\dot{Q}_k - P_{el}}{q_z} \quad [\text{m}]$$

běžné dimenzování, topný faktor 3
průměrné podloží

pro $\dot{Q}_v = 1 \text{ kW} \sim 18 \text{ m vrtu}$

pro $\dot{Q}_k = 1 \text{ kW} \sim 12 \text{ m vrtu}$

- hloubka podle možnosti vrtné soupravy - vrtací technologie běžná pro studny
- hloubky $< 100 \text{ m}$ s ohledem na tlakové ztráty a související spotřebu el. energie, speciální **povolení** (báňský úřad)
- více vrtů = rozdělení průtoků = nižší tlakové ztráty

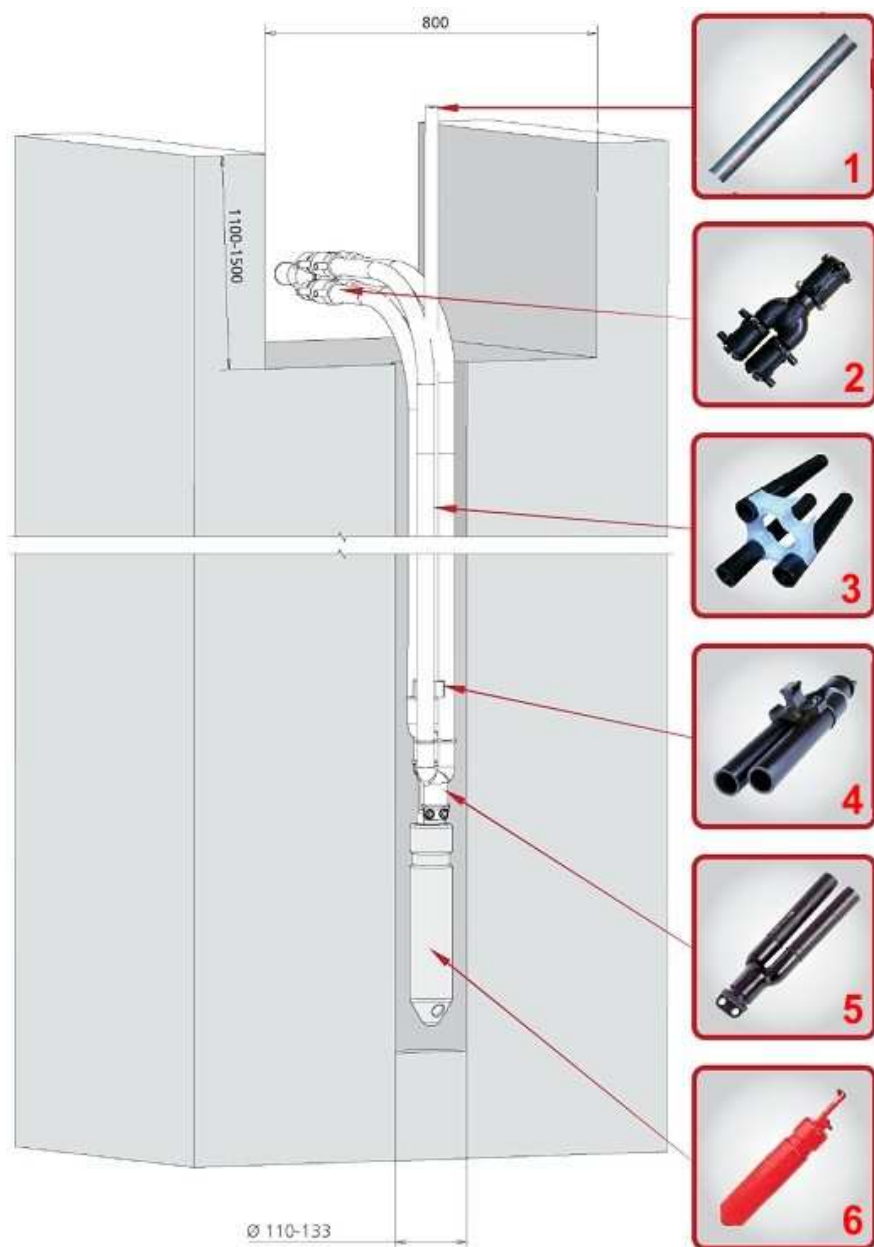


Provedení vrtů

- vhodné potrubí: HD-PE, PE-RC (crack resistant), PN16 (100m)
- minimální vzdálenost > 5 m, aby nedocházelo k propojení ovlivněných oblastí
- > 10 m: ***vrtání nemusí být zcela svislé*** (výchyłka až 2 m)
- pohyb spodních vod: vhodná poloha vrtů (eliminace ochlazení jednoho vrtu druhým)
- výplň vrtu bentonitem (tekutá cementová směs)
nelze vytěženou půdou ! = izolant
- pažení, utěsnění vrtu
oddělení dvou úrovní spodní vody s různou kvalitou
zabránit **průniku** povrchových vod do spodních vod



Provedení vrtů



injekční trubka – tlakové vyplnění vrtu tepelně vodivou směsí (bentonit), kontakt podloží s vrtem



redukce – snížení počtu větví přivedených na rozdělovač při větším počtu vrtů



vymezovací vložka – vymezení rozteče trubek ve vrtu pro správné zatečení směsi a rovnoměrné rozložení teploty



pevný bod – ve zhoršených geologických poměrech jako opěrný bod pro zatlačování potrubí do vrtu injekční trubkou



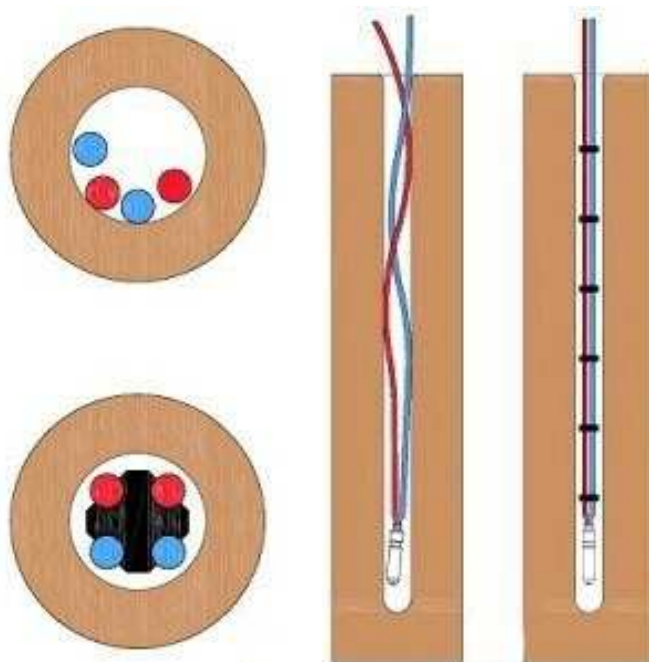
vratné koleno – spojení přívodního a vratného potrubí v nejnižší části vrtu



závaží – pro snadnější zavádění potrubí do vrtu a jako ochrana vratného kolena



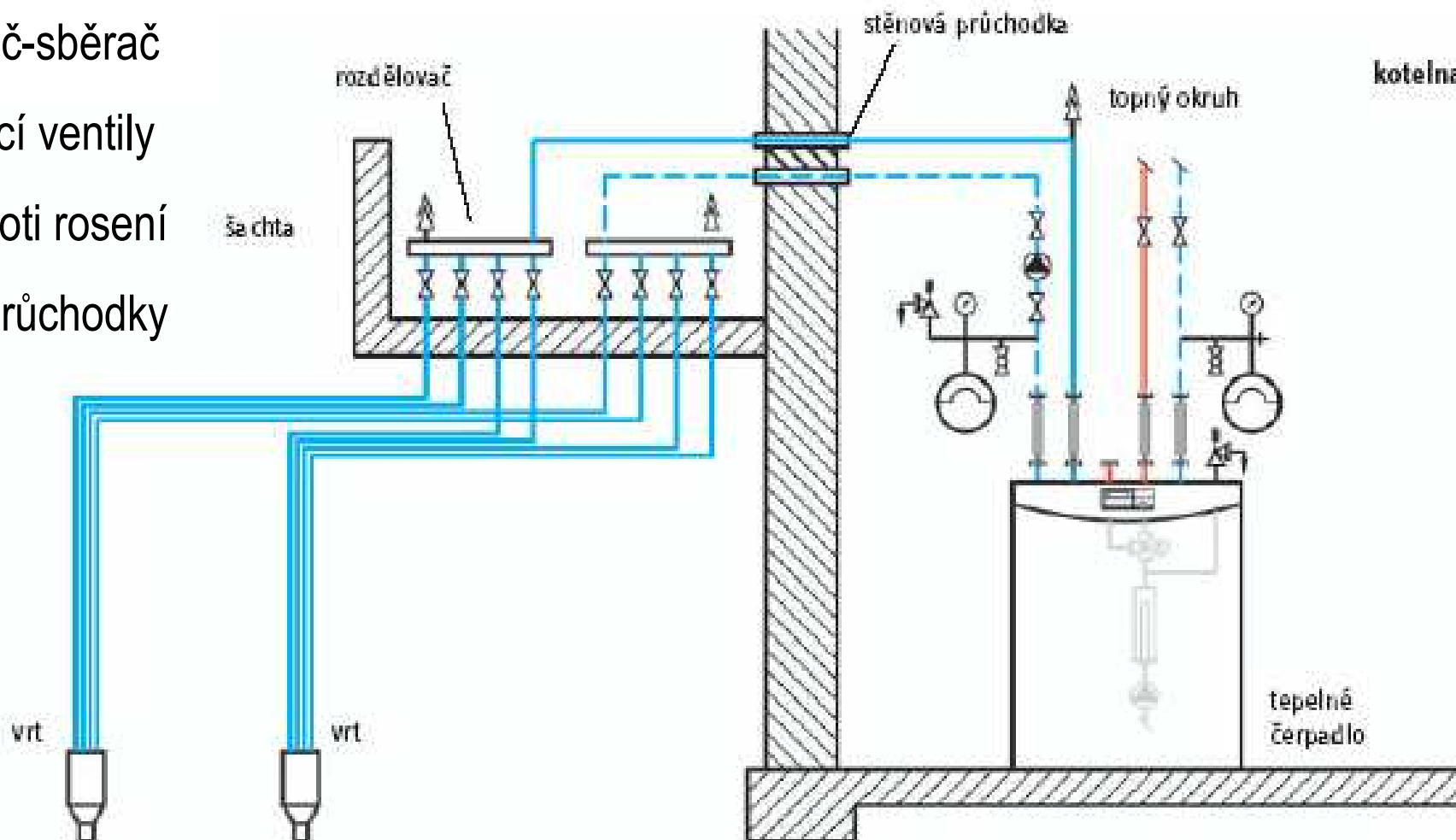
Provedení vrtů





Zemní vrty – zapojení

rozdělovač-sběrač
vyvažovací ventily
izolace proti rosení
stěnové průchodky



nemrznoucí směs ($t_f < -10^\circ\text{C}$):

propylenglykol-voda (30 / 70 %): **viskozita (!)**
líh-voda (40 / 60 %)



Zemní vrty – zapojení, rozdělovač



umístění rozdělovače ve
venkovním prostoru:

v plastové šachtě

v betonové skruži

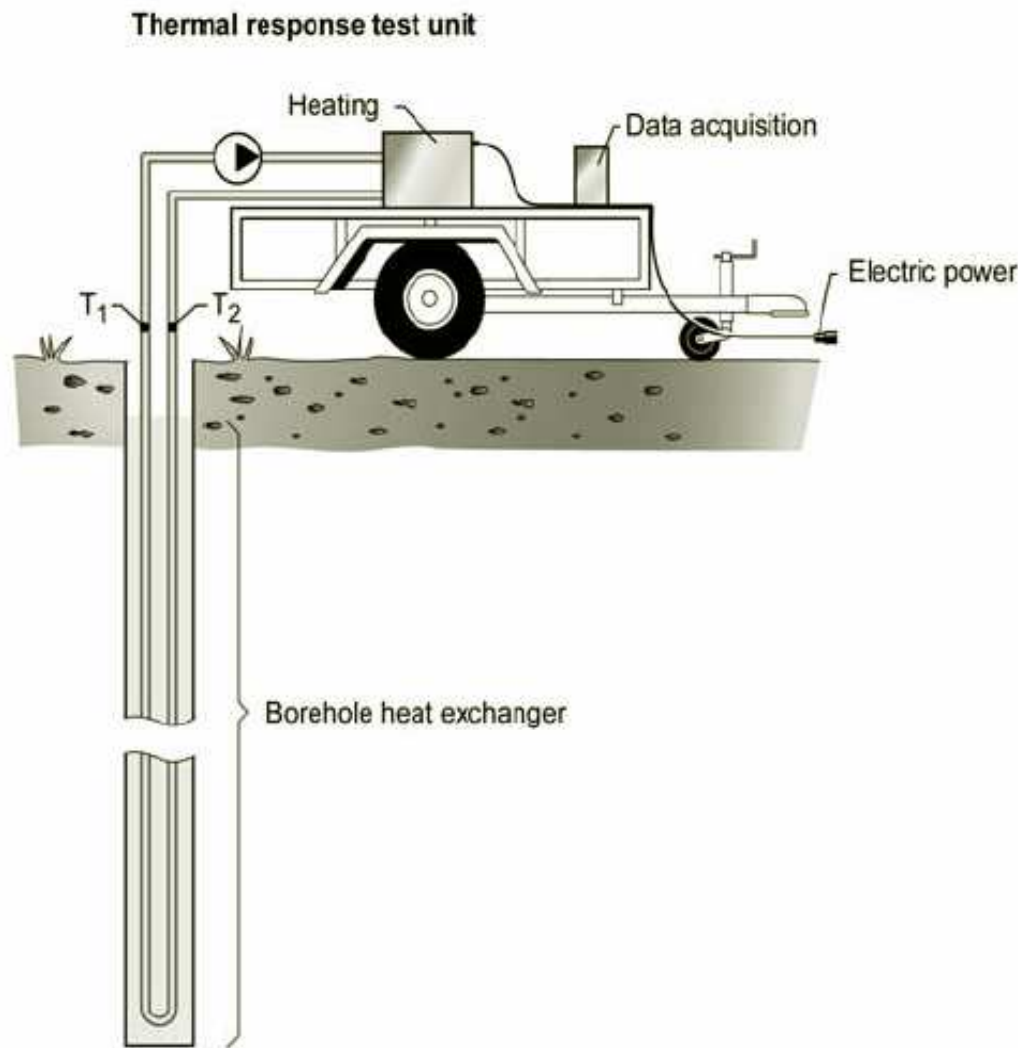


Připojení

- rozvod vrtů se spádem od rozdělovače – snadné **odvzdušnění**
- rovnoměrné délky vrtů – hydraulické **zaregulování**
- **prostupy** do budovy v nenasákavé izolaci a chrániče
- bezpečnostní **odstupy** od konstrukcí budovy (rozvody pod bodem mrazu)
- pozornost při **křížení** rozvodů vrtů s jinými rozvody (studená voda)
- rozvody v izolaci – **kondenzace a namrzání**



Zkouška tepelné odezvy



mobilní měřicí aparatura

vystrojený vrt napojený na zdroj
tepla (elektrokotel)

cirkulace vody, měření příkonu a
teplot

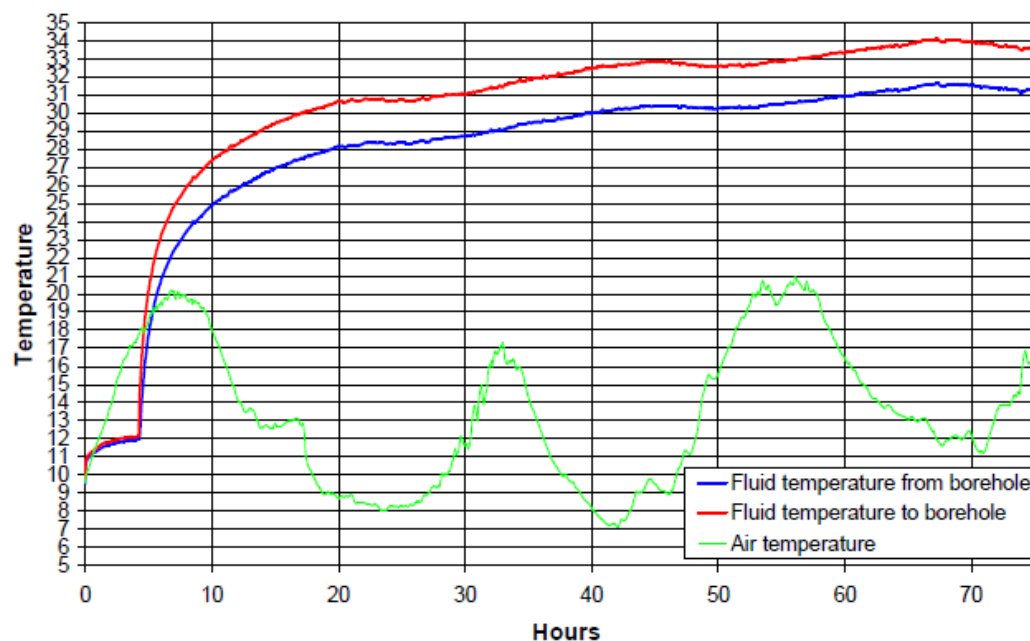
nepřetržité snímání cca 2,5 dne

odpojení, vyhodnocení:

- tepelná vodivost
- tepelný odpor vrtu
- teplota neovlivněného masivu



Zkouška tepelné odezvy – VŠB Ostrava



Parametr	Vrt č. 1	Vrt č. 2
Topný výkon do vrtu	8,2 kW	7,6 kW
Průměr. litráž čerpadla při testu	0,83 l/s	0,87 l/s
Doba vytápění vrtu elektrokotlem	71,5 hodin	93,3 hodin
Teplota T_{ug}	10,8°C	10,8°C
Tepelná vodivost hornin λ	2,2 W/mK	2,1 W/mK
Tepelný odpor R_b	0,16 K/Wm	0,12 K/Wm
Injektážní směs	cement + bentonit	Stüwatherm 2000Z



Pole vrtů – VŠB Ostrava



700 kW (10 TČ)

110 vrtů, hloubka 140 m

podlahové vytápění, VZT

příprava TV

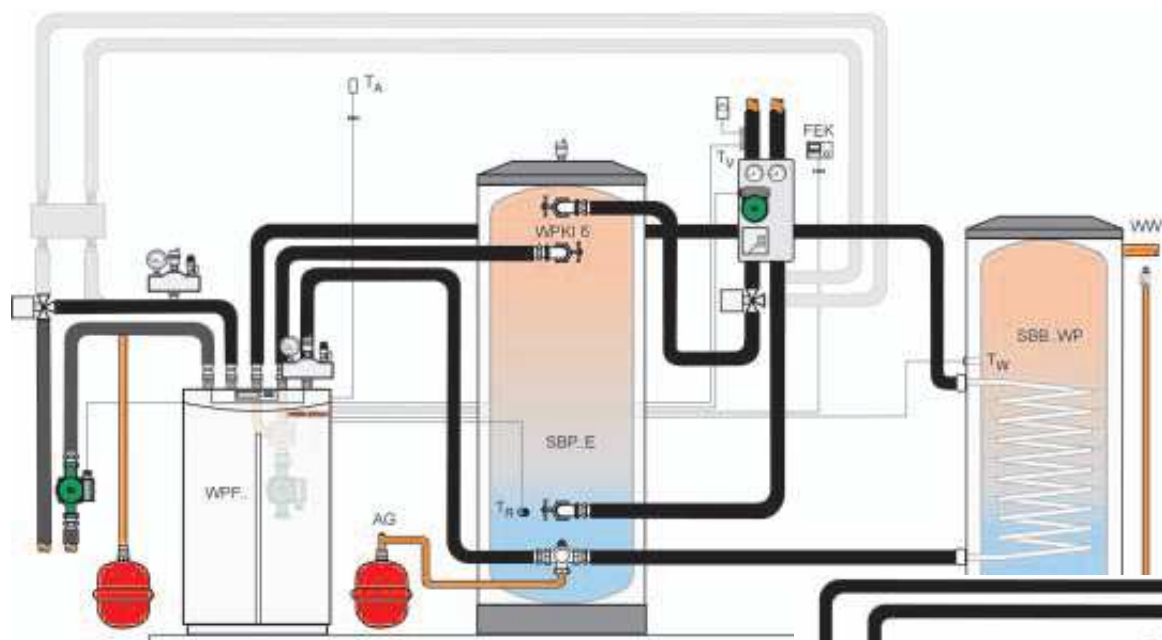
pasivní chlazení v létě



zdroj: IVT

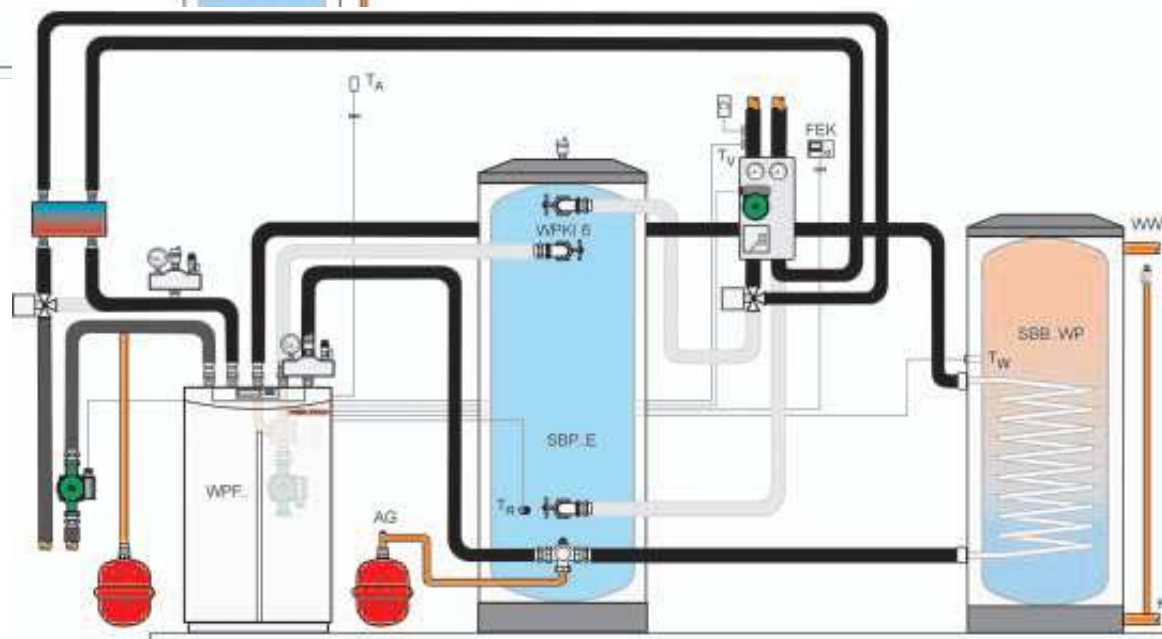


Pasivní chlazení vrty



topný režim

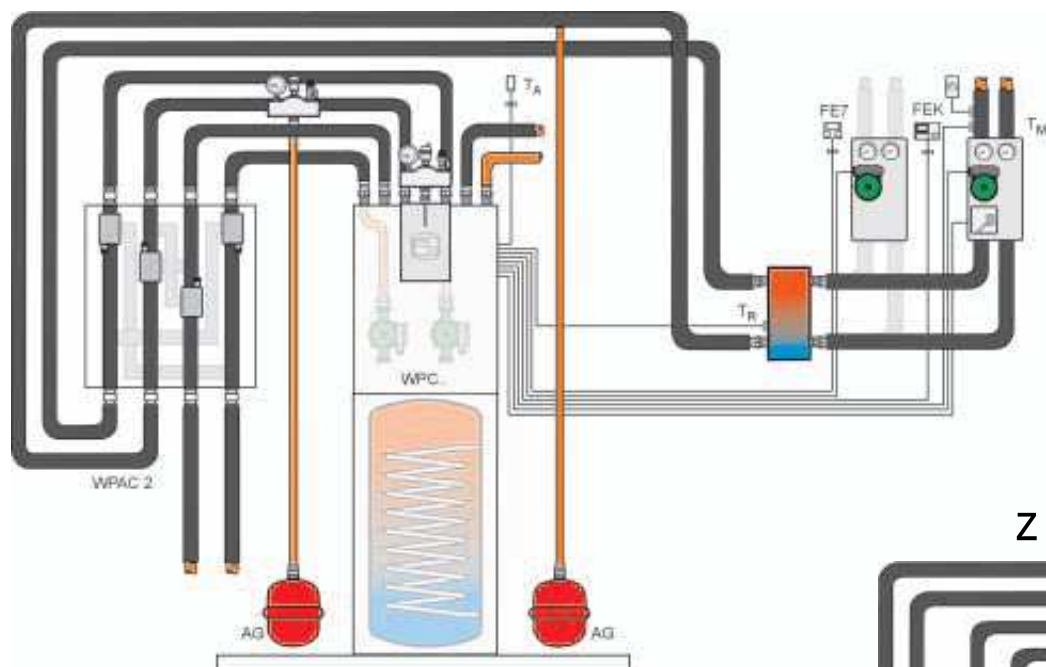
chladičí režim



zdroj: Stiebel-Eltron



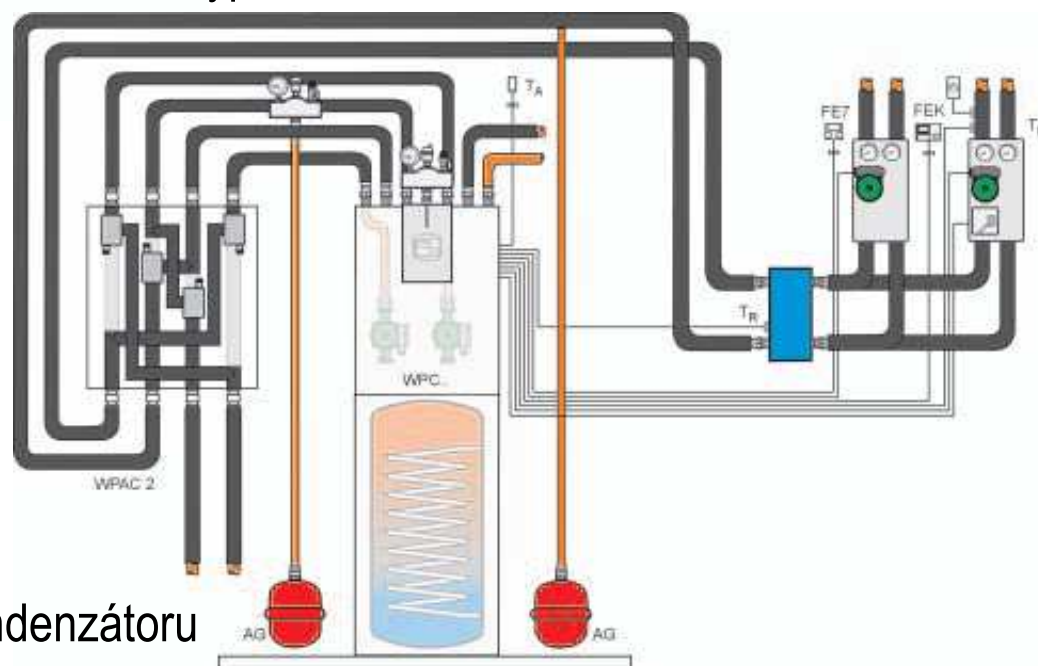
Aktivní chlazení vrty



topný režim

z výparníku

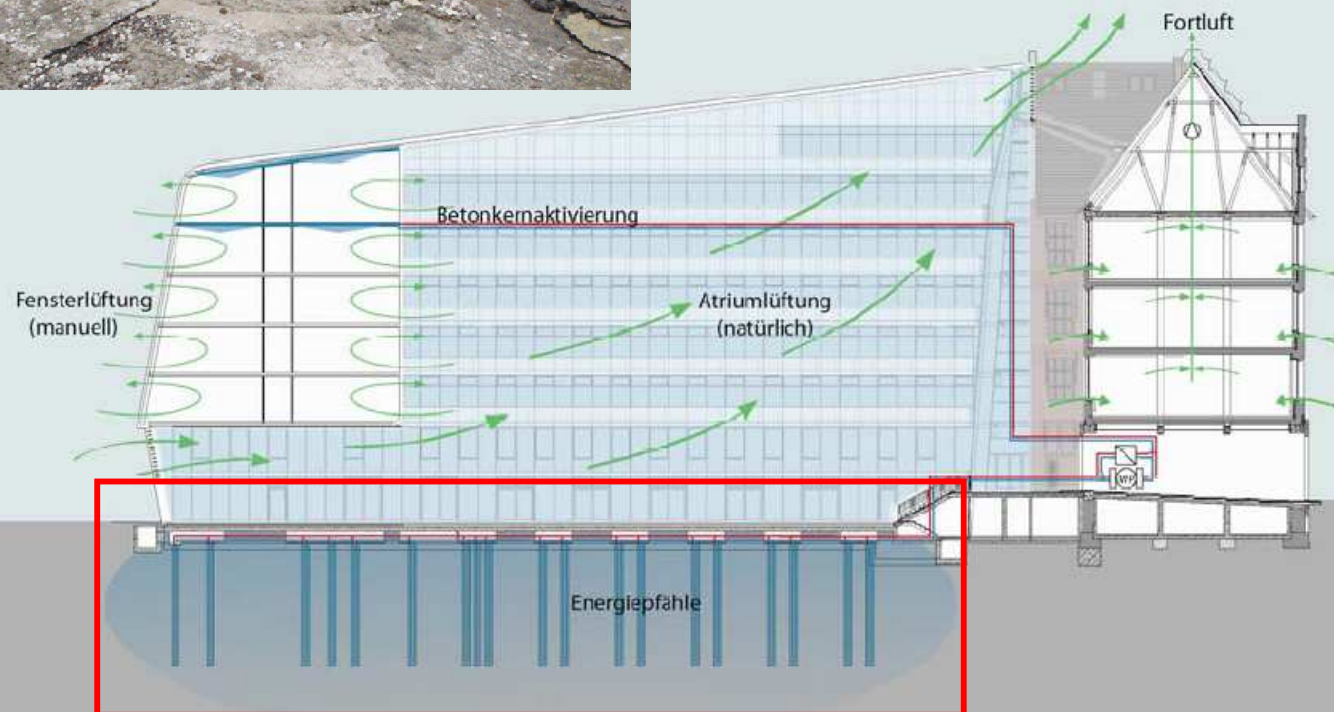
chladičí režim



z kondenzátoru



Energetické piloty





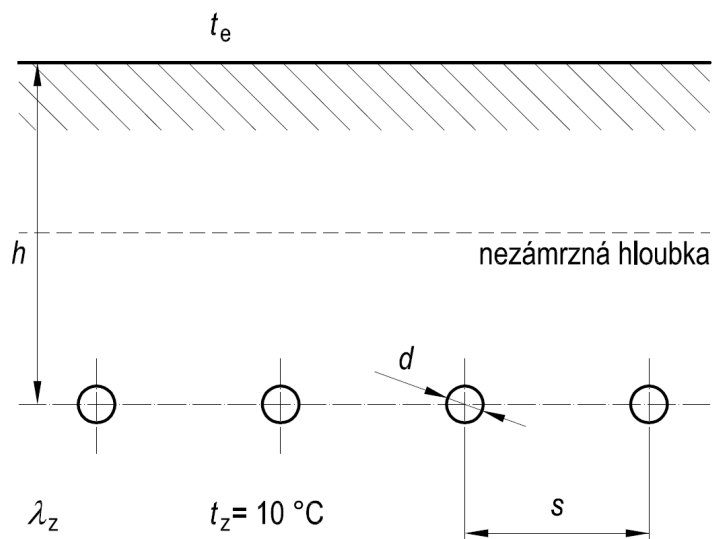
Zemní podpovrchové kolektory



- čerpání tepla z podpovrchové vrstvy (do 1,5 m hloubky)
- možnost ovlivnění vegetace
- rozsáhlé výkopové práce
- nutná velká plocha pozemku
- teploty v kolektoru okolo 0 °C



Zemní podpovrchové kolektory



hloubka uložení min. 0,2 m pod
nezámrznou hloubkou

$h = 0,6$ až $1,5$ m

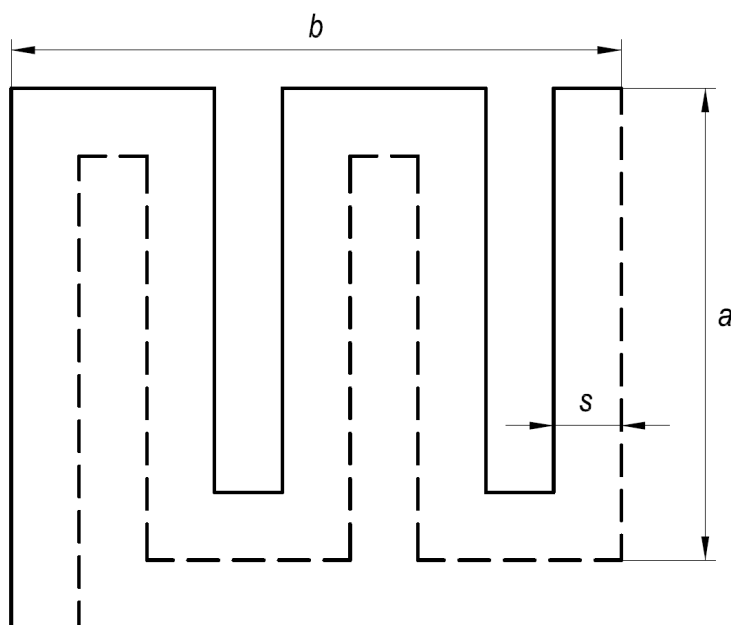
rozteč trubek

$s = \text{min. } 0,8$ m až 2 m

HDPE trubky DN20 – DN40

tepelná vodivost zeminy

$\lambda_z = 1,5$ až $3,0$ W/m.K



$$R_z = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_z} \ln \left[\frac{2 \cdot s}{\pi \cdot d} \sinh \left(2\pi \frac{h}{s} \right) \right] \quad [\text{m.K/W}]$$



Zemní podpovrchové kolektory

$$q_{z,l} = \frac{t_z - t_{v12}}{R_z} \quad [\text{W/m}]$$

teplota ve vrtu

$$t_{v12} = \text{okolo } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (+4 \text{ až } -4^\circ\text{C})$$

teplota zeminy

$$t_z = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vlastnosti podloží	měrný tepelný tok $q_{z,l}$ [W/m]
suché nesoudržné půdy	10 – 15
vlhké soudržné půdy	15 – 20
velmi vlhké, soudržné půdy	20 – 25
půdy pod hladinou spodní vody nebo značně vlhké	25 – 30
půdy s pohybem spodní vody	35 – 40



Délka a plocha zemního kolektoru

$$l_v = \frac{\dot{Q}_v}{q_z} = \frac{\dot{Q}_k - P_{el}}{q_z} \quad [\text{m}]$$

$$S = \frac{\dot{Q}_v \cdot s}{q_{z,l}} \quad [\text{m}^2]$$

běžné dimenzování, topný faktor 3
průměrné podloží, rozteč 1 m

pro $\dot{Q}_v = 1 \text{ kW} \sim 40 \text{ m}^2$ pozemku

pro $\dot{Q}_k = 1 \text{ kW} \sim 25 \text{ m}^2$ pozemku

Vlastnosti podloží	měrný tepelný tok $q_{z,l} [\text{W/m}^2]$
suché nesoudržné půdy	10 – 15
vlhké soudržné půdy	15 – 20
velmi vlhké, soudržné půdy	20 – 25
půdy pod hladinou spodní vody nebo značně vlhké	25 – 30
půdy s pohybem spodní vody	35 – 40

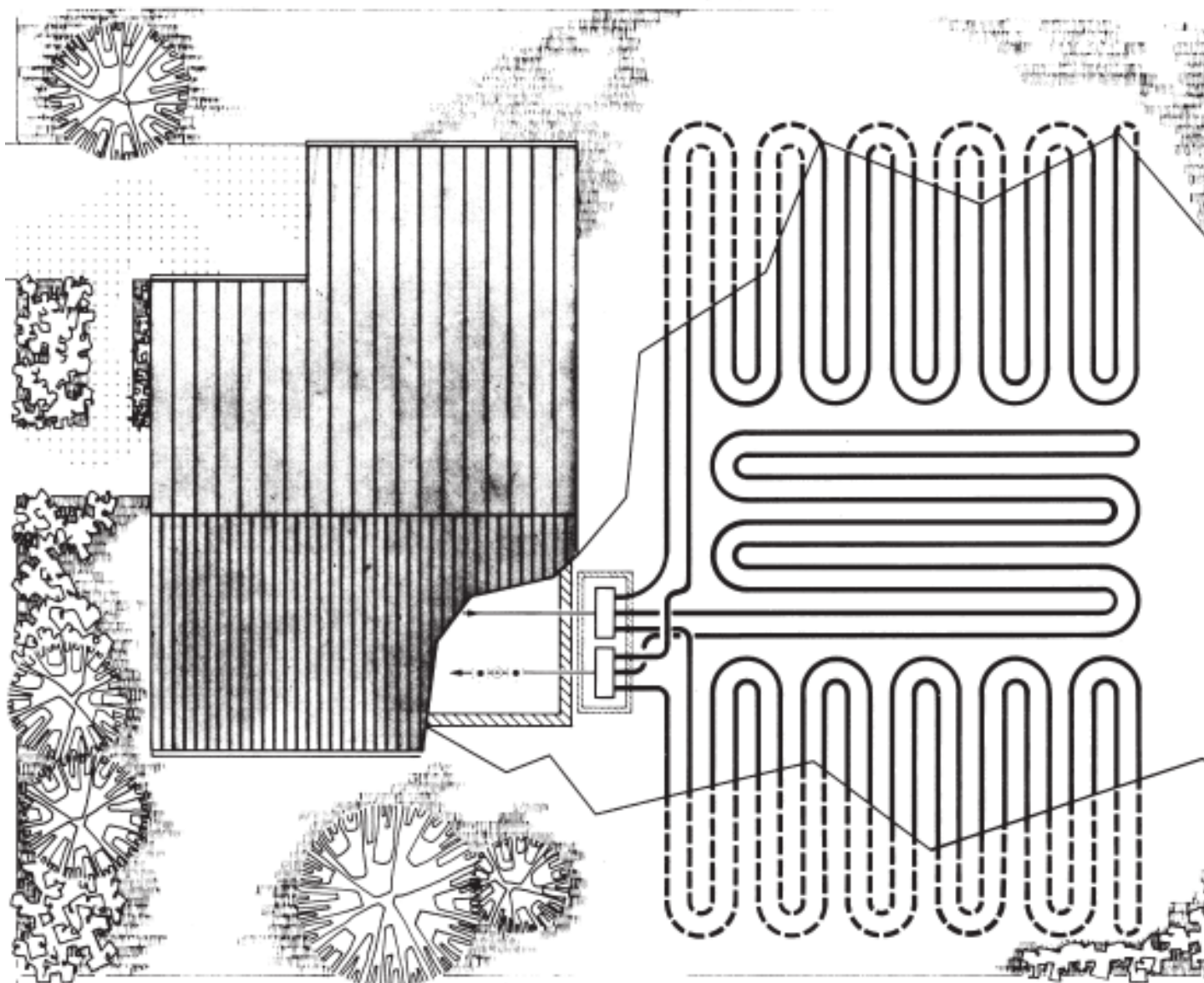


Provedení zemních kolektorů

- potrubí do rýhy výkopu, ne hlouběji než 2 m
- délka okruhů by neměla přesáhnout 100 m (DN25), resp. 400 m (DN40) z ohledem na tlakové ztráty
- rozdělení okruhů do více větví
- smyčka bez spojek, eliminace netěsností
- meandr se střídání trubek: přívod / vratná
- plocha nad kolektorem – propustná pro srážky (vyhnout se asfaltovým nebo betonovým plochám) – regenerace
- vyhnout se kořenovým systémům
- dokumentace polohy potrubí



Provedení zemních kolektorů





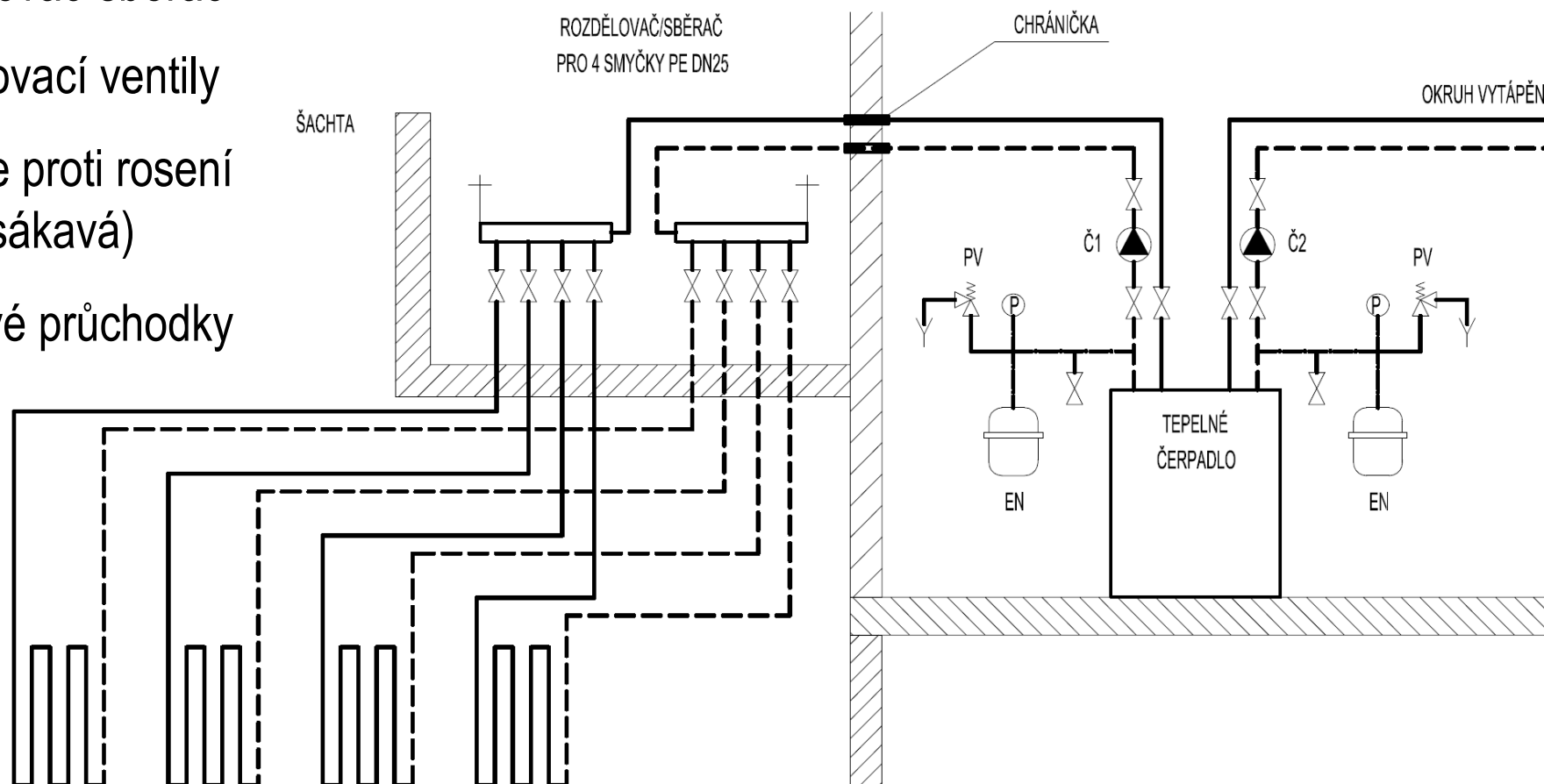
Zapojení zemních kolektorů

rozdělovač-sběrač

vyvažovací ventily

izolace proti rosení
(nenasákavá)

stěnové průchodky



nemrznoucí směs ($t_t < -10^\circ\text{C}$):

propylenglykol-voda (30 / 70 %): **viskozita (!)**
líh-voda (40 / 60 %)



Připojení zemních kolektorů

- rozvod kolektoru se spádem od rozdělovače – snadné **odvzdušnění**
- rovnoměrné délky větví – hydraulické **zaregulování**
- **prostupy** do budovy v nenasákavé izolaci a chrániče
- bezpečnostní **odstupy** od konstrukcí budovy (rozvody pod bodem mrazu)
- pozornost při **křížení** rozvodů kolektoru s jinými rozvody (studená voda)
- rozvody v izolaci – **kondenzace a namrzání**



Voda

- **teplá odpadní voda**: čističky odpadních vod, chladicí procesy,
 $t = 20$ až 25 °C
- **povrchová voda**: říční toky, rybníky, jezera, nádrže
 $t = 0$ až 18 °C, teplota ovlivněna venkovními klimatickými podmínkami
- **podpovrchová voda**: studny, zvodněné vrty
 $t = 7$ až 10 °C, tzv. spodní voda, celoročně rovnoměrná teplota
- **hlubinná voda**: vrty,
 $t = 10$ až 13 °C, teplotní gradient 3 K/100 m
 $t > 25$ °C, geotermální voda



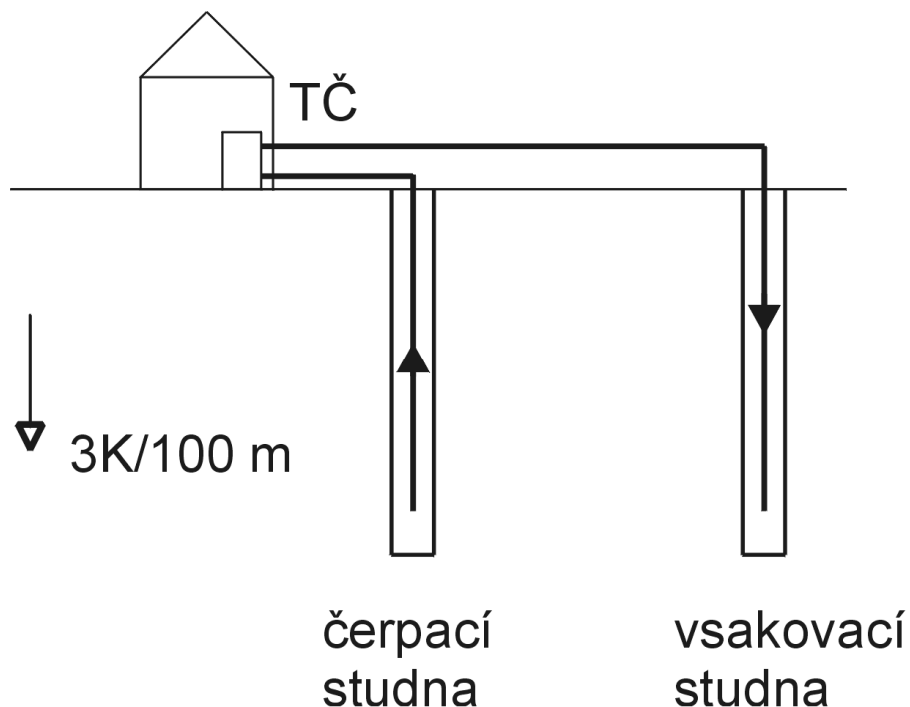
Spodní voda



- chemická kvalita vody
- vydatnost čerpací studny
- stálá teplota vody
5 až 15 °C
- podléhá povolení
vodohospodářského úřadu



Spodní voda



čerpací studna (max. 15 m
hluboká: příkon čerpadla)

vsakovací studna (15 m od sebe)

ochlazení cca o 3 až 4 K

pro $Q_v = 1 \text{ kW} \sim 200 \text{ l/h}$ (0,06 kg/s)

pro $Q_k = 1 \text{ kW} \sim 150 \text{ l/h}$ (0,04 kg/s)

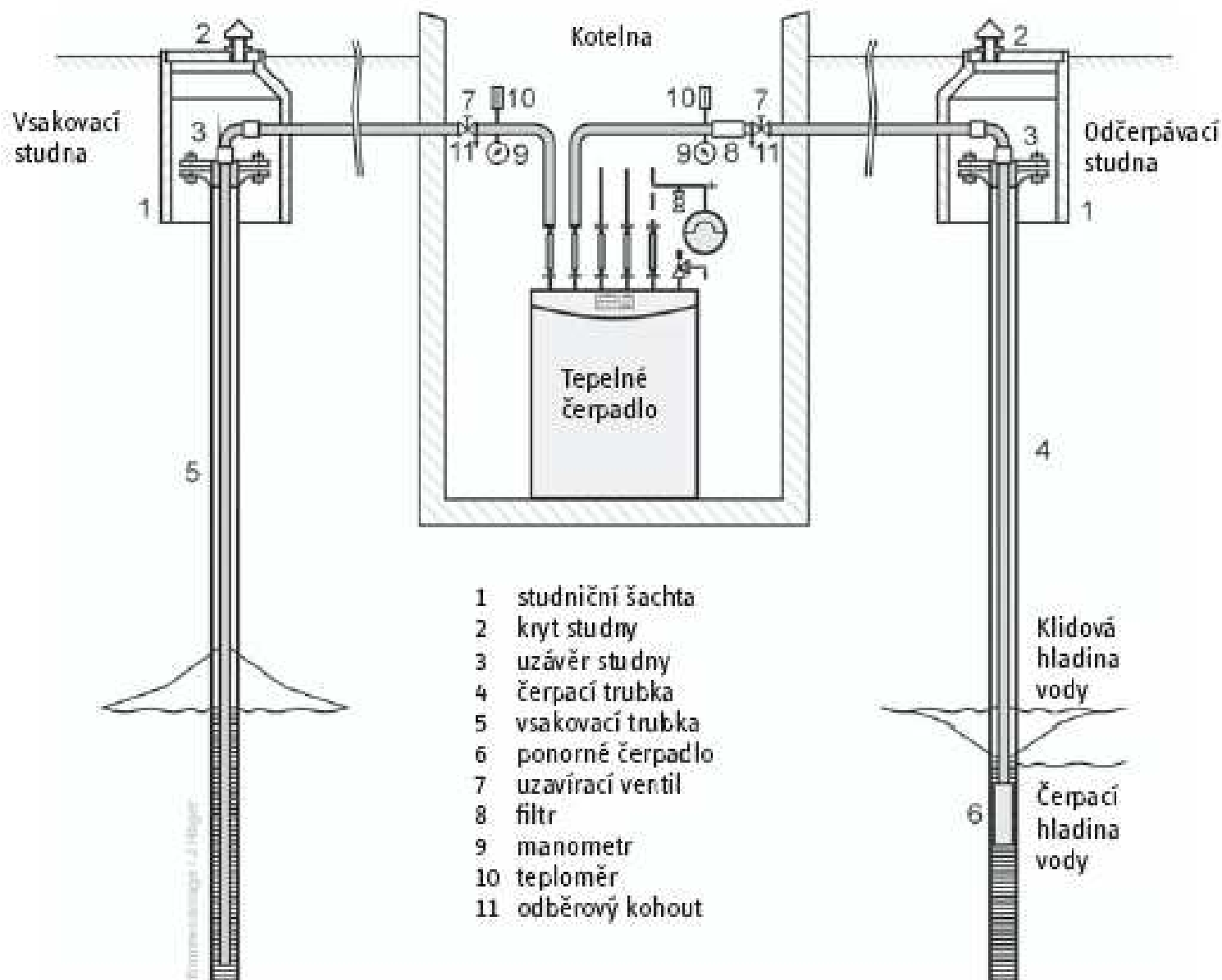
Potřebná vydatnost studny

$$\dot{M}_v = \frac{\dot{Q}_v}{c_v (t_{v1} - t_{v2})} \quad [\text{kg/s}]$$

Nutné podložit dlouhodobou čerpací zkouškou: 30 dní, **a déle !**



Čerpací a vsakovací studna





Kvalita spodní vody

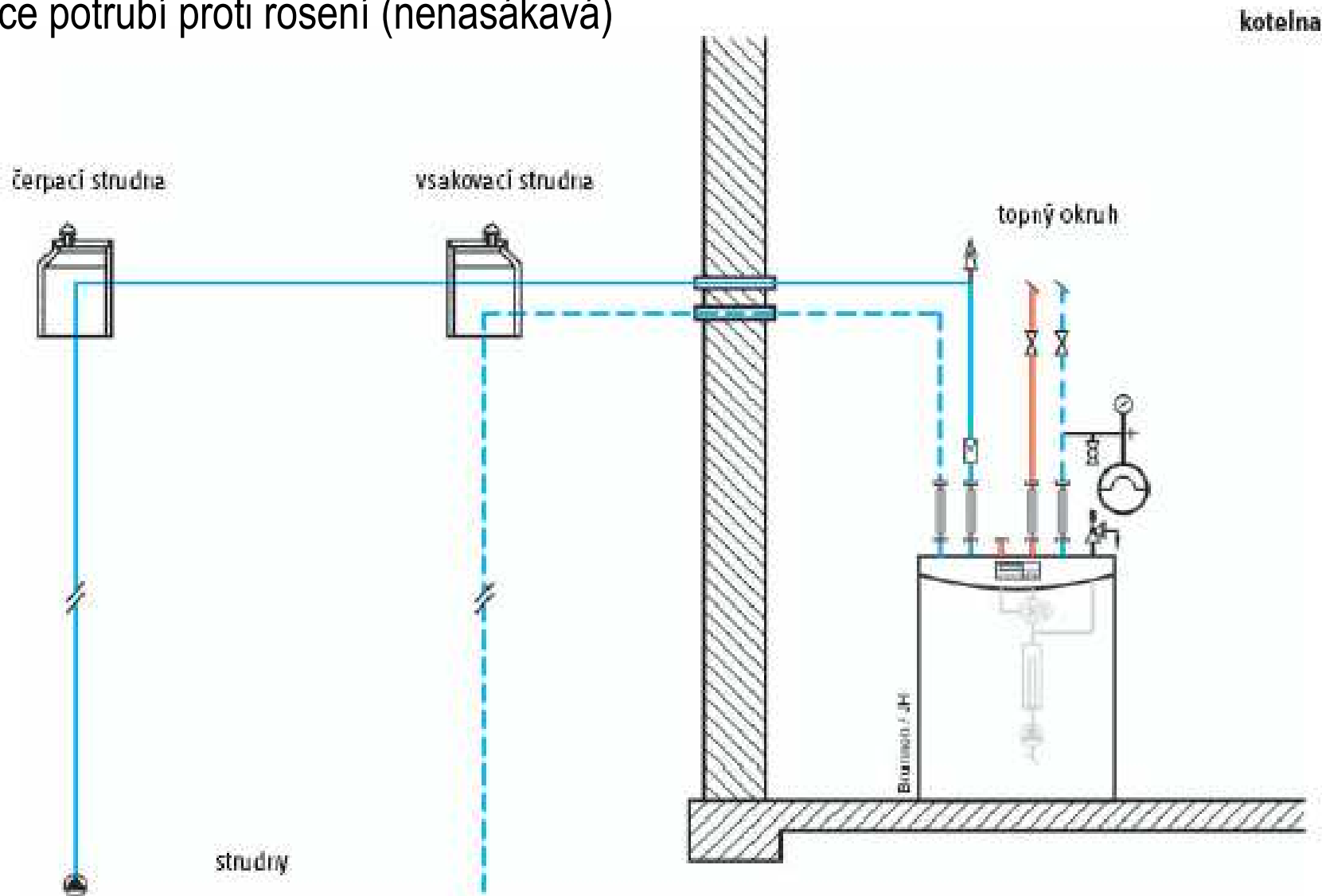
- **chemické složení vody**
 - koroze (nerezové oceli)
 - usazeniny (zanášení výměníku – výparník)
 - použití filtrů s automatickým čištěním

- **chemická analýza**
 - chloridy < 500 mg/l, volné chloridy < 0,5 mg/l
 - železo, mangan < 1,0 mg/l
 - kyslík, sírany



Spodní voda – zapojení

izolace potrubí proti rosení (nenasákavá)



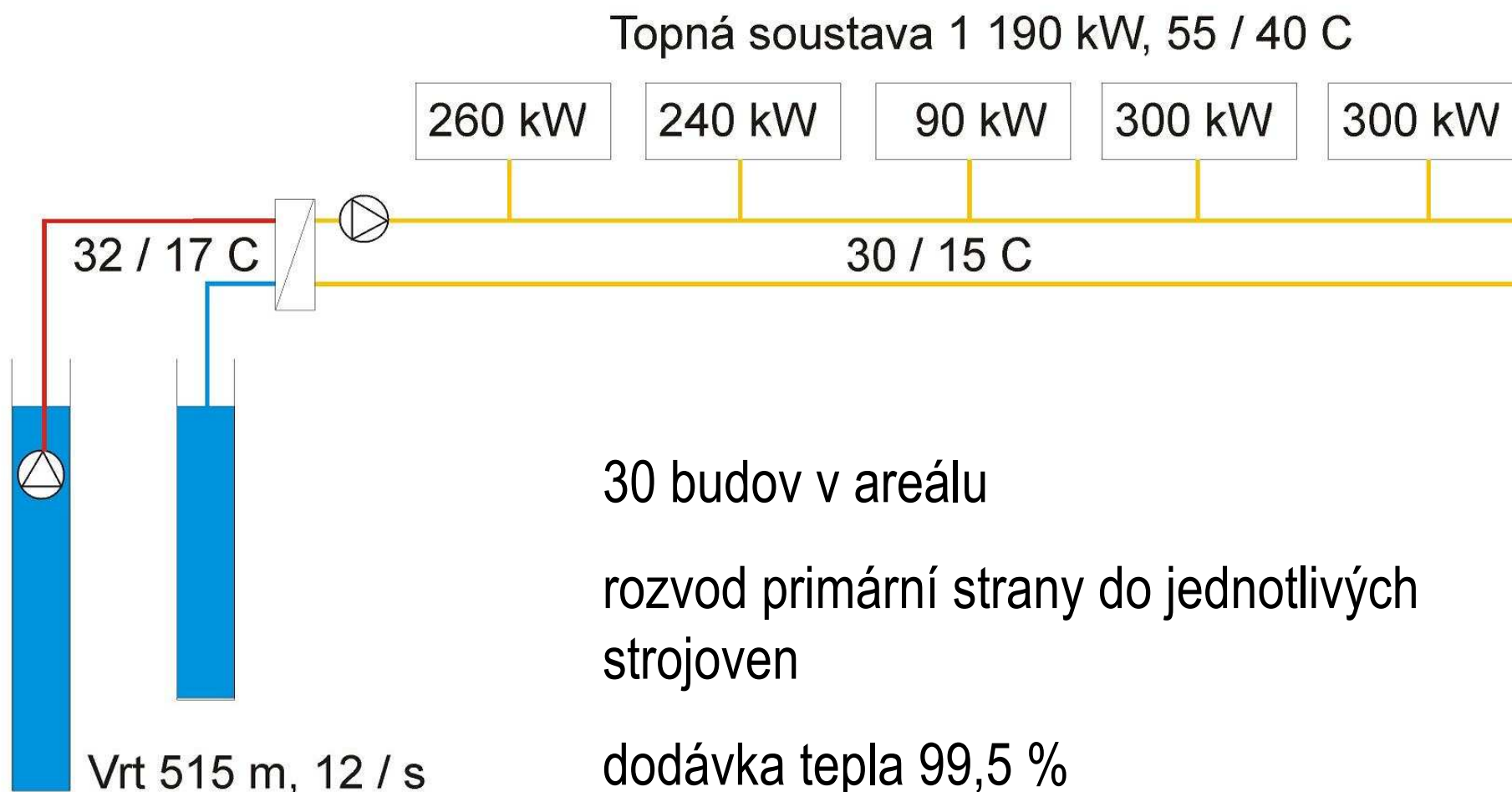


Geotermální voda

- Karlovy Vary: 72 °C; Teplice 42°C; Jáchymov, Janské lázně, ... lázeňské oblasti – velmi problematické využití
- důlní vody – čerpané z uhelných či rudných dolů, využití geotermického stupně
- teplé vody: přímé využití rekuperací tepla
- značná mineralizace – předřazené čistitelné výměníky



Geotermální voda - ZOO Ústí nad Labem



30 budov v areálu

rozvod primární strany do jednotlivých strojoven

dodávka tepla 99,5 %

topný faktor > 6



Geotermální voda - ZOO Ústí nad Labem

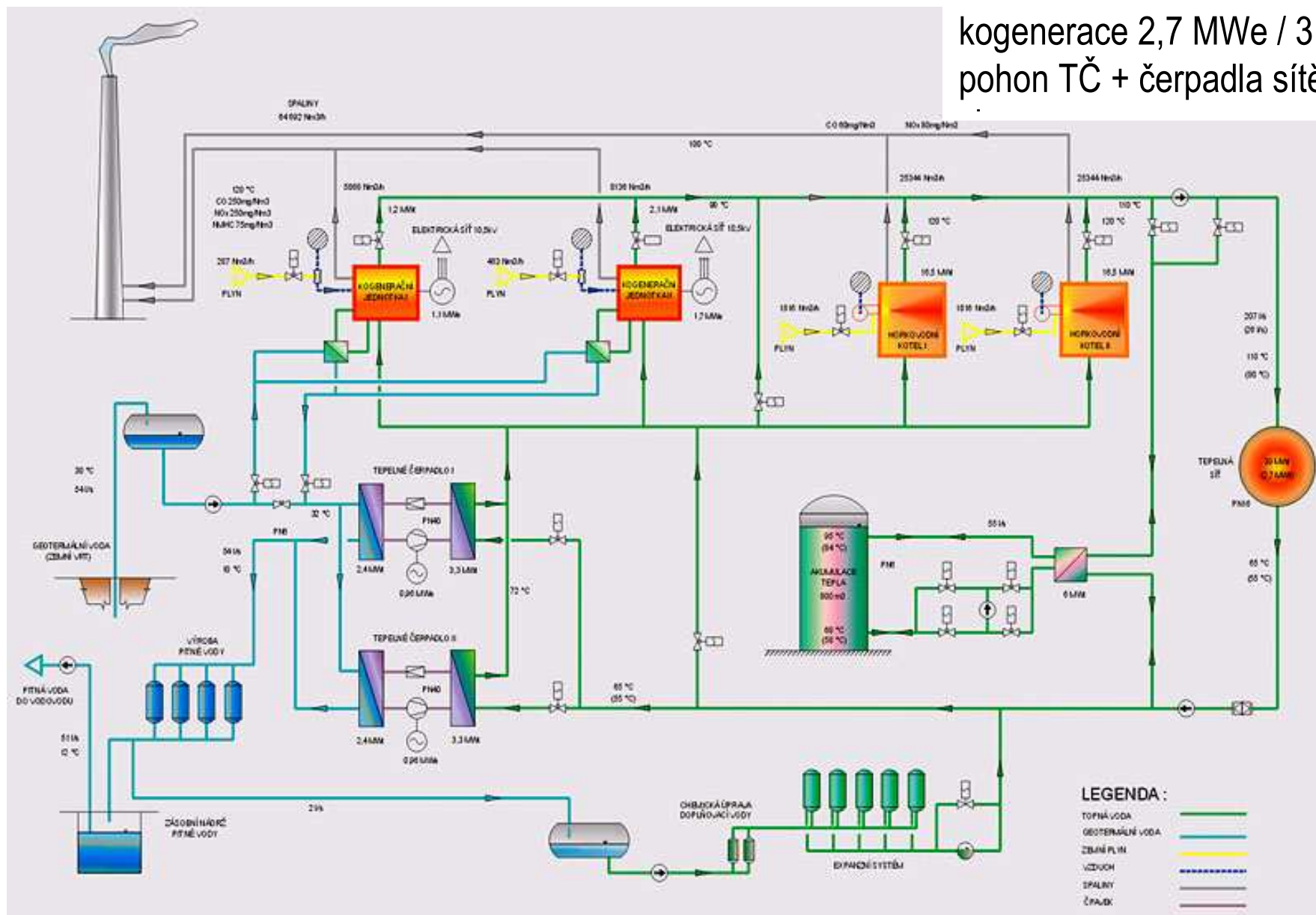


zdroj: IVT



Geotermální voda - CZT Děčín

kogenerace 2,7 MWe / 3,1 MWt
pohon TČ + čerpadla sítě





Povrchová voda

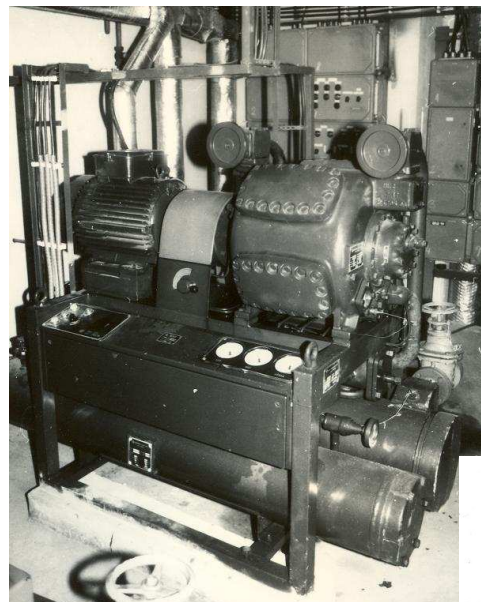
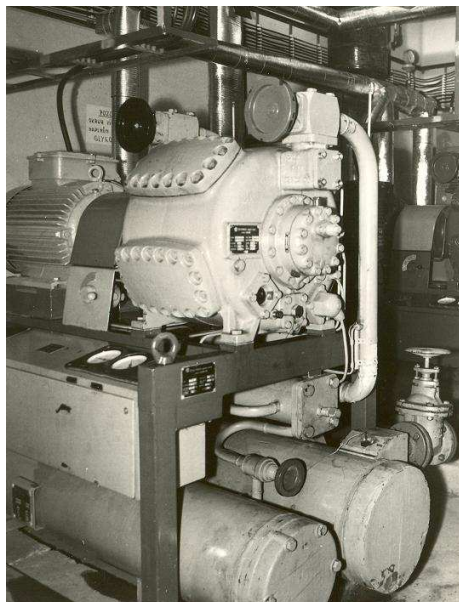


Herbertov, FS ČVUT

- jezera, rybníky, řeky = akumulace sluneční energie
- topný výkon závislý na vnějších **klimatických podmínkách**
- nízká teplota v otopném období
- 20 až 30 W/m při DN40
- omezené instalace - přístupnost
- uložení v dostatečné **hloubce na dně** jezera, řeky, náhonu
- **kotvení** (tvorba ledu – vztlak)

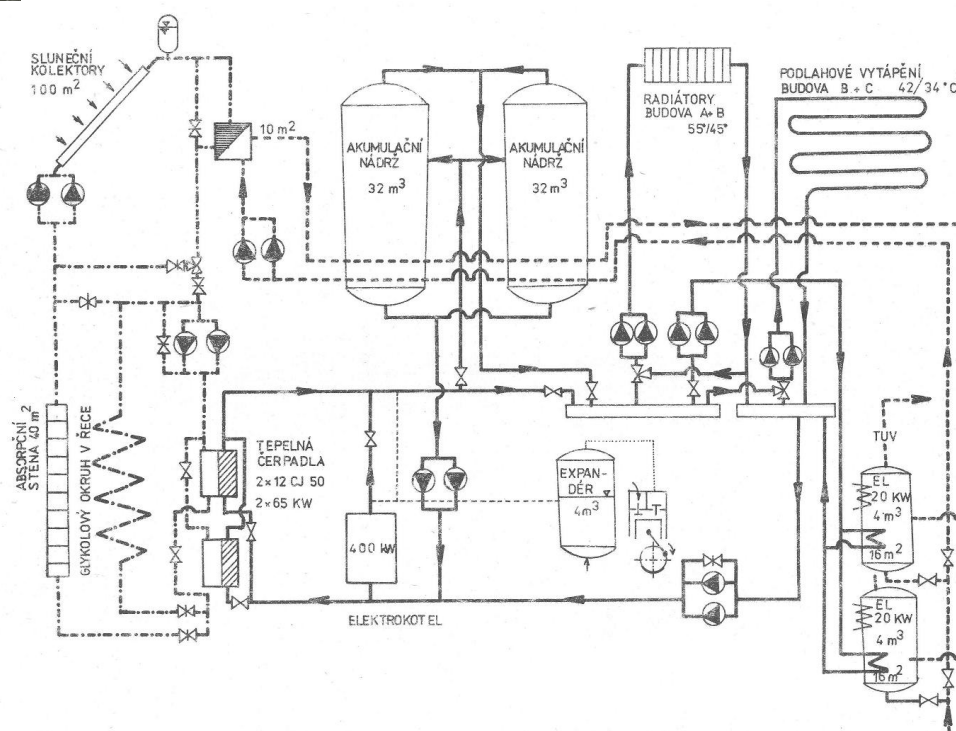


Herbertov – výukové a rekreační středisko



chladiče vody 12 CJ 50 a CJ 70 (ČKD
Choceň, 1982)

výměník - ocelový chladič z lihovaru

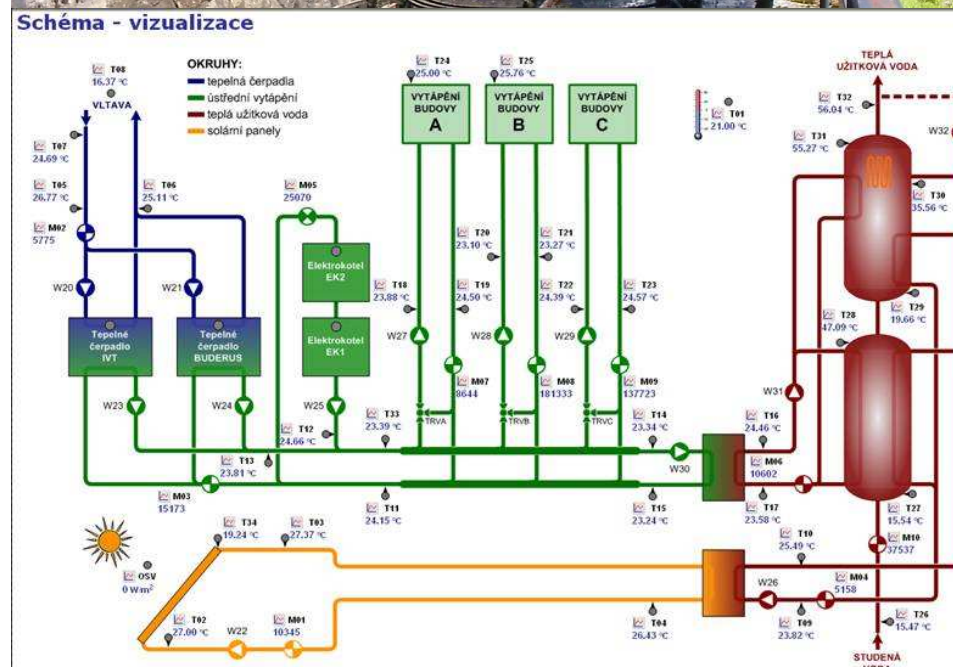




Herbertov – výukové a rekreační středisko



TČ: 68 + 50 kW
výměník: 1600 m HDPE





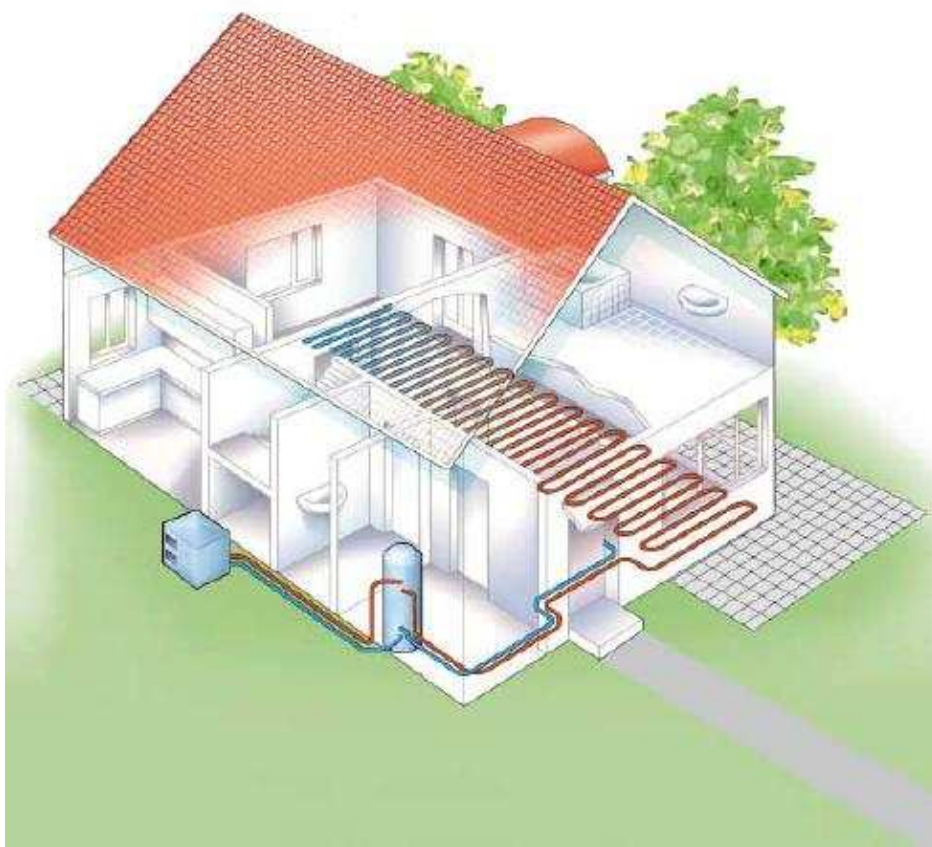
Odpadní voda

- z průmyslu, technologických zařízení, obytných budov, ...
- nestabilní dodávka – akumulace odpadní vody v jímkách
- využitelný výkon z ochlazení
 - trvale zajištěného průtoku
 - akumulovaného množství

$$\dot{Q}_v = \dot{V} \rho c (t_{v1} - t_{v2}) = \frac{V}{\tau} \rho c (t_{v1} - t_{v2})$$



Venkovní vzduch



- využití tepla okolního vzduchu
- topný výkon závislý na vnějších **klimatických podmínkách**

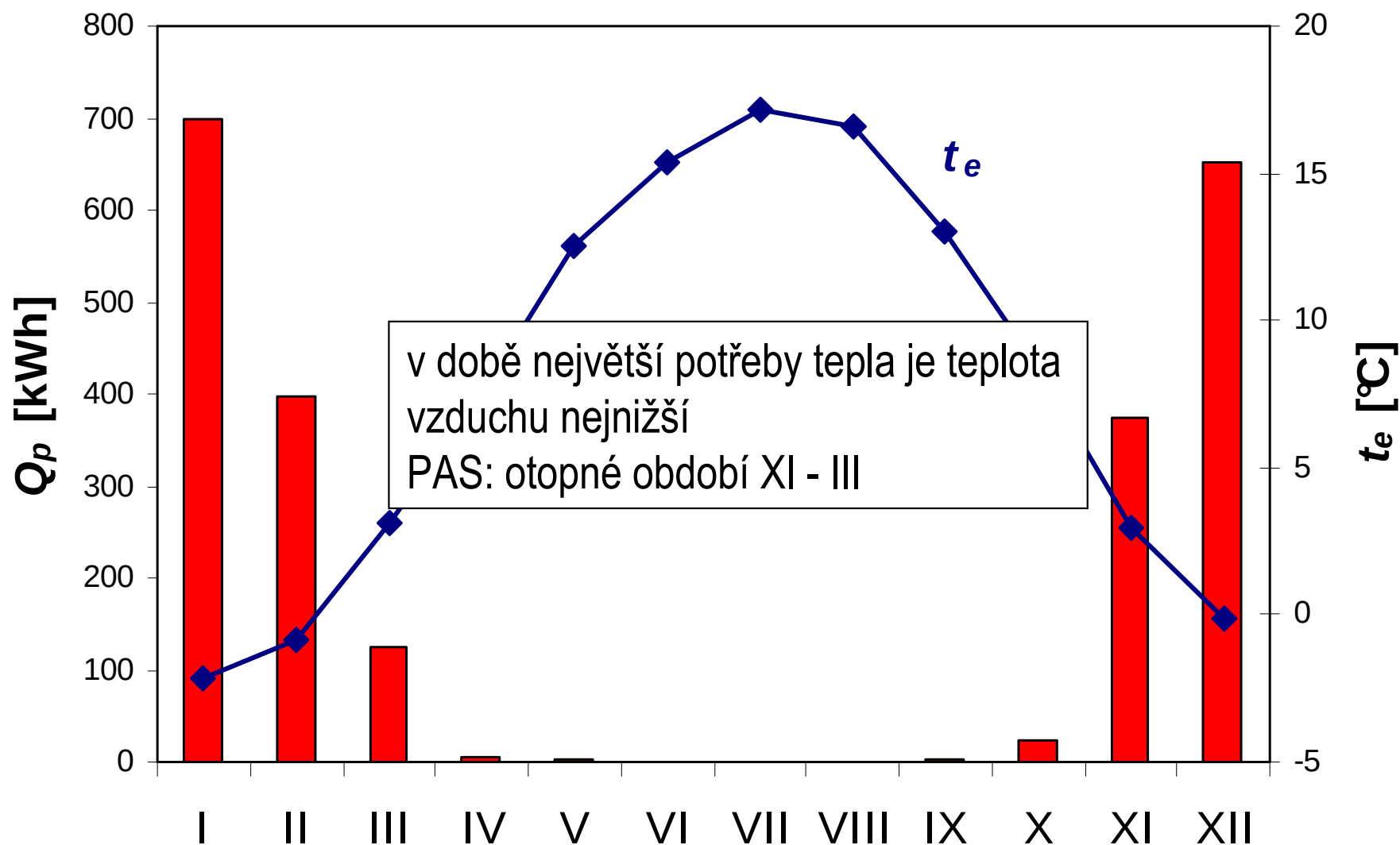
zima: topné faktory < 3

léto: topné faktory > 4

- zásadně **bivalentní** provoz
- odvod **kondenzátu**
- **hlučnost** (velké průtoky)



Venkovní vzduch





Venkovní vzduch – entalpie, výkon

$$h = c_a \cdot t + (l_0 + c_D \cdot t) \cdot x = 1010 \cdot t + (2,5 \cdot 10^6 + 1840 \cdot t) \cdot x$$

c_a měrná tepelná kapacita suchého vzduchu, v J/(kg.K);

t teplota vzduchu, v °C;

l_0 výparné teplo vody, v J/kg;

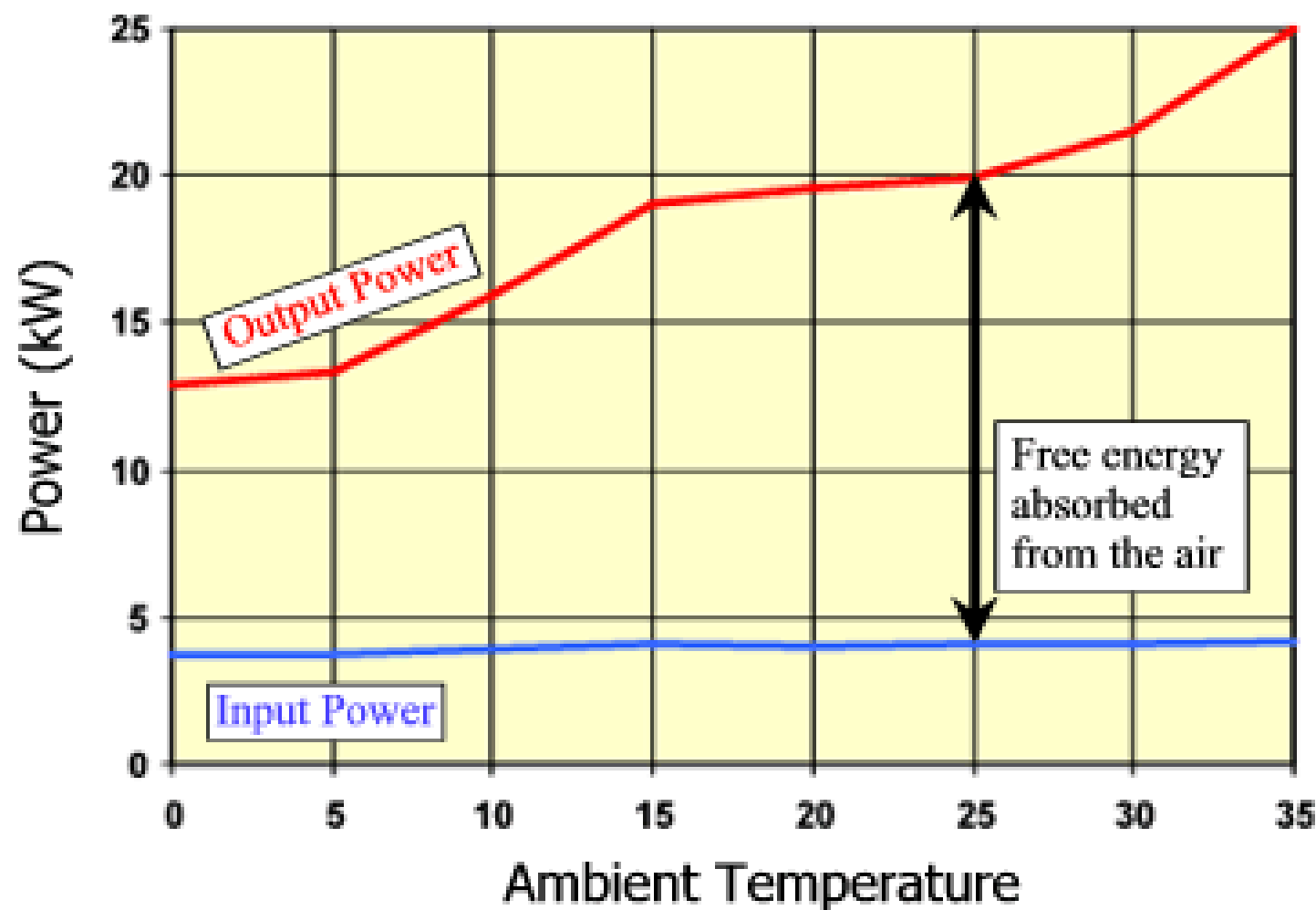
c_D měrná tepelná kapacita vodní páry, v J/(kg.K);

x měrná vlhkost vzduchu, v kgvv/kgsv.

$$\dot{V}_v = \frac{\dot{Q}_v}{\rho \cdot (h_{v1} - h_{v2})}$$

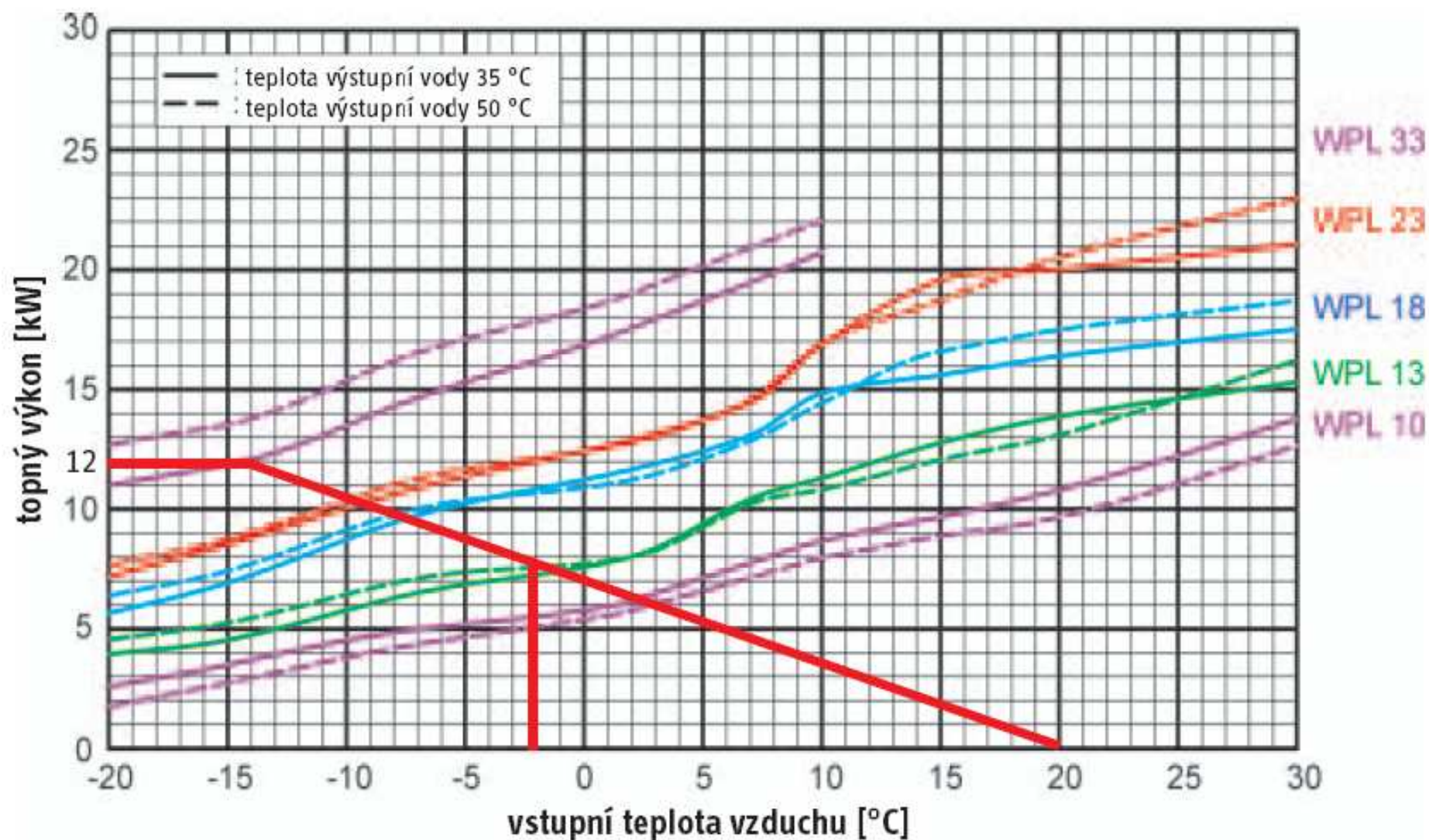


Venkovní vzduch - dimenzování





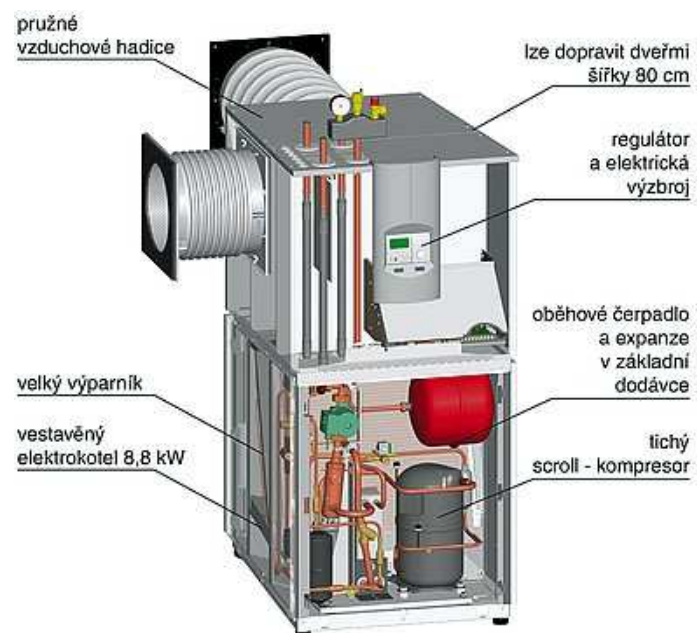
Venkovní vzduch - dimenzování





Provedení

vnitřní provedení

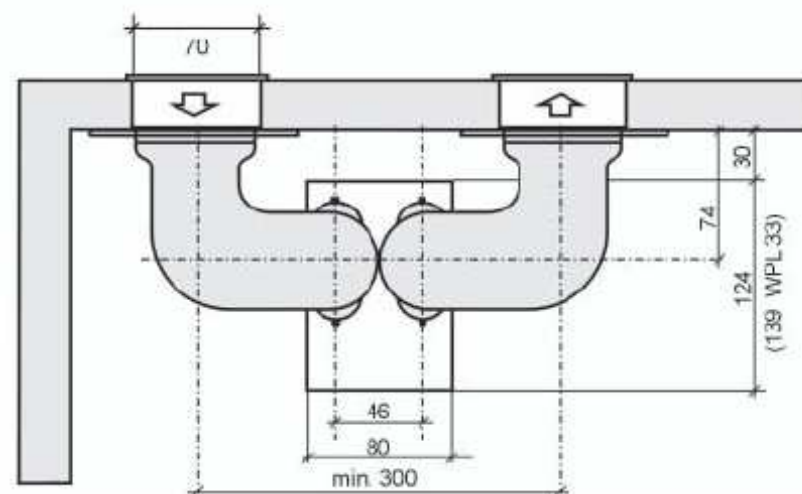
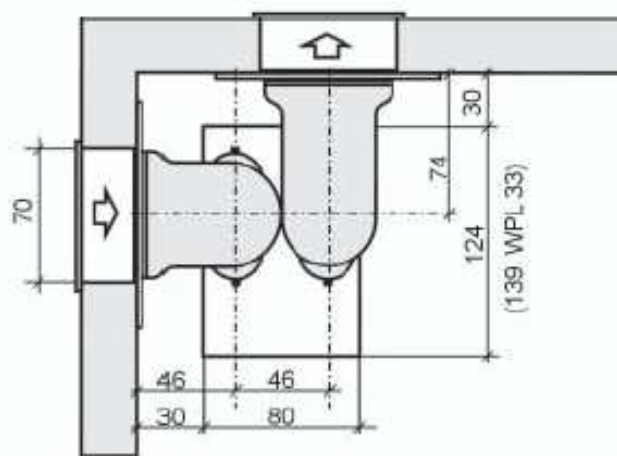
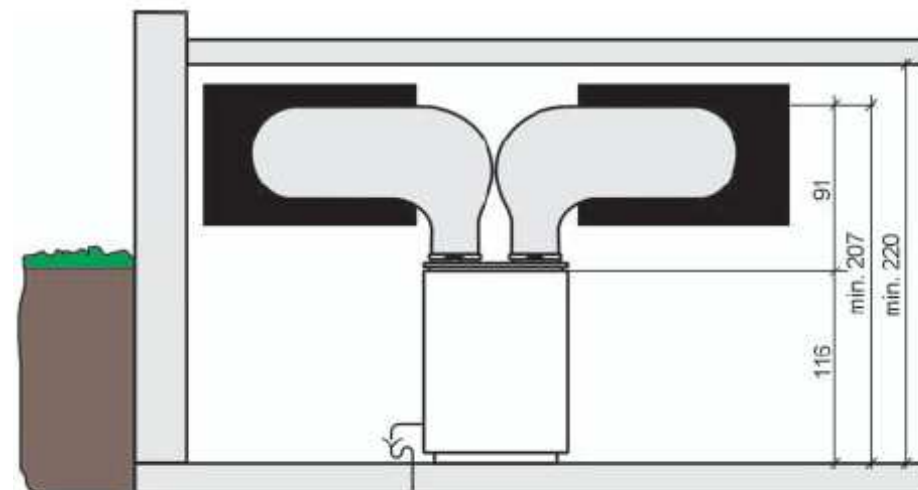
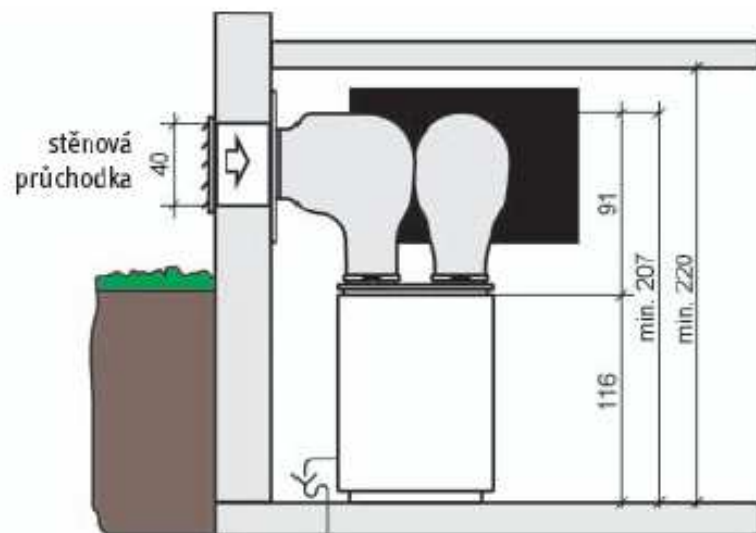


venkovní provedení





Vnitřní provedení



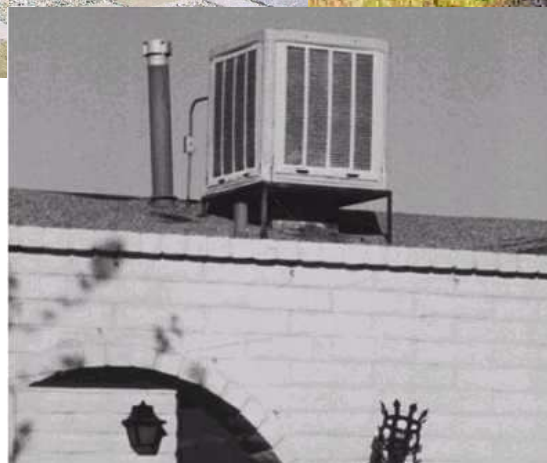


Vnitřní provedení

- **dostatečná vzájemná vzdálenost** otvorů pro nasávání venkovního vzduchu a výfuk ochlazeného vzduchu
... umístit ve směru převládajících větrů, přes roh, oddělit přepážkou
- strojovna pod úrovní terénu – anglické dvorky, VZT šachty
- umístování spolu se **spalovacími zařízeními** – odsávání vzduchu netěsnými vzduchovody – problémy s tahem
... větrací mřížka do venkovního prostoru
- dimenzování vzduchovodů a mřížek (zúžení průřezu) na $< 3 \text{ m/s}$
- **odvod kondenzátu** (sklepy – přečerpávání do kanalizace)



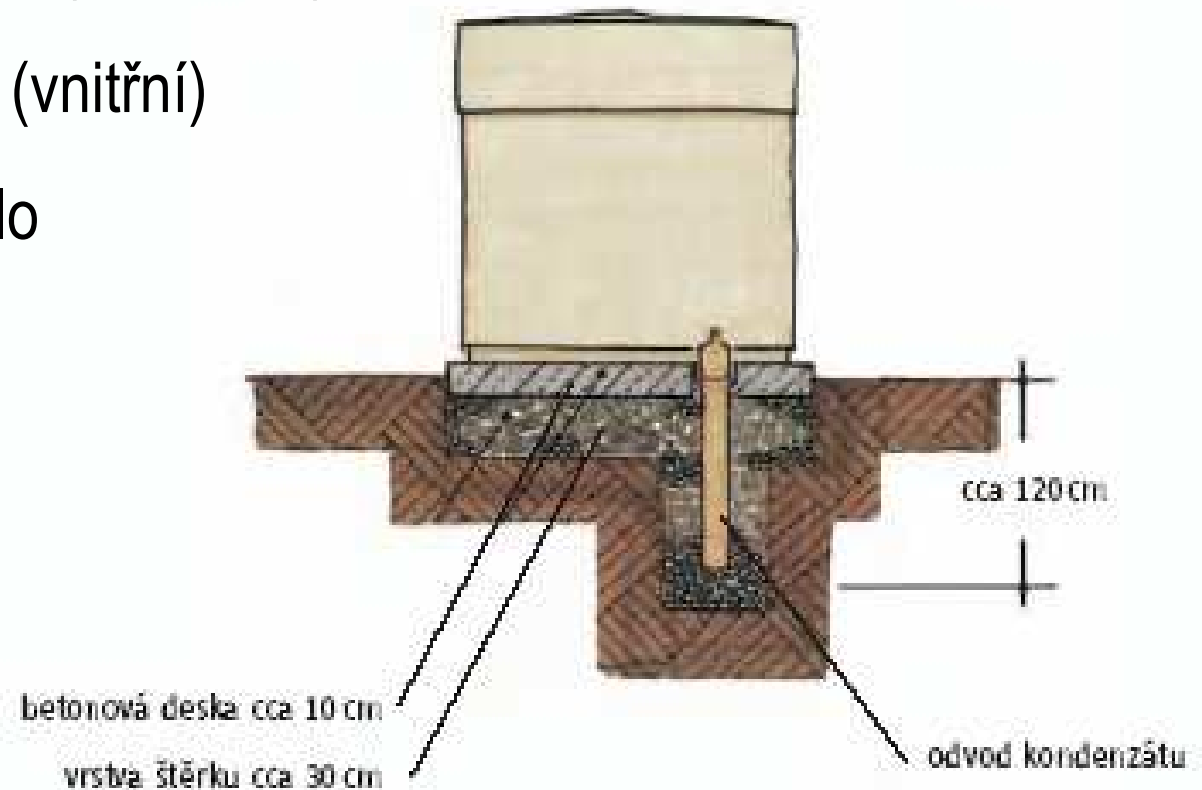
Venkovní provedení





Kondenzát

- **kondenzace vlhkosti** obsažené ve vzduchu na výparníku TČ
- **odvod kondenzátu**
 - zasakování do podloží (venkovní)
 - odvod do kanalizace (vnitřní)
 - přečerpávací čerpadlo



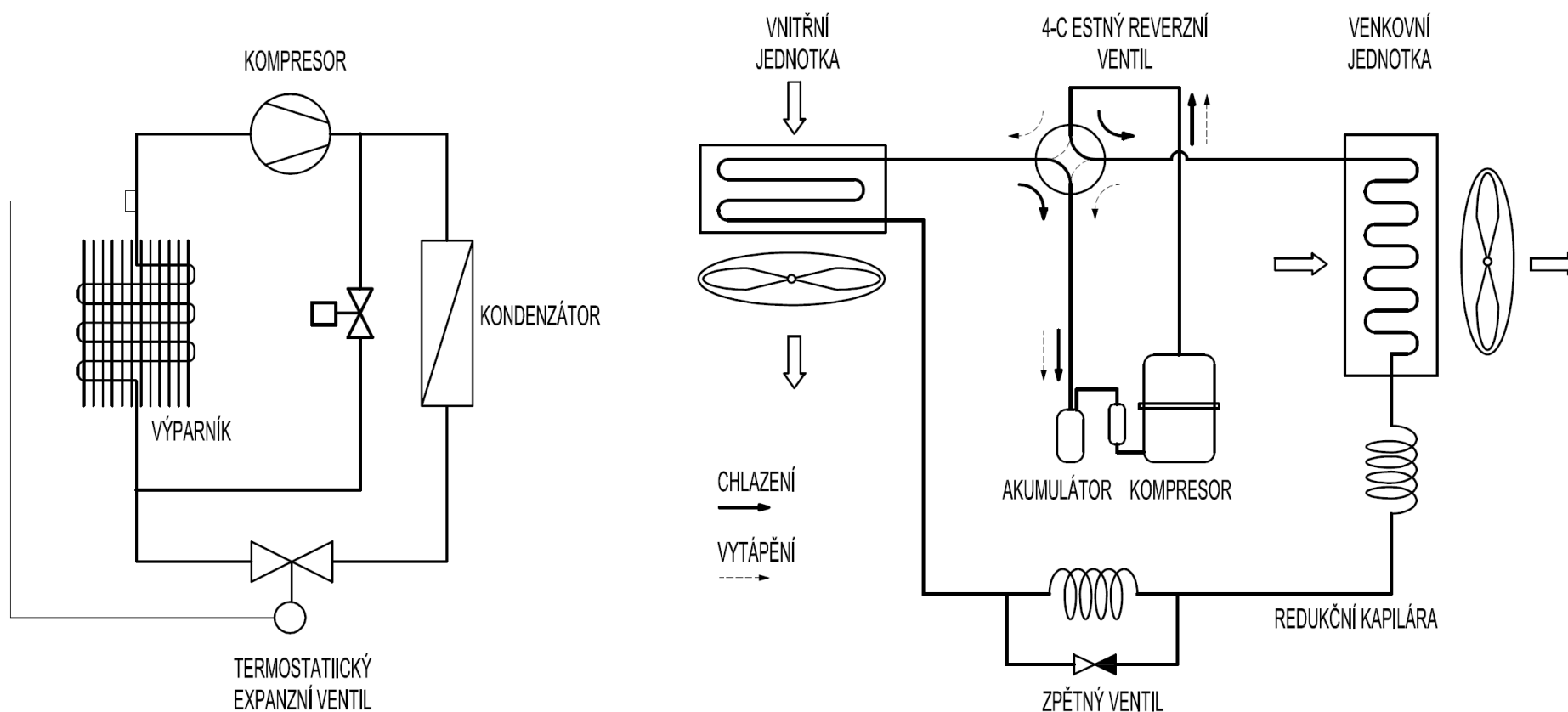


Námraza

- **namrzání** plochy výparníku
 - snižování prostupu tepla
 - snižování vypařovacího tlaku a teploty, výkonu, topného faktoru
 - zmenšení průřezu výměníku, zvýšení tlakové ztráty, zvýšení příkonu ventilátoru, **omezení funkce TČ**
- **odtávání**
 - vnitřním chodem TČ (nejčastěji, nejúspornější): horkými parami, reverzní chod
 - vnějším ohřevem: elektrické topné tyče mezi výparníkovým potrubím
 - vnějším ohřevem: vzduchem nad +3 °C, TČ vypne, ventilátor běží



Vnitřní odmrazování



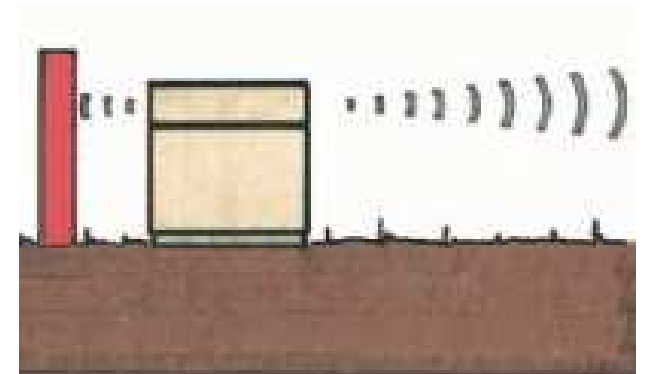
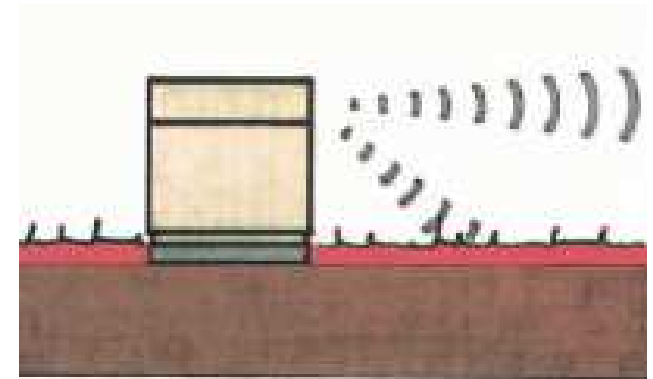
přepouštění horkých
par chladiva (EMV)

reverzní chod
čtyřcestný ventil



Ochrana proti hluku

- zohlednění hlučnosti zařízení (ventilátor, velké průtoky na výparníku)
 - trávníky, výsadba rostlin
 - **NE odrazové plochy – zvýšení hluku**
 - hlukové bariéry, přepážky (stěny, ohrady, oplocení)
 - ochrana vzdáleností
 - tlumicí základ pod tepelné čerpadlo
 - tlumiče na vedení (voda, vzduch)
 - návrh vzduchovodů, mřížek $< 3 \text{ m/s}$





Odpadní vzduch



- čerpání tepla z odpadního vzduchu z:
 - technologických procesů
 - větrání RD
 - 20-25 °C
- ohřev čerstvého vzduchu
- rekuperace tepla
- ohřev vody



Odpadní vzduch – návrh průtoku

Objemový průtok vzduchu na výparníku

$$\dot{V}_v = \frac{\dot{Q}_v}{\rho \cdot (h_{v1} - h_{v2})}$$

Příklad: TČ s výkonem $Q_k = 2$ kW pro RD běžné velikosti 150 m^2

výparník: $t_v = 5$ °C, kondenzátor $t_k = 55$ °C

odpadní vzduch: $t_1 = 24$ °C, $\varphi_1 = 60$ %, $x_1 = 11,2$ g/kg s.v.

ochlazení v TČ: $t_2 = 12$ °C, $\varphi_2 = 85$ %, $x_2 = 7,3$ g/kg s.v.

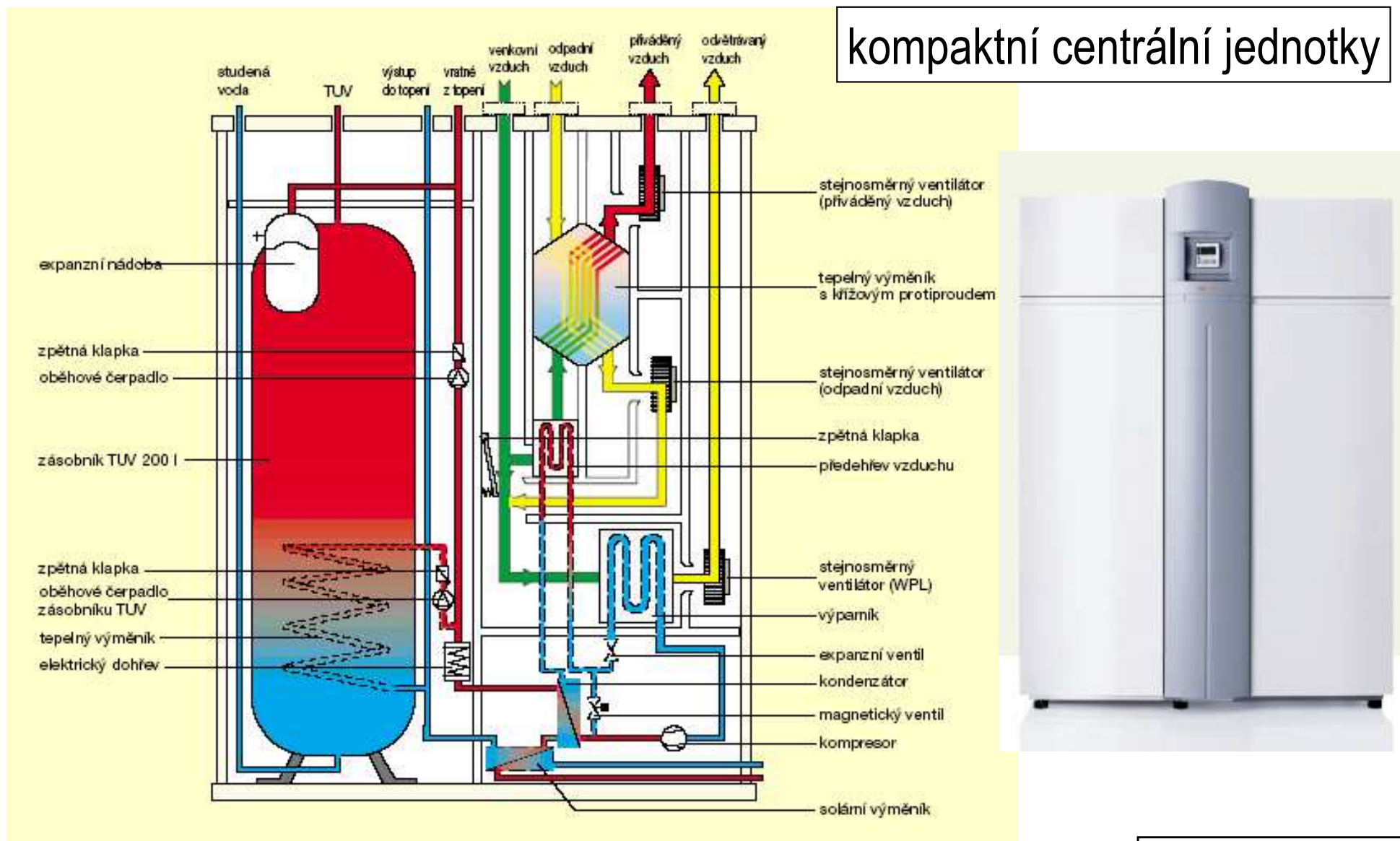
potřeba odpadního vzduchu: **230 m³/h**

běžné nucené větrání v RD: **100 m³/h !**

problematika nízké vnitřní vlhkosti v zimním období **< 30 %**



Zdroje tepla – tepelné čerpadlo

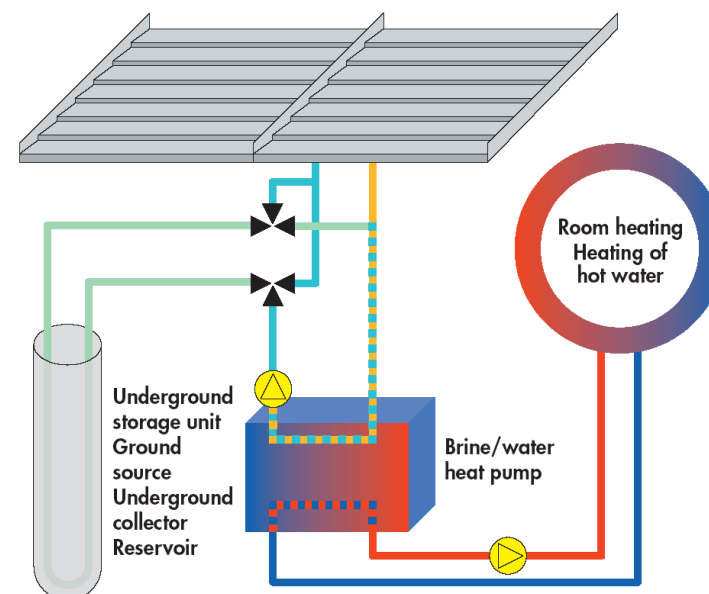


zdroj: Stiebel-Eltron



Sluneční záření

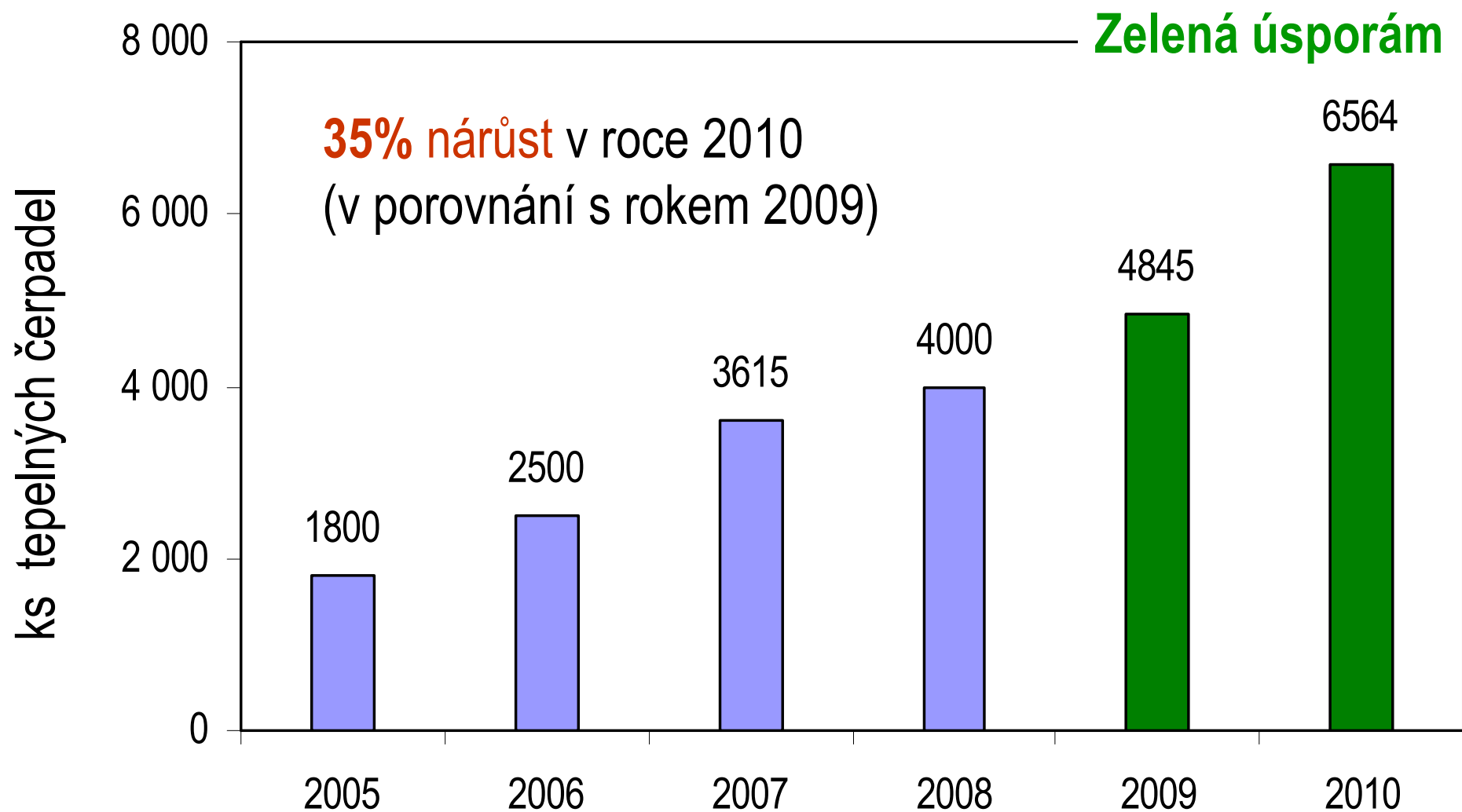
- energetické stěny, střechy
- využití slunečního záření, energie vzduchu, kondenzace vlhkosti





Trh tepelných čerpadel

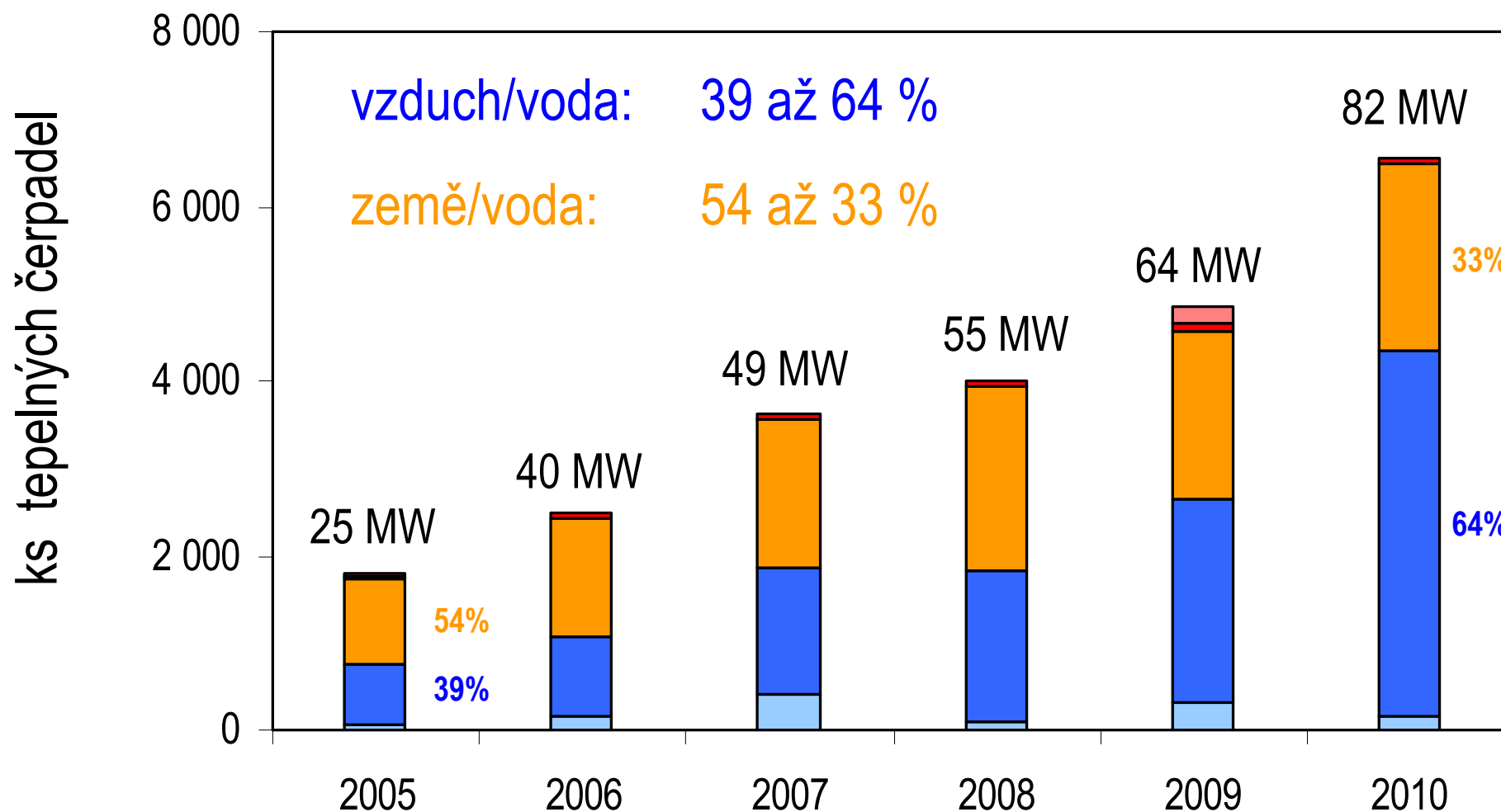
zdroj: Bufka, MPO





Trh tepelných čerpadel

zdroj: Bufka, MPO





Tepelná čerpadla - statistika 2010

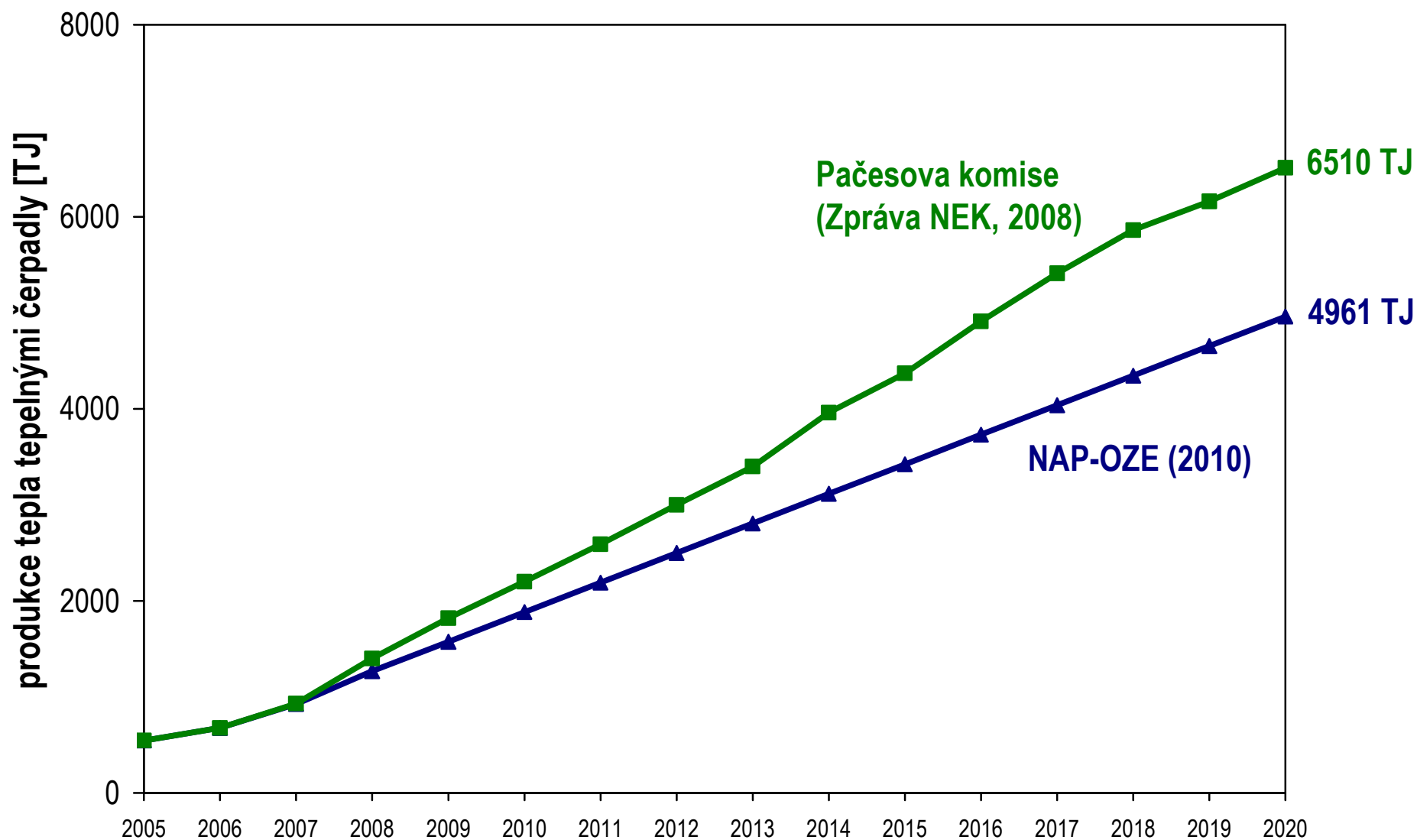
zdroj: Bufka, MPO

■ Trh	počet	výkon
■ vzduch/vzduch	118 ks	621 kW
■ vzduch/voda	4212 ks	52 282 kW
■ země/voda	2150 ks	27 078 kW
■ voda/voda	74 ks	1 898 kW
■ jiné	10 ks	17 kW
■ Odběratelé provozující tepelná čerpadla (tarify C55, D55, C56, D56)		
■ domácnosti	23 500 ks	
■ firmy	1260 ks	

Celkem instalováno 350 MW_t, tj. cca 1900 TJ (odhad)



Tepelná čerpadla - výhled





Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Technická 4, Praha 6

tomas.matuska@fs.cvut.cz

<http://www.fsid.cvut.cz/~matustom>