3 NEPŘÍMÝ ZÁSOBNÍKOVÝ OHŘEV TV

Při nepřímém zásobníkovém ohřevu se TV ohřívá z topného zdroje přenosem tepla teplonosnou látkou. Nepřímý ohřev je klasickým způsobem ohřevu, který je nejběžněji a nejčastěji užíván. Za teplonosnou látku slouží otopná voda, méně často pára. Teplotní a tlakové parametry otopné vody závisí na použitém topném zdroji. Topným zdrojem může být kotel, alternativní zdroj nebo výměník s připojením na CZT.

3.1 ZÁSADY NÁVRHU ZÁSOBNÍKOVÉHO OHŘEVU

Platí obecně známé pravidlo, že nerovnoměrnost mezi dodávkou tepla a odběrem tepla je vyrovnána zásobníkem.
V době, kdy zdrojem tepla byl obtížně regulovatelný kotel na tuhá paliva, bylo používání zásobníkového ohřívače TV (ZTV) dokonce nutnou podmínkou při přípravě TV.
Zjednodušeně navrhujeme objem zásobníkového ohřívače TV na špičkovou spotřebu TV v určitém intervalu. Příslušným objemem zásobníkového ohřívače TV, podle výkonu zdroje, se ohřívá voda v určitém časovém intervalu. Větším výkonem zdroje se interval ohřevu zkracuje, objem zásobníku se zmenšuje a naopak.
Zásobníkový ohřev TV se navrhuje zejména, je-li:

- nerovnoměrný odběr TV během dne,
- nedostatečný výkon zdroje (kotle) na pokrytí špičkového odběru TV,
- malá regulační schopnost zdroje (kotle) pokrývat výkonem minimální až maximální odběr TV,
- kombinovaný zdroj tvořený, např. z nerovnoměrného a občasného tepla, např. od solárních kolektorů, je doplněný trvale dispozičním zdrojem, např. na plynná, kapalná paliva či elektrickou energii,
- dispoziční zdroj pro časově vymezený úsek dne, např. elektrický ohřev během nočního nízkosazbového odběru

Značení – symbolika v dalších odstavcích
Ve výpočtech se označuje:
Q – tepelný výkon (W, kW)
E – množství tepla v časovém úseku (Wh, kWh)
V_t – objem vody v zásobníkovém ohřívači TV (l)
E_t – množství tepla v zásobníkovém ohřívači TV (ve vodě ohřáté na 55 °C) (Wh, kWh)
Dále používané indexy u veličin značí:
D – dodané teplo či výkon pro odběr teplé vody
O – odebrané teplo či výkon v teplé vodě

3.2 PRINCIP ZÁSOBNÍKOVÉHO OHŘEVU TV

U nepřímého ohřevu TV jsou sledovány především tyto parametry:

- velikost teplosměnné plochy A topné vložky zásobníku,
- výkon topné vložky Q_{VL},

- střední teplota otopné vody t_{wm},
- teplota ohřívané vody t_v,
- součinitel prostupu tepla stěny topné vložky k_v,
- objem ohřívané vody v zásobníkovém ohřívači TV.

Stanovení výpočtových parametrů – příklad podle obr. 3.1
Výkon zdroje (kotle) pro PTV: zvoleno Q_s = 30 kW
Výkon topné vložky se stanoví ze vztahu:

$$Q_{VL} = A \cdot \mu \cdot k \cdot (t_{wm} - t_{vm}) \qquad \text{(W)} \qquad (3.1)$$

kde A	je	teplosměnná plocha topné vložky	(m^2)
μ		součinitel inkrustace na povrchu výměníku (voleno 0,8)	(-)
k		součinitel prostupu tepla topné vložky (u trubkového výměníku může být 200 až 1000 W/m^2K) – voleno 400 W/m^2K	(W/m^2K)
t_{wm}		střední teplota otopné vody protékající topnou vložkou (při zvoleném teplotním spádu 75/60 °C je t_{wm} = 67,5 °C)	(°C)
t_v		teplota ohřívané vody v okolí topné vložky (při začátku ohřevu t_v = 10 °C, při konci ohřevu t_v = 55 °C)	(°C)
t_{vm}		střední teplota ohřívané vody v zásobníku (při ohřevu z 10 na 55 °C je t_{vm} = 32,5 °C)	(°C)

3.2.1 Příklad návrhu zařízení ohřevu TV (obr. 3.1)

Schéma výpočtového příkladu je na obr. 3.1.
Označení veličin odpovídá zažité technické praxi.

Výkon topné vložky = Výkon kotle

$$Q_{VL} = Q_S = 30\ kW$$

Po dosazení z předchozího vztahu (3.1):

$$30 = A \cdot 0{,}85 \cdot k \cdot (67{,}5 - 32{,}5)$$

Teplosměnná plocha topné vložky se stanoví z předchozího vztahu podle požadovaného výkonu:

$$A = \frac{Q}{k.\mu.(t_{wm} - t_{vm})} \qquad (m^2) \qquad (3.2)$$

Po dosazení:

$$A = \frac{30000}{400.0{,}8.35} = 2{,}7\ m^2$$

Dodávka tepla z kotle do zásobníkového ohřívače TV určuje dopravní množství oběhového čerpadla a stanoví se ze vztahu:

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{c \cdot \Delta t} = \frac{30000}{1{,}163 \cdot 15} = 1720\ \frac{l}{h} = 0{,}48\ \frac{l}{s} \qquad (3.3)$$

kde $c = 1{,}163\ Wh/kgK$ je měrná tepelná kapacita vody
Δt teplotní spád otopné vody (75 – 60 °C)

Objem ZTV je zvolen V = 600 l.

Obsah tepla v ZTV se stanoví ze vztahu:

$$E_t = V \cdot c \cdot (t_{TV} - t_s) \qquad \text{(Wh)} \qquad (3.4)$$

kde t_{TV} je teplota ohřívané TV v ZTV (55 °C)
t_s teplota studené vody (10 °C)

Po dosazení:
E_t = 600 . 1,163 . (55 – 10) = 31 400 Wh
Doba ohřevu se stanoví ze vztahu:

$$\tau = \frac{E_t}{Q_{VL}} \qquad \text{(h)} \qquad (3.5)$$

Po dosazení:

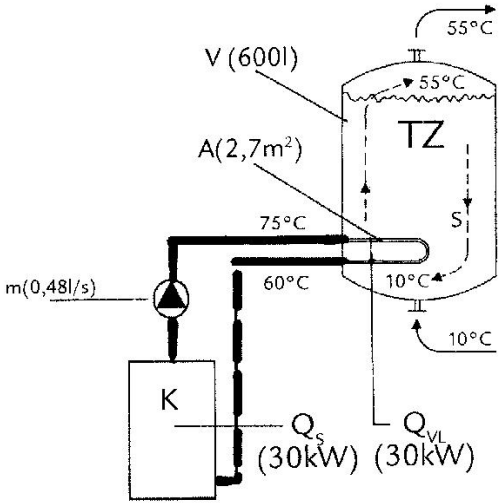
$$\tau = \frac{31400}{30000} = 1{,}046\ h = 1\ h\ 4\ min$$

Objem zásobníku se stanoví ze vztahu:

$$V = \frac{Q_s \cdot \tau}{c \cdot (t_{TUV} - t_s)} \qquad \text{(l)} \qquad (3.6)$$

Po dosazení:

$$V = \frac{30000 \cdot 1{,}046}{1{,}163 \cdot (55 - 10)} = 600\ l$$



Obr. 3.1 – Výpočtové parametry nepřímého zásobníkového ohřevu vody
Legenda: K – kotel; TZ – zásobníkový ohřívač TV; Q_S – výkon kotle; Q_{VL} – výkon topné vložky; A – teplosměnná plocha; V – objem zásobníkového ohřívače TV

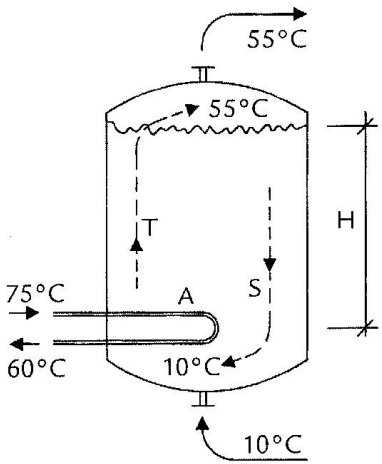
3.2.2 Princip předání tepla v zásobníkovém ohřívači TV

V zásobníkovém ohřívači TV se studená voda ohřívá přívodem otopné vody do topné vložky. Výstup TV je v nejvyšším místě ZTV. Studená voda v ZTV, např. s teplotou 10 °C, se ohřívá v okolí topné vložky teplosměnnou plochou A, která je tvořena svazkem trubek přímého nebo spirálového tvaru.
Vyšší prostup tepla stěnou topné vložky je dán:

- větší velikostí teplosměnné plochy (A),
- vysokou vodivostí materiálu stěny topné vložky (λ),
- nízkou tloušťkou stěny výměníku (s),
- vyšší rychlostí proudění podél stěn vložky – vyšší součinitel přestupu tepla α,
- vyšší výškou zásobníku nad topnou vložkou (H).

Podle obr. 3.2 ohřívaná voda proudí vzhůru pod strop ZTV, proudnicí označenou písmenem T, nad topnou vložkou.
Mimo topnou vložku klesá chladnější voda pod úroveň topné vložky, jak ukazuje proudnice s označením S.
Tak jak přibývá TV v horní části zásobníku, snižuje pomyslná mezní hladina mezi teplou a studenou vodou:

- výšku H pro konvekci,
- rychlost proudění ohřívané vody podél otopné vložky,
- součinitel přestupu tepla α podél topné vložky,
- teplotní rozdíl mezi střední teplotou otopné vody a teplotou ohřívané vody u topné vložky,
- výkon topné vložky.



Obr. 3.2 – Princip konvekce při zásobníkovém ohřevu
Legenda: T – teplejší voda; S – chladnější voda; A – teplosměnná plocha topné vložky

3.3 STANOVENÍ VÝKONU A DOBA OHŘEVU

3.3.1 Průběh odběru TV

Při návrhu zásobníkového ohřevu se velmi často vychází z průběhu denního odběru TV. Průběh denního odběru (odběr během 24 h), tvořící 1 odběrovou periodu, může být různý. Odlišuje se odběr v periodě pracovního dne od periody svátků nebo pracovního volna, prázdnin a nebo se liší odběr letní od zimního. Většinou se při návrhu zásobníkového ohřevu uvažuje nejnepříznivější stav odběru z hlediska vytvoření odběrových špiček. Extrémně nepříznivé špičky odběru určují parametry pro návrh vlastního zařízení, tj. zásobníkového ohřívače TV, topné vložky, výkonu kotle a provozní schopnosti v době ohřevu.
Podle účelu budovy a režimu využívání, je odběr TV během dne nerovnoměrný.
V občanských budovách podle účelu a doby užívání, pracovní doby, je odběr více nebo méně rovnoměrný a v době mimo čas užívání a v době noční je téměř nebo zcela nulový.
V budovách pro ubytování dochází v době večerního umývání k odběrové špičce a v době noční je pak odběr minimální.
U bytových domů je odběr velmi nerovnoměrný. V závislosti na pracovních nebo svátečních dnech vykazuje odběr charakteristickou křivku s velikostí průtokových množství TV podle počtu připojených bytů.

a) Režim nabíjení
Z hlediska výkonové možnosti zdroje a podle doby trvání provozu zdroje můžeme rozdělit způsob nabíjení zásobníkového ohřívače TV na režim:

- plynulý, se stálým výkonem – nastává v případě plynulého ohřevu v intervalu, který se neopakuje během periody (24 h). Voda je v tomto jediném intervalu ohřátá pro celodenní odběr,
- plynulý s proměnou výkonu, kdy se, shodně s předchozím, voda ohřívá v jednom intervalu během periody s tím, že při dokončování nabíjení zásobníkového ohřívače TV se výkon snižuje. Je to v důsledku nižšího rozdílu mezi teplotami otopné vody a ohřívané TV, která má na konci nabíjení u výměníku vyšší teplotu než původní studená voda. Dále je to v důsledku nižší konvekce ohřívané vody podél topné vložky, neboť s postupem ohřívání vody v zásobníku se konvekce snižuje,
- přerušovaný se stálým nebo proměnným výkonem – nastává v případě, že během odběrové periody je voda v zásobníku několikráte vyměněna a znovu se ohřívá.

Plynulý nebo přerušovaný provoz ohřevu TV závisí na používaném typu zdroje a jeho regulačních schopnostech. U většiny topných zdrojů se volí přerušovaný provoz z důvodů běžně používaných vyšších výkonů kotlů. Proměnnost nebo stálost výkonu v průběhu nabíjecího intervalu závisí naopak na regulačních schopnostech zásobníkového ohřívače TV. U většiny zásobníkových ohřívačů se nepoužívá vypínací teploměr (nad hladinou, která je výše než je topná vložka) a proto se v závěrečné fázi nabíjení dodávaný výkon snižuje a teplota vratné vody se zvyšuje.

b) Doba nabíjení zásobníkového ohřívače TV

Doba nabíjení zásobníkového ohřívače TV závisí zejména na:

- výkonu topného zdroje, tedy na jeho dispozičním výkonu,
- na průběhu odběru TV, na plynulosti nebo nárazovosti odběru TV v průběhu periody,
- na hygienickém hledisku, závislém na době zdržení vody v zásobníkovém ohřívači TV (vznik bakterie Legionella),
- regulačních schopnostech zařízení, zejména topného zdroje, tj.:
  - regulaci výkonu zdroje při ohřevu, např. při rozdílnosti výkonu v letním a zimním provozu kotelny,
  - regulaci doby provozu u automatických kotlů s přetlakovým hořákem, kdy je přerušení dodávky tepla okamžité na rozdíl od klasických podtlakových kotlů na tuhá paliva, u nichž je doba ohřevu dána minimálním efektivním časem po uvedení kotlů do provozu,
- technických parametrech používaných výrobků od různých firem, např. u zásobníkových ohřívačů na dodávané velikosti topné vložky.

3.3.2 Grafické vyjádření odběru tepla v teplé vodě (TV)

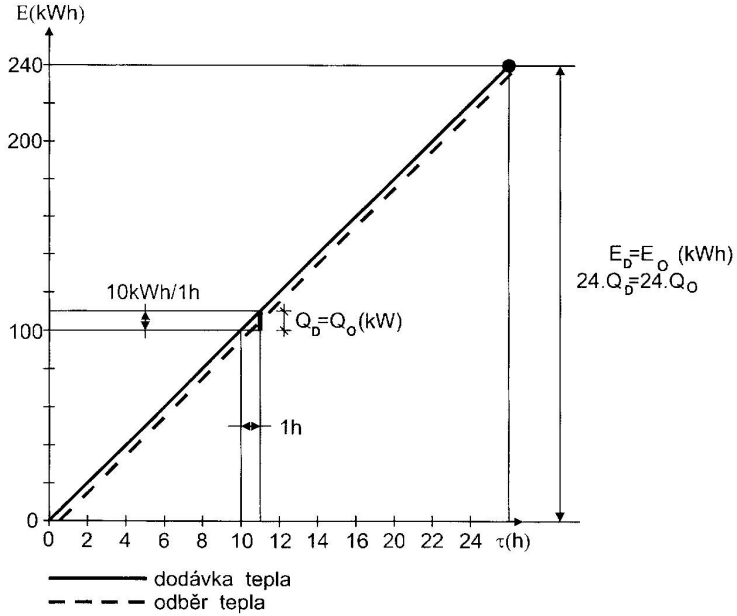
a) Teoretický rovnoměrný odběr (obr. 3.3)

Nejlépe se určuje velikost dodávaného i odebíraného tepla na přípravu TV v časové závislosti, jak je naznačeno na obr. 3.3. Během časové periody, vyznačené na ose x dobou 24 hodin se stupnicí 1h, se od 0 h vyznačí na y-ové pořadnici průběh odebíraného tepla, obsaženého v TV. Přímka průběhu odebíraného tepla je vyznačena plnou čarou.

Pro zjednodušenou představu je na obr. 3.3 naznačen rovnoměrný odběr TV během celého dne, tedy po dobu 24 hod.. Simuluje nám to ideální stav, kdy spotřebujeme stálé množství vody, např. u technologie, na jejíž ohřátí potřebujeme za 1 hodinu např. 10 kWh tepla a z toho tedy výkon na ohřátí (Q_D) je roven výkonu v odebrané TV (Q_o) a platí: $Q_D = Q_O = 10\ kW$.

Za 24 hodin je pak celkové dodané teplo (E_D) rovno odebranému teplu (E_O) a platí:

$$E_D = E_O = 24 \cdot Q_D = 24 \cdot Q_O = 24 \cdot 10 = 240\ kWh$$



Obr. 3.3 – Graf rovnoměrného průběhu odběru a dodávky tepla pro přípravu TV po dobu 24 h
Legenda: Q_D – dodávaný výkon; Q_O – odebíraný výkon; E_D – dodávané teplo za 24 h; E_O – odebrané teplo za 24 h

b) Doporučený průběh odběru tepla v TV podle ČSN 06 0320 (obr. 3.4)

Pro bytové domy je doporučována odběrová křivka ve tvaru, jaký uvádí obr. 3.4. Do stupnice křivky denního odběru tepla 240 kWh byl průběh odběru tepla rozdělen (shodně s obr. 3.3) na:

Časový úsek	**V době od/do (*h*)**	**Celkem hodin**	**Výkon Q_O (kW)**	**Odběr tepla E_o (kWh)**
1	0 až 17	17	2,5	42,5
2	17 až 20	3	52,5	157,5
3	20 až 24	4	10	40
Celkem	0 až 24	24	-	240

Průběhy odběru tepla na přípravu TV neuvažují s tepelnou ztrátou z cirkulace vody v rozvodech.

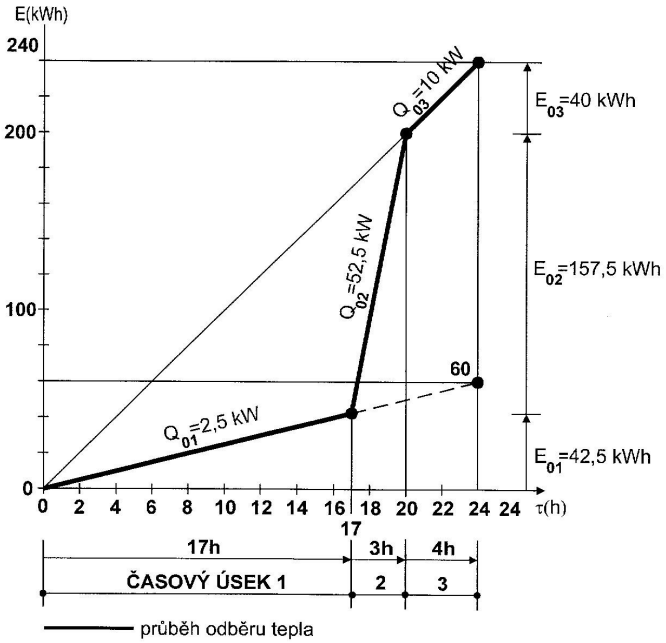
3.3.3 Dodávka tepla a velikost zásobníku

a) Dodávka tepla bez zásobníku (obr. 3.4)

V případě, že výkon zdroje by byl plynule regulovatelný, pro náš případ podle obr. 3.4, v mezích regulovatelnosti výkonu od 2,5 kW do 52,5 kW, pak teoreticky by pokrýval přesně odběr tepla tak, jak je uveden na obr. 3.4. Znamená to, že by výkon zdroje byl:

v úseku 1 Q_{D1} = 2,5 kW
v úseku 2 Q_{D2} = 52,5 kW
v úseku 3 Q_{D3} = 10 kW

Takto by byla poryta přesně spotřeba tepla v jednotlivých úsecích 1 až 3 v průběhu dne. Zdálo by se, že z diagramu na obr. 3.4 lze navrhnout ohřev TV bez zásobníku, tedy průtokový ohřev. To je však hrubý omyl, neboť při návrhu velikosti kotle i pro největší výkon, který vychází v úseku 2 (Q_{D2} = 52,5 kW) bude kotel hluboce poddimenzován. Výkon pro průtočný ohřev nelze provádět ze zjednodušeného hodinového odběru TV, resp. hodinového odběru tepla. Pro stanovení výkonu při průtokovém ohřevu TV je nutné vycházet ze vteřinového špičkového odběru TV.



Obr. 3.4 – Příklad grafu odběru tepla u bytového domu
Legenda: Q_{Oi} – odebíraný výkon v i-tém úseku; E_{Oi} – odebírané množství tepla v i-tém úseku (i = 1, 2, 3 - časový úsek)

b) Konstantní dodávka tepla v průběhu dne (obr. 3.5)

Na základě předchozího obr. 3.4 je naznačeno na obr. 3.5 řešení, které je někdy převzato zjednodušeně z normových doporučení pro návrh zásobníkové přípravy TV. Ohřev je řešen konstantním výkonem, např. Q_D = 10 kW po celých 24 hodin s tím, že čára odběru tepla nepřevyšuje čáru konstantní dodávky tepla.

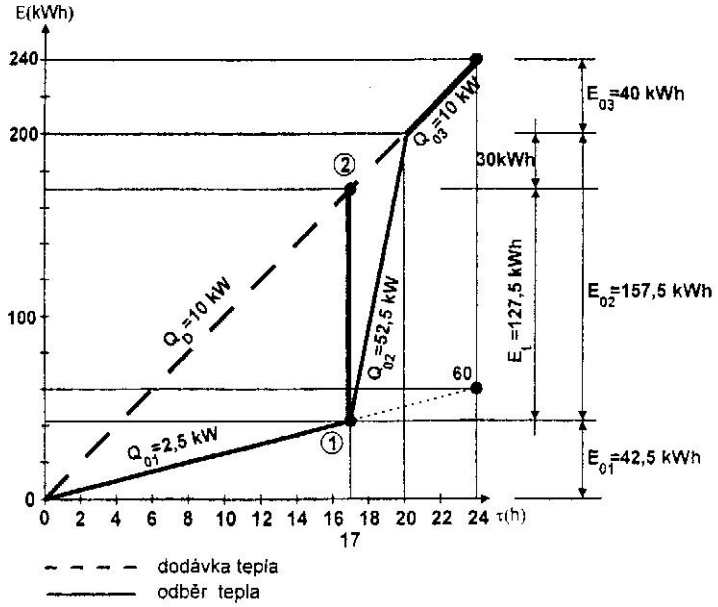
V úseku 1, kde je odběr tepla v konstantním výkonu Q_{O1} = 2,5 kW, se dodané teplo výkonem 10 kW musí ukládat do vody v zásobníkovém ohřívači TV.

Množství vody v zásobníkovém ohřívači TV musí být takové, aby za každou hodinu po dobu 0 až 17 hodin bylo schopné přijmout tepelný výkon 7,5 kW, tj. rozdíl výkonů (10 – 2,5).

V 17 hodin na konci úseku 1 bude v zásobníku uloženo množství tepla:

$$E_t = 17 \cdot 7{,}5 = 127{,}5\ kWh$$

Výška úsečky od bodu 1 do bodu 2 v grafu na obr. 3.5, tj. od čáry odběru k čáře dodávky tepla v 17 hodin, toto množství tepla jasně vymezuje. V zásobníku je naakumulované teplo pro pokrytí zvýšeného odběru vody v časovém úseku 2 (od 17 do 20 h), kdy se zároveň dodává teplo přes zásobník k přímému odběru Q_D = 10 kW.



Obr. 3.5 – Příklad rovnoměrné dodávky tepla s výkonem 10 kW na ohřev TV podle odběru tepla z obr. 3.4

Legenda: E_t – množství tepla v zásobníkovém ohřívači TV; Q_{Oi} – odebíraný výkon v i-tém úseku, E_{Oi} – odebírané množství tepla v i-tém úseku (i = 1, 2, 3 - časový úsek)

Z obr. 3.5 je patrné, že pro daný tvar „odebíraného tepla“ v teplé vodě (vyznačeno silně plnou čarou) dodáváme teplo topným zdrojem (vyznačeno čárkovanou čarou) s rovnoměrným výkonem 10 kW po dobu celé periody.
Největší svislý úsek vymezený čárami dodávky a odběru tepla stanovuje obsah tepla, uložený do teplé vody v zásobníkovém ohřívači TV. V daném případě při rovnoměrném výkonu během periody vychází:

- nejmenší možný výkon,
- největší možný obsah tepla v zásobníkovém ohřívači TV (největší délka úseku 1-2),
- nejdelší doba ohřevu v zásobníkovém ohřívači TV (vychází doba 17 h).

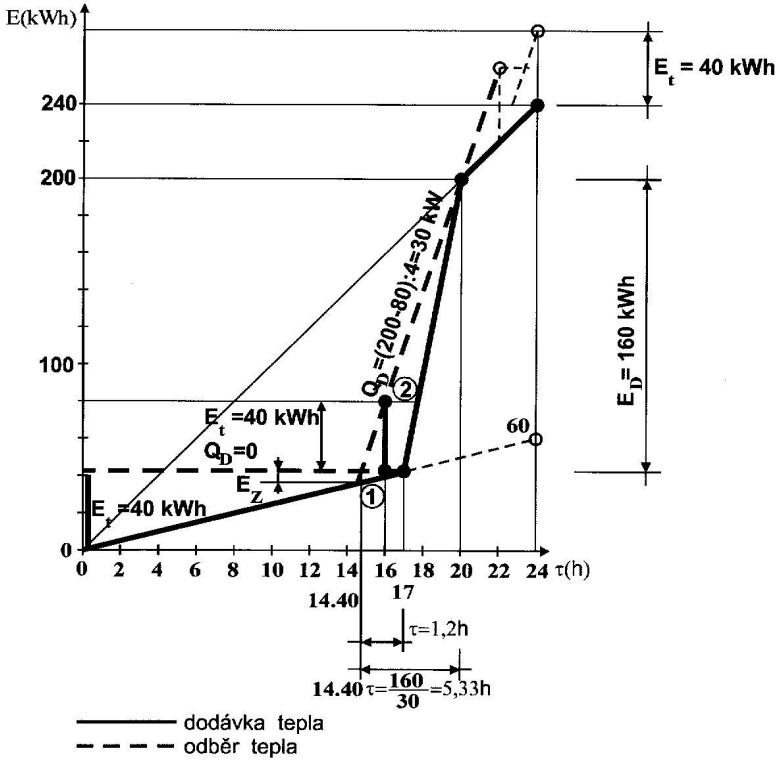
Takový ohřev s malým rovnoměrným výkonem a velkým objemem zásobníku je použitelný např. u alternativních zdrojů (u TČ nebo solární energie), ale rozhodně jej nelze užívat u standardních kotlů s automatickou regulací.

c) Přerušovaná dodávka tepla ze zdroje o výkonu 30 kW (obr. 3.6)

Zvolíme-li pro stejný průběh odběru tepla na přípravu TV tak, jak ukazuje obr. 3.4, zásobníkový ohřívač TV s přibližně třetinovým obsahem tepla, je logické, že musíme pro ohřev vody v zásobníku, sloužícímu pro odběrovou špičku v časovém úseku 2, zajistit vyšší výkon zdroje.
Pro instruktivnost byl zvolen zásobník s tepelným obsahem E_t = 40 kWh.
Zidealizujeme opět pro přehlednost, že tento zásobník v čase 0 (na počátku časové osy) je zplna nabit teplem z doby před 24 - tou hodinou.
V průběhu prvního časového úseku odběru je zásobník vybíjen výkonem Q_O = 2,5 kW až do bodu 1 – průniku vodorovné přímky E_t = 40 kW s přímkou odběru. Dochází k tomu v 16 h, kdy zásoba tepla E_t je ze zásobníku teoreticky odebrána. Má-li zásobník sloužit k tomu, aby zásoba tepla se právě ve 20 h spotřebovala, musí čára dodávky tepla být jednoduše dána výkonem:

$$Q_D = (200 - 80) : 4 = 30\ kW$$

Nabíjení zásobníku tímto výkonem musí nutně být v předstihu před 16 h. Počátek nabíjení určí např. teploměr v zásobníkovém ohřívači TV v závislosti na dosažení hladiny teploty, např. při 55 °C, kdy v zásobníku zůstává tepelný obsah E_Z. Na diagramu v obr. 3.6 je velikost svislé úsečky E_Z vyznačena pod průnikem v bodě 1.
Topný zdroj s výkonem 30 kW nabíjí zásobník, při současném odběru, po dobu 5 h 20 min, tj. od 14 h 40 min do 20 h, kdy je ze zásobníku odebráno veškeré teplo.
Po 20té hodině není další dobíjení zásobníku při současném odběru TV pro komplikovanost s výkladem řešeno.



Obr. 3.6 – Příklad přerušované dodávky tepla s výkonem Q_D = 30 kW (obsah tepla v zásobníku 40 kWh)
Legenda: E_t – obsah tepla v zásobníkovém ohřívači TV; E_D – dodávané teplo na ohřev TV v době od 16 do 20 h

3.4 VOLBA VELIKOSTI ZÁSOBNÍKOVÉHO OHŘÍVAČE TV

a) Volba velikosti ZTV u konstantní plynulé dodávky tepla (obr. 3.7A)

Při malém výkonu topného zdroje se naplňuje teplem velký objem zásobníku, jak vyplývá z obr. 3.5.
K nevýhodám velkých objemů zásobníkových ohřívačů patří cena materiálu, tepelná izolace, vyšší tepelné ztráty, složitější doprava, montáž, dispoziční problémy, zatěžování konstrukcí, hygiena vody atd.
Malý výkon k ohřívání TV je mnohdy jen těžko zajistitelný. Na obr. 3.7A je ukázka vazby zdroje malého výkonu k velkoobjemnému zásobníku při malé teplosměnné ploše v zásobníku – rovněž o malém výkonu. Systém malého výkonu zdroje a velkého objemu zásobníku je použitelný u zdrojů, u kterých je výhodná trvalá dodávka tepla,

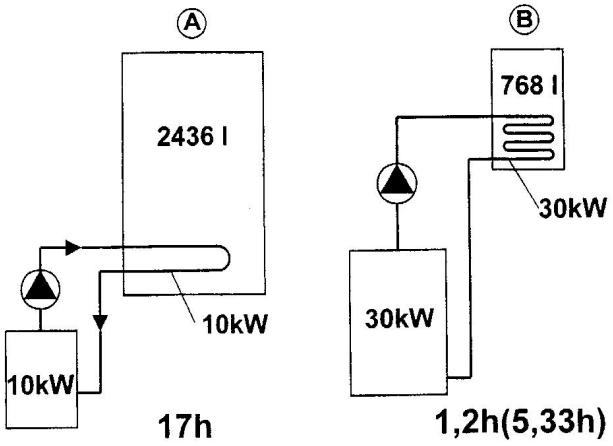
např. u alternativních zdrojů. U elektrického akumulačního ohřevu vody s malým výkonem se tento systém používá pro nabíjení tepla do ZTV, nejčastěji v době od 22 h do 6 h ráno.

b) Volba zásobníkového ohřívače TV s malým objemem a přerušovanou dodávkou tepla o vyšším výkonu (obr. 3.7B)

Už při používání obtížně regulovatelných kotlů na tuhá paliva se prováděl návrh výkonu pro ohřev vody v zásobníku na dvou až tříhodinovou dobu pro nabíjení. S používáním automaticky regulovaného provozu kotlů na ušlechtilá paliva se doba pro nabíjení zásobníků zkracuje a doporučuje se půlhodinová až dvacetiminutová doba pro ohřev vody v zásobníku.

Výhodnost přípravy TV v malých zásobníkových ohřívačích s teplosměnnou plochou o vysokém výkonu se uplatňuje především při paralelním zapojení zásobníkového ohřevu TV s vytápěním. Při návrhu kotle (kotlů) sloužícího (sloužících) pro vytápění i přípravu TV je nutné posuzovat, podle regulační schopnosti kotle (kotlů), provoz v letním období, kdy slouží pouze pro přípravu TV. Např. jeden kotel s atmosférickým hořákem s výkonem 50 kW jen ztěží může v létě plynule ohřívat vodu v zásobníku při odebíraném výkonu 10 kW, jak by nám vyšlo podle diagramu na obr. 3.4 a 3.5.

Při dostatečném výkonu kotle, který máme na přípravu TV, se křivky dodávky a odběru tepla v úseku 2 mohou k sobě přiblížit (obr. 3.6) nebo jsou totožné. Přesto je nutné mít k dispozici zásobník, neboť se nebude jednat o průtokový ohřev.



Obr. 3.7 – Schéma zásobníkového ohřevu TV ze zdroje
Legenda: A - Rovnoměrná dodávka tepla v průběhu dne s malým výkonem – podle diagramu na obr. 3.5; B - Přerušovaná dodávka tepla s větším výkonem – podle diagramu na obr. 3.6

3.5 VOLBA VELIKOSTI ZÁSOBNÍKOVÉHO OHŘÍVAČE TV PŘI KOMBINACI PŘÍPRAVY TV S VYTÁPĚNÍM

3.5.1 Zásady paralelního a střídavého provozu

Při nepřímém ohřevu TV je možné využívat kotel pro přípravu TV, v jeho provozních přestávkách, na vytápění a naopak.
Při snižování doby ohřevu TV a zvyšování výkonu pro nabíjení zásobníku se záměnnost provozu vytápění a přípravy TV přímo nabízí.
U plynového vytápění, kde je programově uvažováno se střídáním provozu přípravy TV s vytápěním, se doba nabíjení zásobníku obvykle zkracuje pod 20 až 30 minut.
Střídání provozu kotlů, buď pro vytápění nebo pro přípravu TV, se dá využít zejména při:

- vyšším instalovaném výkonu kotlů na vytápění,
- relativně krátkém intervalu špičkového odběru TV.

U systému s přípravou TV se společným zdrojem pro vytápění, je nutné posoudit volbu velikosti kotlů (jejich výkonů) z hlediska:

- zimního provozu, kdy je v provozu vytápění dimenzováno na jmenovitý výkon kotlů, nejčastěji na venkovní výpočtovou teplotu (-12, -15, -18 a -21 °C),
- letního provozu, kdy vytápění je mimo provoz a kotle jsou využívány pouze pro přípravu TV.

3.5.2 Zadání pro příklady variant výkonu a velikosti zásobníku

Pro výpočet velikosti zásobníku, doby ohřevu a možnosti záměnnosti zdrojů pro přípravu TV a vytápění jsou navrženy následující vstupní parametry.
Parametry přípravy TV jsou:

- průběh denního odběru – zvolen průběh pro bytové domy, jak jej uvádí ČSN 06 0230,
- denní potřeba tepla pro přípravu TV, zvolena hodnotou E = 240 kWh/den,
- teplota ohřívané vody – přívodní studená voda do zásobníku t_s = 10 °C, vystupující teplá voda ze zásobníku, ohřátá na teplotu t_{TV} = 55 °C.

Parametry pro vytápění:

- výkon pro vytápění je navržen:
  - při jmenovitých hodnotách, tj. při výpočtové teplotě t_e = -15 °C je Q_{Vi} = 75 kW,
  - při minimálním regulovaném výkonu je $Q_{Vt} = 0{,}5 \cdot 75 = 37{,}5$ kW ,
- pro všechny alternativy jsou použity maximálně dva kotle v součtu pro vytápění i pro přípravu TV.

3.5.3 Příklad 1 - Trvalý ohřev TV během celého dne (obr. 3.8 a obr. 3.9)

a) Výpočet zařízení (obr. 3.8)

Na obr. 3.8 jsou podle metodiky uvedené v ČSN 06 0320 výkon kotle pro ohřev TV a z toho velikost zásobníkového ohřívače TV a doba ohřevu řešeny grafickou metodou. Z obr. 3.8 je patrné, že:

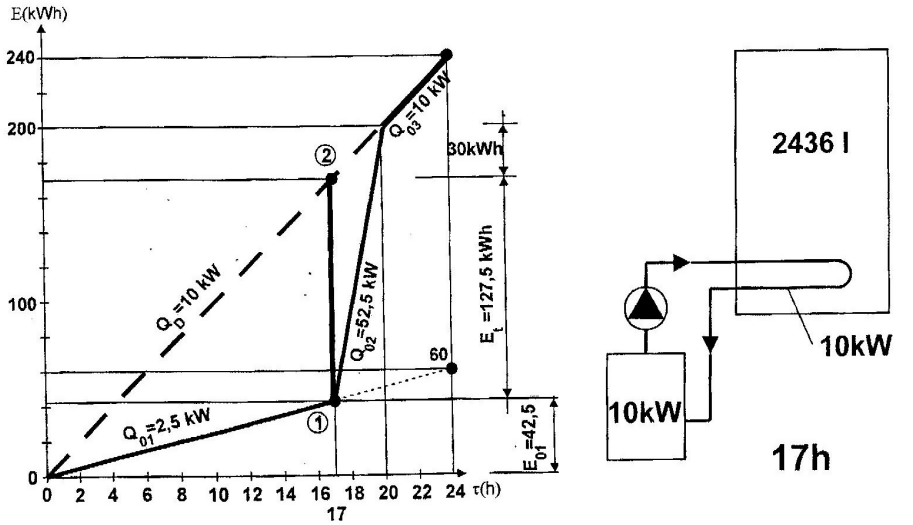
- nejvyšší odběr tepla pro ohřev TV, tvořící špičku odběru, je v časovém intervalu od 17 do 20 hodin. Pro toto období vychází tepelný obsah nutný pro dodání tepla do zásobníkového ohřívače TV: E_t = 127,5 kWh,
- zvolený interval ohřevu TV pro dodání tepla do TV je 17 hodin (v době od 0 h až do 17 h),
- výkon pro přípravu TV, při konstantní plynulé dodávce tepla po dobu 1 periody (24 h), se stanoví ze vztahu:

$$Q_D = \frac{E}{24} = \frac{240}{24} = 10\ kW$$

kde E je denní odběr tepla pro přípravu TV, stanovený podle účelu budovy (kWh)

- množství tepla dodaného do zásobníkového ohřívače TV je E_t = 127,5 *kWh*
- velikost užitného obsahu zásobníkového ohřívače TV se stanoví dosazením do vztahu:

$$V_t = \frac{E_t}{c_v \cdot (t_{TUV} - t_s)} = \frac{127500}{1{,}163 \cdot 45} = 2436\ l$$



Obr. 3.8 – Grafické stanovení velikosti výkonu a objemu zásobníkového ohřívače TV při plynulém konstantním ohřevu TV s výkonem 10 kW

b) Návrh zařízení (obr. 3.9)

Pro přípravu TV je navržen kotel K1:

- s výkonem 10 kW,
- který pracuje trvale s výkonem 10 kW po celou periodu odběru, tj. 24 hodin.

Pro vytápění je navržen kotel K2:

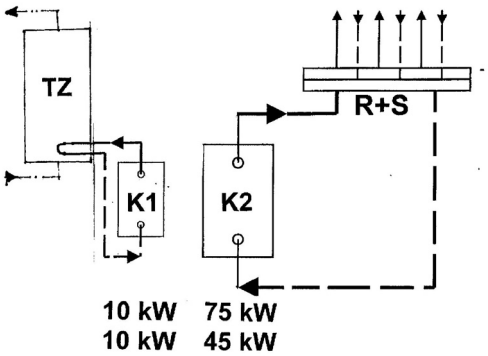
- s instalovaným výkonem Q_{Vi} = 75 kW,
- který může plynule regulovat výkon až do 50 %, tj. Q_{Vt} = 37,5 kW.

c) Propojení provozu vytápění s přípravou TV

Vzájemné propojení kotlů je nereálné, neboť:
- kotel pro přípravu TV má trvalý provoz během celé periody odběru (24 h),
- výkon kotle pro přípravu TV je 13,3 % jmenovitého výkonu kotle pro vytápění.

Vzájemná záměnnost kotlů je tedy nereálná, neboť kotel s malým výkonem pro přípravu TV nelze použít pro vytápění (minimální výkon pro vytápění je 0,2 . 75 = 15 kW) a kotel pro velký výkon na vytápění nelze použít pro malý výkon pro přípravu TV.

Zvolený způsob přípravy TV s ohřevem vody v zásobníku po dobu 17 hodin je pro nepřímý ohřev z plynového kotle nepoužitelný.



Obr. 3.9 – Napojení zdroje pro vytápění a přípravu TV podle grafického výpočtu z obr. 3.8

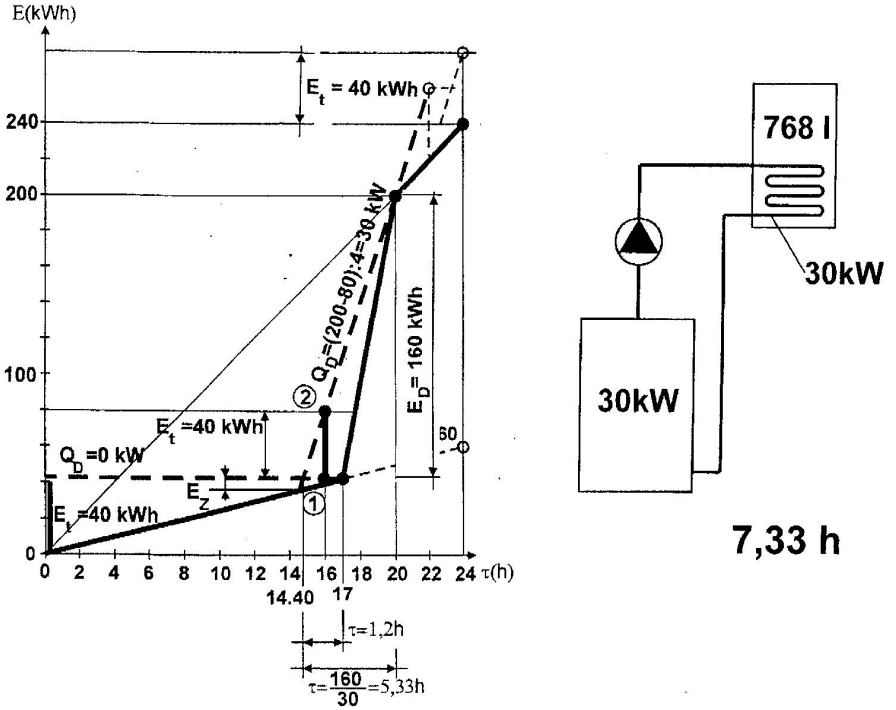
3.5.4 Příklad 2 - Přerušovaný ohřev TV s použitím kotle s výkonem 30 kW (obr. 3.10 a obr. 3.11)

a) Výpočet zařízení (obr. 3.10)

Na obr. 3.10 jsou podle metodiky uvedené v ČSN 06 0320 výkon kotle pro ohřev TV a z toho velikost zásobníkového ohřívače TV a doba ohřevu řešeny grafickou metodou. Z obr. 3.10 je patrné, že:
- nejvyšší odběr tepla pro ohřev TV, tvořící špičku odběru, je v časovém intervalu od 17 do 20 hodin. Pro toto období byl navržen tepelný obsah nutný pro dodání tepla do zásobníkového ohřívače TV: E_t = 40 kWh,
- zvolený interval ohřevu TV – dodání tepla do zásobníkového ohřívače TV je od 16 hodin do 20 hodin, tj. 4 hodiny,

- výkon pro přípravu TV se stanoví ze vztahu:
  $Q_D = (200 - 80) : 4 = 30\ kW$
- množství tepla dodaného do zásobníkového ohřívače, vychází podle obr. 3.10:
  $E_t = 40\ kWh$
- velikost užitného obsahu zásobníkového ohřívače se stanoví dosazením do vztahu:

$$V_t = \frac{E_t}{c_v \cdot (t_{TUV} - t_s)} = \frac{40000}{1{,}163 \cdot 45} = 764\ l$$



Obr. 3.10 – Grafické stanovení velikosti výkonu a objemu zásobníkového ohřívače TV při přerušovaném ohřevu TV s výkonem 30 kW

b) Návrh zařízení (obr. 3.11)

Pro přípravu TV je navržen kotel K1:

- s výkonem 30 kW,
- s nejdelší dobou provozu kotle 5,33 hodin (v intervalu od 14 do 20 h) a následně 2 hodiny (v intervalu od 20 do 22 h), celkem 7,33 hodin,
- se jmenovitým výkonem pro přípravu TV, tvoří 40 % jmenovitého výkonu kotle pro vytápění,

- s nejmenším výkonem pro plynulý provoz do 50 % jmenovitého výkonu, tj. 15 kW.

Pro vytápění je navržen kotel K2:

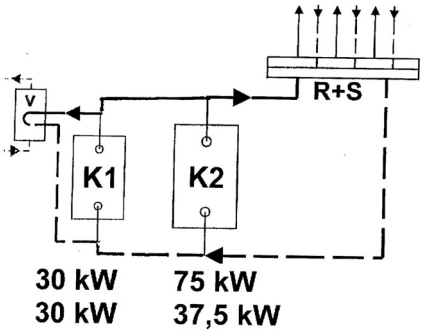
- s instalovaným výkonem Q_{Vi} = 75 kW,
- s možností plynulé regulace až do výkonu (50 %) Q_{Vt} = 37,5 kW.

c) Propojení provozu vytápění s přípravou TV

Vzájemné propojení kotlů je možné, neboť:

- otopná soustava je při použití kotle na přípravu TV plynule regulovaná s rozsahem výkonů od 30 do 15 kW,
- kotel K1 pro přípravu TV má instalovaný výkon, který je 40 % instalovaného výkonu pro vytápění.

Vzájemná záměnnost kotlů je velmi výhodná. Kotel K1 s menším jmenovitým výkonem Q = 30 kW pokrývá plynule nejnižší výkon pro vytápění Q_{min} = 0,2 . 75 = 15 kW.



Obr. 3.11 – Napojení zdroje pro vytápění a přípravu TV podle grafického výpočtu z obr. 3.10

Zvolený způsob přípravy TV s ohřevem vody v zásobníku po dobu 7,33 hodin je z hlediska pokrytí plynulým výkonem z plynového kotle výhodný. V reálné praxi je používaný. Rozdílnost výkonu pro přípravu TV od výkonu pro vytápění vytváří ekonomický provoz, neboť kotel pro přípravu TV lze použít v oblasti odběru tepla na vytápění v teplejším období, při nízkých výkonech, kdy kotel pro vytápění již není v oblasti plynulé regulace.

3.5.5 Příklad 3 - Přerušovaný ohřev TV zajišťovaný kotlem s výkonem 52,5 kW (obr. 3.12 a obr. 3.13)

a) Výpočet zařízení

Na obr. 3.12 jsou podle metodiky uvedené v ČSN 06 0320, výkon kotle pro ohřev TV a z toho velikost zásobníkového ohřívače TV a doba ohřevu, řešeny grafickou metodou. Z obr. 3.12 je patrné, že:

- nejvyšší odběr tepla pro ohřev TV, tvořící špičku odběru, je v časovém intervalu od 17 do 20 hodin. Pro toto období byl navržen výkon shodný s odběrem tepla pro přípravu TV,
- pro toto období je dodáván do zásobníkového ohřívače rovnoměrně výkon v hodnotách odebíraného tepla $E_t = E_{O2}$ = 157,5 kWh,
- teoreticky se jedná o průtokovou přípravu, protože dodání tepla do zásobníkového ohřívače je shodné s odebíraným teplem,
- užitný obsah zásobníkového ohřívače tvoří v intervalu od 17 do 20 hodin nutnou rezervu v nerovnoměrnosti graficky uváděného lineárního odběru,
- velikost zásobníkového ohřívače byla zvolena tak, aby v průběhu nejmenšího odběru s výkonem 20 kW byl zásobník v tomto intervalu dobíjen dvakrát,
- zvolený interval ohřevu TV – dodání tepla do zásobníkového ohřívače TV je od 17 hodin do 20,4 hodin, tj. 3,4 hodiny,
- výkon pro přípravu TV se stanoví ze vztahu:

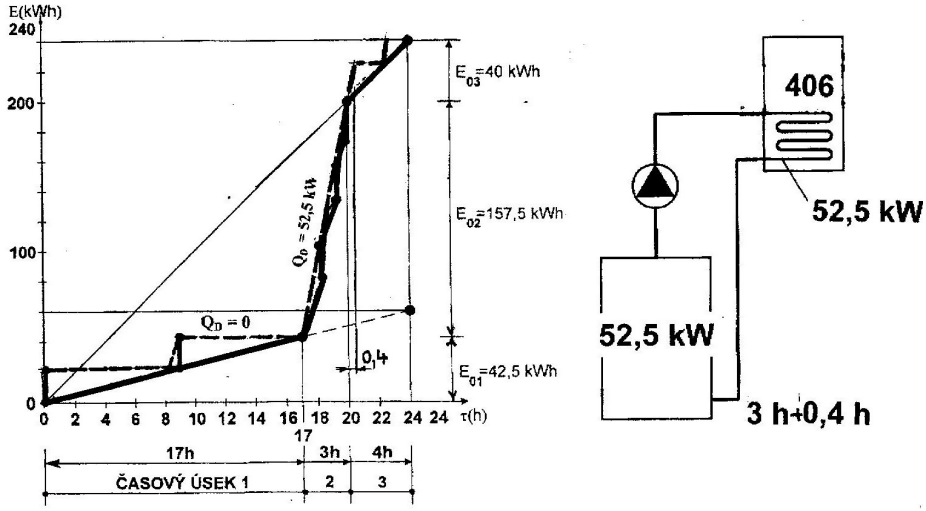
  $$Q_D = \frac{E_{O2}}{\tau} = \frac{157500}{3} = 52500\ W = 52{,}5\ kW\ ,$$

- množství tepla obsaženého v užitném obsahu zásobníkového ohřívače TV se stanoví ze vztahu: $E_t = \frac{E_{O1}}{2} = \frac{42{,}5}{2} = 21{,}25\ kWh$,
- velikost užitného obsahu zásobníkového ohřívače TV se stanoví dosazením do vztahu:

  $$V_t = \frac{E_t}{c_v \cdot (t_{TUV} - t_s)} = \frac{21250}{1{,}163 \cdot 45} = 406\ l\ ,$$

- doba ohřevu vody v zásobníku s obsahem 406 l se stanoví dosazením do vztahu

  $$\tau = \frac{E_t}{Q_D} = \frac{21250}{52500} = 0{,}4\ h = 24\ min$$



Obr. 3.12 – Grafické stanovení velikosti výkonu a objemu zásobníkového ohřívače TV při přerušovaném ohřevu TV s výkonem 52,5 kW

b) Návrh zařízení (obr. 3.13)

Pro přípravu TV je navržen kotel K1:

- s výkonem 60 kW,
- s nepřerušovaným ohřevem v intervalu od 17 do 20 h 24 min v celkové délce 3 h 24 min a v dalších třech intervalech po 24 min během dne se opět voda v zásobníkovém ohřívači ohřívá.

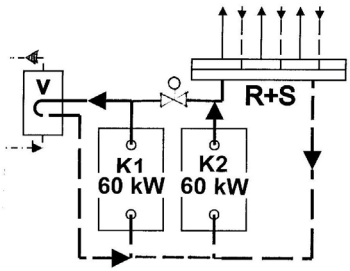
Pro vytápění je navržen kotel K2:

- s instalovaným výkonem Q_{Vi} = 60 kW,
- který pokrývá plynule výkon od 30 do 60 kW.

c) Propojení provozu vytápění s přípravou TV

Kotle jsou vzájemně propojeny střídavě pro vytápění a přípravu TV. Kotel K1 slouží pro přípravu TV a kotel K2 pro vytápění. Pro špičkový výkon na vytápění (Q_{Vi} = 75 kW) je kotel K1, v době mimo ohřev TV, použit pro provoz vytápění (elektrická klapka v propojení obou kotlů se otevře).

Při nízkém výkonu na vytápění (minimální výkon je 0,2 . 75 = 15 kW) až do výkonu 30 kW je pro vytápění provozován kotel s přerušovaným chodem. Ani kotel K1 ani kotel K2 nepokrývají plynule nejnižší výkon pro vytápění.



Obr. 3.13 – Napojení zdroje pro vytápění a přípravu TV podle grafického výpočtu z obr. 3.12

Volba stejných kotlů s výkonem odpovídající přípravě TV nepřinesla výhodu pro plynulý provoz vytápění při nízkých výkonech.

3.5.6 Příklad 4 - Přerušovaný ohřev TV s použitím kotle s výkonem 106,6 kW (obr. 3.14 a obr. 3.15)

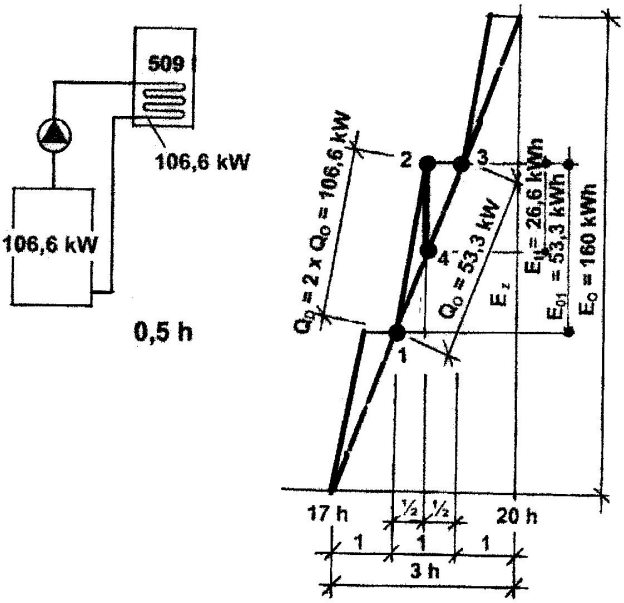
a) Výpočet zařízení

Na obr. 3.14 jsou podle metodiky uvedené v ČSN 06 0320 výkon kotle pro ohřev TV a z toho velikost zásobníkového ohřívače TV a doba ohřevu řešeny grafickou metodou.

S používáním automatických plynových kotlů se doba pro ohřívání teplé vody v zásobníkových ohřívačích zkracuje na 20 až 30 minut. Z předchozích grafů byl pro příklad 4 přenesen výsek ze špičkového odběru tepla od 17 do 20 hodin. V tomto intervalu je na obr. 3.14 patrné, že:

- odběr tepla v tomto intervalu (v době 3 hodin) je E_O = 160 kWh,
- odběr tepla po dobu 1 hodiny je $E_O = \frac{160}{3} = 53{,}3\ kWh$,
- odebíraný výkon je Q_O = 53,3 kW (výkon jako množství tepla za 1 hodinu),
- zvolený interval ohřevu TV v zásobníkovém ohřívači je 30 min,
- výkon pro ohřev teplé vody (vyznačen úsečkou 1 a 2) je Q_O = 2 . 53,3 = 106,6 kW,
- v intervalu vyznačeném úsečkou 2 až 3 se voda v zásobníkovém ohřívači neohřívá,
- množství tepla dodávaného do zásobníkového ohřívače se stanoví dosazením do vztahu: $E_t = \frac{E_{O1}}{2} = \frac{53{,}3}{2} = 26{,}65\ kWh$,
- velikost užitného obsahu zásobníkového ohřívače se stanoví dosazením do vztahu:
  $$V_t = \frac{E_t}{c_v \cdot (t_{TUV} - t_s)} = \frac{26650}{1{,}163 \cdot 45} = 509\ l,$$
- velikost zásobního obsahu zásobníkového ohřívače (nad spínacím teploměrem) se stanoví podle množství zásobního tepla E_Z podle vztahu:
  $$V_t = \frac{E_Z}{c_v \cdot (t_{TUV} - t_s)}$$

Půlhodinový interval 2 až 3 tvoří rezervu v dodávaném výkonu pro případ, že se špička odběru odchýlí od předpokládaného průběhu odběru TV.



Obr. 3.14 – Grafické stanovení velikosti výkonu a objemu zásobníkového ohřívače TV při přerušovaném ohřevu TV s výkonem 106,6 kW

b) Návrh zařízení (obr. 3.15)

Pro přípravu TV jsou navrženy dva kotle K1 a K2:

- s výkonem 2 x 60 kW,
- s nepřerušovaným ohřevem v intervalu 30 minut po dobu 3 hodin od 17 do 20 h v celkové délce 3 x 0,5 h.

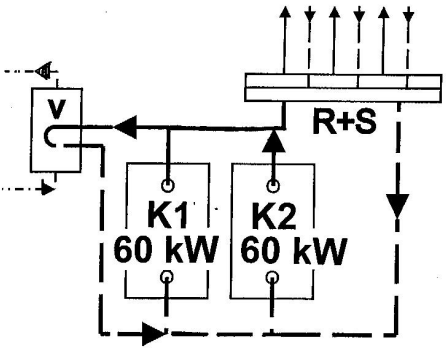
Pro vytápění jsou navrženy dva kotle K1 a K2:

- variantně používané pro přípravu TV s výkonem 2 x 60 kW,
- kotel K2 s výkonem 60 kW, který pokrývá plynule potřebu pro vytápění od 15 do 60 kW. Pro vyšší výkony jsou používány oba kotle K1 a K2.

c) Propojení provozu vytápění s přípravou TV

Kotle jsou vzájemně propojeny střídavě pro vytápění a přípravu TV. Oba kotle slouží pro přípravu TV a kotel K2 pro vytápění při odběrových výkonech od 60 do 15 kW. Pro špičkový výkon na vytápění (Q_{Vi} = 75 kW) jsou provozovány oba kotle na výkon 2 x 37,5 kW.

Při minimálním výkonu na vytápění (minimální výkon je 0,2 . 75 = 15 kW) až do výkonu 30 kW je kotel K2 provozován s přerušovaným chodem.



Obr. 3.15 – Napojení zdroje pro vytápění a přípravu TV podle grafického výpočtu z obr. 3.14

Volba stejných kotlů s výkonem pro vytápění, který odpovídá přípravě TV, nepřináší výhodu pro plynulý provoz vytápění při nízkých výkonech. Nevýhoda tohoto systému, oproti předchozímu systému, spočívá v tom, že v letním období slouží oba kotle pro přípravu TV. V předchozích příkladech slouží pro přípravu TV v letním období vždy jeden kotel.

3.5.7 Metodika zpracování

Z grafického vyjádření odběru tepla pro přípravu TV se stanovuje výkon a velikost zásobníkového ohřívače, např. z hlediska:

- možného přípojného výkonu (na konkrétní typ kotle nebo pro možný příkon paliva),
- dispozičních možností (velikost objemu zásobníkového ohřívače v prostoru místnosti),
- efektivnosti využití (odpovídající pořizovacím nákladům na zařízení, resp. tepelnou ztrátu z akumulace apod.).

Jedno z hledisek je i tradiční možnost využití otopné vody z kotle pro přípravu TV na systém ústředního teplovodního vytápění. Řešení této kombinace vytápění – příprava TV ze společného zdroje nemusí vždy dávat nejvýhodnější řešení. Naopak v mnoha případech se společný zdroj pro vytápění a přípravu TV může být přínosným a úsporným řešením. Je tomu tak nejen u klasického zdroje na fosilní paliva, ale i u alternativních zdrojů nebo u zdrojů bivalentních.
Na základě grafického vyjádření průběhu denního odběru se může stanovit provozně pohotovostní čas kotle pro přípravu TV a ten pak může sloužit pro vytápění, zejména jedná-li se o vytápění z akumulačního zdroje.

3.6 REGULACE PROVOZU

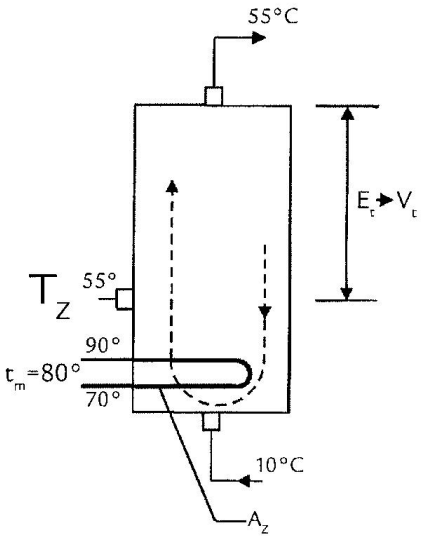
3.6.1 Zásady nabíjení zásobníkových ohřívačů

Teplo na ohřev vody v zásobníkovém ohřívači TV je dodáváno přes teplosměnnou plochu A_Z, umístěnou ve spodní části zásobníku. Provoz většinou probíhá:

- po sepnutí okruhu otopné vody teplotním čidlem ZTV, vloženým do zásobníku
- ukončení ohřevu TV může být řešeno tak, že vratná otopná voda překročí mezní teplotu (neochladí se při předání tepla v zásobníku) a z kotle pak jde výstupní voda nad teplotou povolené meze.

3.6.2 Umístění zapínacího teploměru ve spodní části ZTV

Na obr. 3.16 je umístění zapínacího teploměru ve spodní části zásobníku. Je to pro případy nárazového zvýšeného odběru TV s tím, že voda v zásobníku se už od začátku odběru začíná ohřívat.
Nízko položený zapínací teploměr je použitelný u automatických kotlů, které jsou často a krátkodobě v provozu. Umožňuje se tak ohřívat vodu v ZTV při nižším objemu vyšším výkonem s možností dobíjení zásobníku i během provozní špičky.

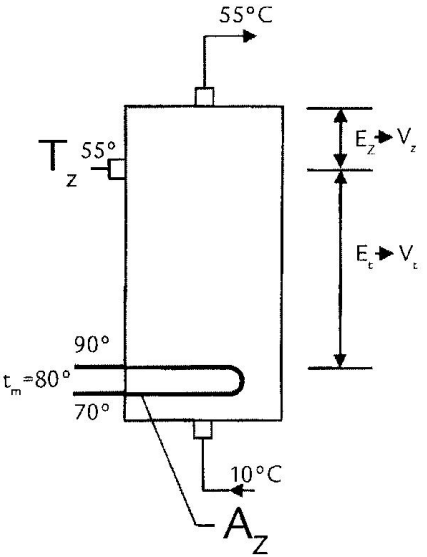


Obr. 3.16 – Poloha zapínacího teploměru T_Z v zásobníkovém ohřívači TV při častém dobíjení ZTV a se špičkovou zásobou TV (pohotovostní)
Legenda: A_Z – teplosměnná plocha topné vložky; E_Z (V_Z) – rezervní obsah tepla (objem vody) v ZTV; E_t (V_t) – provozní obsah tepla (objem) v ZTV

3.6.3 Umístění zapínacího teploměru v horní části ZTV

Na obr. 3.17 je umístěn zapínací teploměr v horní části ZTV. Takovýto způsob nabíjení ZTV se používal zejména dříve při napojení zásobníku na kotel na tuhá paliva, kde se požadoval dlouhodobý ohřev s nízkou možností regulace. Charakteristické pro tento provoz je:

- velký užitný tepelný obsah E_t v zásobníku,
- malý výkon topné vložky (nižší teplosměnná plocha A_Z),
- dlouhodobý ohřev,
- užitný objem V_t zásobníkového ohřívače TV slouží pro trvání celého odběru ve špičce.



Obr. 3.17 – Poloha zapínacího teploměru T_Z v zásobníkovém ohřívači TV s malou rezervou zásobního tepla
Legenda: A_Z – teplosměnná plocha topné vložky; E_Z (V_Z) – rezervní obsah tepla (objem vody) v ZTV; E_t (V_t) – provozní obsah tepla (objem) v ZTV

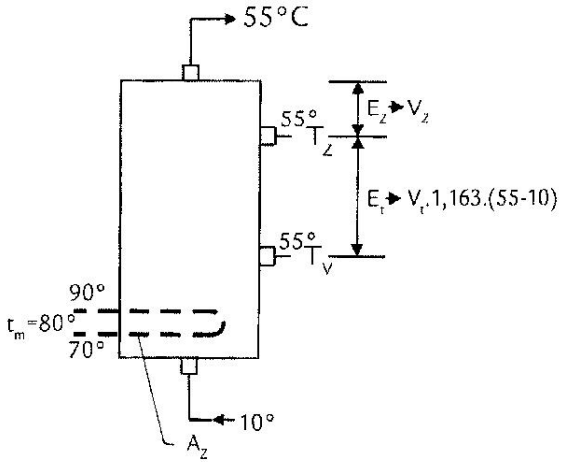
3.6.4 Umístění zapínacího a vypínacího teploměru v ZTV

Na obr. 3.18 je naznačen způsob provozu nabíjení a vybíjení teplem ZTV, pro který je charakteristický:

- vysoký výkon topné vložky (velká teplosměnná plocha A_Z) pro rychlé dobíjení během odběrové špičky,
- malý tepelný obsah E_t v ZTV, odpovídající malému užitnému obsahu vody V_t,

- vypínací teploměr pro zajištění stále vysokého výkonu, resp. odvodu zpětné otopné vody s trvale nízkou teplotou, např. do kondenzačního kotle,
- vyrovnávací tepelný obsah E_Z pro případ extrémního špičkového odběru, kdy výkon ohřevu TV přesahuje výkon dodávky tepla do ZTV.

Tento režim ohřevu je nejúčinnější. Používá se u ZTV o malém objemu, s velkým výkonem topné vložky a zdrojem, který je schopný zajistit vysoký výkon s častým náběhem do provozu.

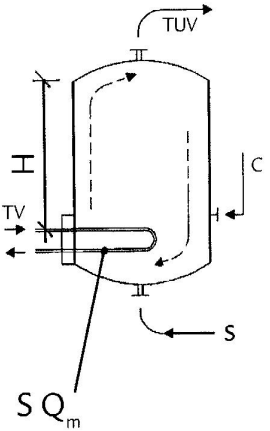


Obr. 3.18 – Zásobníkový ohřívač TV se zapínacím teploměrem T_Z a vypínacím teploměrem T_V v zásobníkovém ohřívači TV
Legenda: A_Z – teplosměnná plocha topné vložky; E_Z (V_Z) – rezervní obsah tepla (objem vody) v ZTV; E_t (V_t) – provozní obsah tepla (objem) v ZTV

3.7 KONSTRUKCE ZTV PRO JEDNODUCHÝ PROVOZ

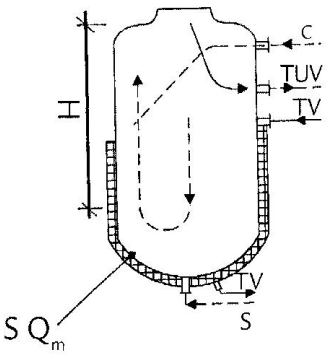
3.7.1 Zásobníky pro dlouhodobý ohřev TV

Zásobníkový ohřívač TV, u kterých je topná vložka nebo teplosměnná plocha vytvořena tak, že při proudění otopné vody dochází k nízké tlakové ztrátě, jsou vhodné pro použití v teplovodní soustavě, ve které je malý dispoziční tlak oběhového čerpadla nebo u samotížně pracující soustavy. Při nízkém průtoku otopné vody podél teplosměnné stěny je i nízký součinitel přestupu tepla a v důsledku toho vychází i nízký měrný výkon Q_m. Tyto zásobníkové ohřívače TV je vhodné použít všude tam, kde se voda ohřívá v delším časovém intervalu.
Na obr. 3.19 je v řezovém schématu zásobníkový ohřívač TV s výměníkem, tvořeným trubkami tvaru U, vloženými do zásobníku z boční stěny. Tento zásobník byl u nás dříve dlouhodobě používaný.



Obr. 3.19 – Stojatý ZTV s horizontální topnou vložkou z trubek tvaru U
Legenda: S (Q) – teplosměnná plocha (výkon) topné vložky; S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda; H – výška zásobníku nad topnou vložkou

Na obr. 3.20 je ve funkčním řezovém schématu zásobníkový ohřívač TV s plášťovým výměníkem. Tato starší jednoduchá konstrukce teplosměnné plochy se u nás v poslední době znovu uplatnila. Plášťová konstrukce výměníku má nevýhodu zejména v tom, že její výkon je limitován velikostí teplosměnné plochy, závislé na rozměru zásobníkového ohřívače TV. Pro konkrétní rozměr zásobníkového ohřívače TV při konstantních parametrech otopné vody vychází pouze jeden výkonový stupeň pro ohřev vody a tím i doba ohřevu.



Obr. 3.20 – Stojatý ZTV s plášťovou otopnou plochou
Legenda: S (Q) – teplosměnná plocha (výkon) topné vložky; S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda; H – výška zásobníku nad otopnou plochou

3.7.2 Zásobníky pro krátkodobý ohřev TV

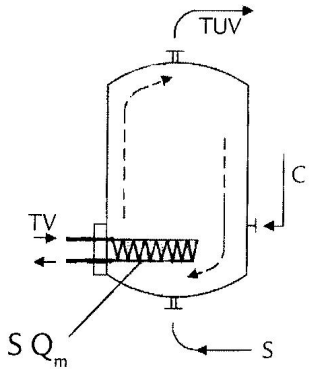
K charakteristickým znakům zásobníkových ohřívačů, u kterých se požaduje kratší doba ohřevu, patří:

- vysoký měrný výkon teplosměnné plochy topné vložky Q_m,
- vyšší konvekční výška H zásobníkového ohřívače TV,
- větší teplosměnná plocha topné vložky S,
- vyšší teplota otopné vody pro zvýšení teplotního spádu mezi otopnou vodou a ohřívanou vodou v zásobníku.

Spirálový tvar výměníku topné vložky splňuje parametry vyššího měrného výkonu. Z hlediska umístění spirálového výměníku se rozdělují topné vložky na:

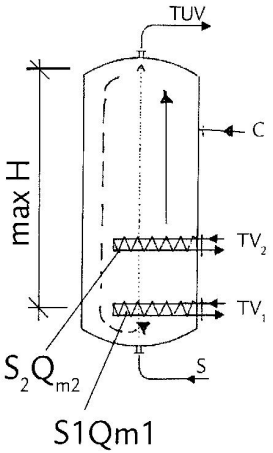
- horizontální topné vložky,
- vertikální topné vložky.

Na obr. 3.21 je horizontálně vložena topná vložka s vysokým měrným výkonem Q_m u dna ZTV. Malý průměr topné vložky a značná výška nad osou topné vložky zkracuje dobu ohřevu a zvyšuje i výkon v počáteční fázi ohřevu.



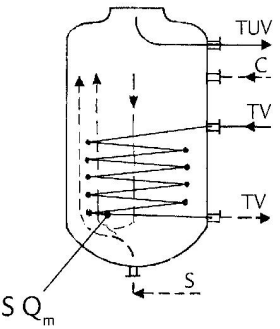
Obr. 3.21 – Stojatý ZTV s horizontální spirálovou topnou vložkou
Legenda: S (Q) – teplosměnná plocha (výkon) topné vložky; S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda

Na obr. 3.22 je schéma zásobníkového ohřívače TV s horizontálně vloženou topnou vložkou, tvořenou spirálovým trubkovým výměníkem ve dvou stupních. Použití dvoustupňového ohřevu, tvořeného dvěma topnými vložkami nad sebou, dovoluje zvýšení výkonu. Zvyšování výkonu, násobností použití topných vložek, má výhodu v tom, že standardní topné vložky, používané v konstantních délkách pro průměr zásobníkového ohřívače TV, mohou vytvářet, pro jeden objem zásobníku, různé výkonové stupně. Tím se může měnit doba ohřevu a užití pro různé výkonové řady topných zdrojů.



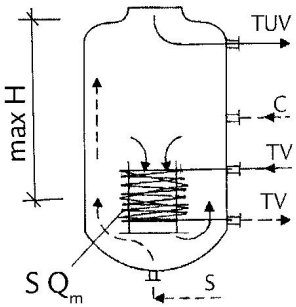
Obr. 3.22 – Stojatý ZTV s horizontálními spirálovými topnými vložkami ve dvou stupních
Legenda: S (Q_m) – teplosměnná plocha (výkon) topné vložky; S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda; max H – výška zásobníku nad spodní topnou vložkou

Na obr. 3.23 je schéma vertikální spirálové topné vložky, tvořící jednořadý, dvou nebo víceřadý prstenec, vložený do ZTV. Výhodou této konstrukce je usměrnění a zvýšení rychlosti stoupajícího teplého proudu vody podél prstence výměníku. Usměrněním je zvýšená konvekce i v intervalu dohřevu, kdy je již snížena pomyslná mezní hladina v ZTV.
Vertikální spirálový výměník většinou s výhodou usměrňuje konvekční proud, ale zároveň je snížena účinná výška konvekce oproti topné vložce z horizontálního spirálového výměníku.



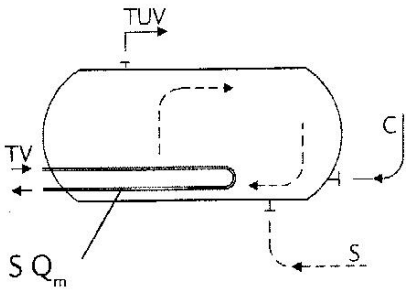
Obr. 3.23 – Stojatý ZTV s vertikální spirálovou topnou vložkou
Legenda: S (Q_m) – teplosměnná plocha (výkon) topné vložky; S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda; H – výška zásobníku nad topnou vložkou

Na obr. 3.24 je schéma zásobníkového ohřívače TV s vertikální topnou vložkou, navinutím spirály v několika řadách na usměrňující prstenec.
Uvažovaná konstrukce pro ohřev vody je opět výhodná, neboť rozděluje a usměrňuje proudění chladnější a ohřáté vody a zároveň počet trubkových řad spirálově navinutého výměníku dovoluje zvyšovat výkony pro stejný objem zásobníku.



Obr. 3.24 – Stojatý ZTV s vertikální spirálovou topnou vložkou a usměrňujícím prstencem
Legenda: S (Q_m) – teplosměnná plocha (výkon) topné vložky; S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda; max H – výška zásobníku nad osou topné vložky

Na obr. 3.25 je uvedena konstrukce ležatého zásobníkového ohřívače TV, u které malá výška dovoluje umístit ZTV např. pod stropní konstrukci. Dříve byla z dispozičních důvodů tato konstrukce ZTV nejčastěji užívaná, neboť se u kotlů na tuhá paliva používal přirozený oběh otopné vody a ZTV musel být nutně výše než byl kotel, k vytvoření vztlaku cirkulující teplé otopné vody.



Obr. 3.25 – Ležatý ZTV s horizontální topnou vložkou z trubek tvaru U
Legenda: S (Q_m) – teplosměnná plocha (výkon) topné vložky; S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda

3.8 KONSTRUKCE ZTV PRO KOMBINOVANÝ PROVOZ

Kombinovaný nepřímý nebo přímý zásobníkový ohřev je zajišťován kombinací několika energií, resp. kombinací topných zdrojů.
Topné vložky v jediném zásobníku s nepřímým ohřevem mohou od různých zdrojů být používány:

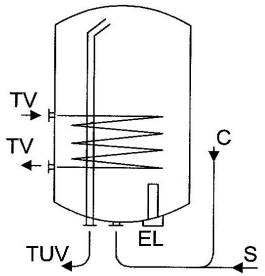
- pro programově nesoučasný ohřev TV, např. při jiném zdroji v topné sezóně a jiném zdroji mimo topnou sezónu,
- pro současný provoz z více zdrojů, které mohou současně pracovat v topné sezóně i mimo ni.

Při současném provozu několika zdrojů s ohřevem do ZTV se výměníky řadí ve směru proudění TV vzhůru:

- od nižšího teplotního potenciálu k vyššímu,
- od občasné dodávky tepla k trvalé dodávce tepla ze zdroje.

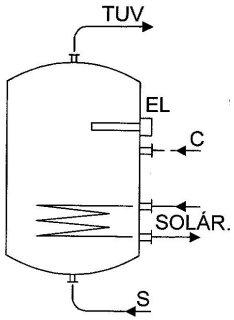
ZTV s kombinací ohřevu otopnou vodou s elektrickou topnou vložkou se podle obr. 3.26 používají zejména při připojení zásobníkového ohřívače TV ke kotli na tuhá paliva. Konstrukce se užívá při sezónním ohřevu topného zdroje pro vytápění a mimo topnou sezónu pro ohřev TV elektrickou topnou vložkou.

EL+TV



Obr. 3.26 – Stojatý ZTV s kombinací ohřevu otopnou vodou a elektrickou topnou vložkou
Legenda: S – studená voda; TUV – teplá voda; C – cirkulace; TV – otopná voda

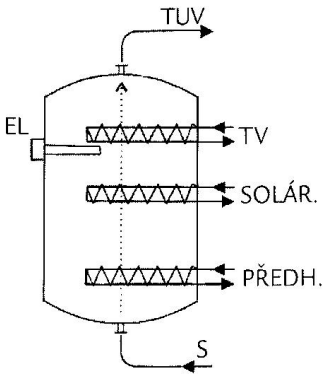
Na obr. 3.27 je použita kombinace ohřevu ze solárního výměníku (nejčastěji s vložkou u dna zásobníku) s elektrickým dohřevem. Elektrická topná vložka ohřívá horní objem vody v ZTV nad topnou vložkou, nejčastěji pro denní odběr vody z nočního nabíjení nízkotarifní sazbou elektřiny.



Obr. 3.27 – Stojatý ZTV s kombinací solárního ohřevu s elektrickou topnou vložkou
Legenda: EL – elektrická topná vložka; SOLÁR – výměník solárního okruhu; TUV – teplá voda; C – cirkulace; S – studená voda

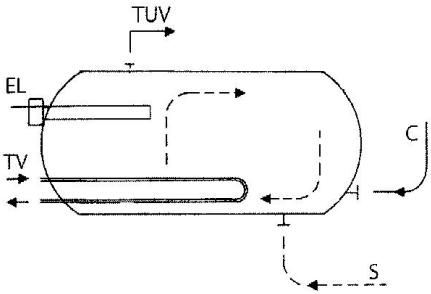
U ZTV podle obr. 3.28 jsou zařazeny výměníky od nejchladnějšího teplotního potenciálu u dna zásobníku v řadě tak, že:

- topná vložka z trvalého zdroje, ale nízkoteplotního odpadního tepla, je použita pro předehřev vody v ZTV,
- otopná voda ze solárního kolektoru je využívána při vyšší teplotě vody v kolektoru, zejména v létě, kdy je často pokryt i celý ohřev TV,
- otopná voda z trvalého zdroje tepla (s vysokým výkonem topné vložky), např. plynové kotelny nebo z elektrické energie, pokrývá teplem stabilně denní objem vody nad topnou vložkou.



Obr. 3.28 – Stojatý ZTV s kombinací předehřevu a ohřevu ze solárního a teplovodního zdroje s elektrickou topnou vložkou
Legenda: EL – elektrická topná vložka; SOLÁR – výměník solárního okruhu; PŘEDH. – předehřev TV; TUV – teplá voda; C – cirkulace; S – studená voda

Na obr. 3.29 je uvedena starší konstrukce kombinovaného ležatého ZTV s ohřevem otopnou vodou z kotle pro vytápění a elektrickou topnou vložkou pro přímý ohřev mimo topné období.



Obr. 3.29 – Ležatý ZTV s kombinací ohřevu z teplovodního zdroje a elektrické topné vložky
Legenda: EL – elektrická topná vložka; TUV – teplá voda; C – cirkulace; S – studená voda; TV – otopná voda

3.9 ZÁSOBNÍKOVÝ OHŘÍVAČ TV S OHŘEVEM NUCENOU KONVEKCÍ

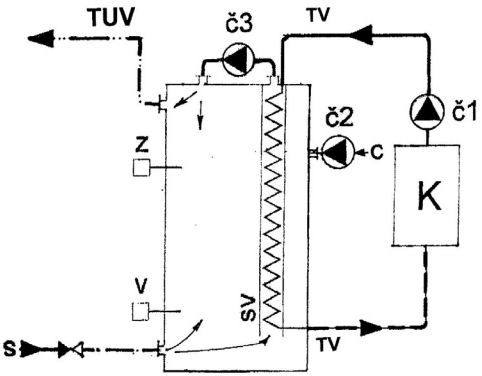
Ohřev TV v zásobníku je běžně zajišťován na straně TV přirozenou konvekcí. Takový způsob ohřevu má, oproti průtokovému, nižší proměnný výkon a delší dobu ohřevu v závislosti na podmínkách předání tepla při přirozené konvekci.
Při nucené konvekci proudí ohřívaná voda výměníkem protiproudého ohřívače při trvalém výkonu s předepsaným konstantním teplotním spádem otopné vody a teplé vody.

3.9.1 Popis ohřevu TV (obr. 3.30)

Zásobníkový ohřev s nucenou konvekcí podle obr. 3.30 je zajišťován spirálovým výměníkem, vloženým do zásobníkového ohřívače TV. Přiváděná otopná voda od topného zdroje, např. od kondenzačního kotle proudí topnou spirálou vloženou do válcového pláště výměníku. Od dna výměníku protéká studená voda pláštěm výměníku se vstupní teplotou vody např. 10 °C. Protiproudně k topné spirále s otopnou vodou se ohřívá voda na výstupní teplotu TV např. 55 °C. Průtok ohřívané teplé vody zajišťuje oběhové čerpadlo (Č3) s výstupem teplé vody pod horní líc zásobníkového ohřívače TV. Režim ohřevu vody v zásobníkovém ohřívači TV a provoz zdroje je řízen zapínacím teploměrem (Z). Ukončení ohřevu a vypnutí zdroje, shodně s režimem ohřevu, řídí teploměr V, vložený ve spodní části zásobníkového ohřívače TV.

3.9.2 Specifika ohřevu, stanovení výkonu a velikosti ZTV

U průtokového ohřevu TV je výkon výměníku ohřívače dimenzován na nejvyšší průtok při odběru TV.
U zásobníkového ohřevu s nucenou konvekcí je průtok TV průtokovým ohřívačem nižší než je maximální odběr TV. Tím je výkon u zásobníkového ohřevu s nucenou konvekcí nižší než u ohřevu průtokového, i když u obou způsobů je výstupní teplota TV z ohřívače určená přímo k odběru TV (např. 55 °C). Proto je nutné, aby nad zapínacím teploměrem (Z) byl dostatečný objem ohřáté TV, která bude k dispozici při špičkovém odběru.
Čím větší bude v zásobníku objem ohřáté TV nad zapínacím teploměrem (Z), při standardní délce trvání odběrové špičky, tím menší může být volen výkon průtokového ohřívače a následně i zdroje. Menší zásobní objem TV si bude žádat ohřátí většího množství TV, kterým by se v průběhu špičkového odběru TV doplňovala ohřátá voda do ohřívače.
Velikost objemu TV mezi zapínacím a vypínacím teploměrem určuje dobu ohřevu topného zdroje.



Obr. 3.30 – Zásobník tepla s ohřevem s nucenou konvekcí
Legenda: ZTV – zásobníkový ohřívač TV; SV – protiproudý spirálový výměník ohřevu TV; K – topný zdroj; TV – teplá otopná voda; S – studená voda; TUV – teplá voda (TV); C – cirkulace; Z – zapínací teploměr; V – vypínací teploměr,
Oběhová čerpadla: Č1 – otopné vody; Č2 – cirkulace teplé vody; Č3 – ohřevu teplé vody

3.9.3 Přednosti ohřevu nucenou konvekcí

K hlavním výhodám zásobníkového ohřevu nucenou konvekcí patří:
- rozložení dvou teplotních pásem studené a teplé vody tak, že nedochází při ohřevu k míchání teplé a chladnější vody v zásobníku,
- účinné řízené předání tepla do výměníku při turbulentním průtoku s větší rychlostí teplé vody, protékající ohřívačem,

- zajištění stálého, přibližně konstantního teplotního spádu otopné vody a tím i možnost vysokého ochlazení vratné otopné vody do kotle.

Pro zajištění vysoké účinnosti kondenzačního kotle je nutnou podmínkou nízká teplota vratné otopné vody do kotle. Přiváděná studená voda pro protiproudý ohřev takovou možnost poskytuje při zajištění nepřerušované, výpočtem nastavitelné, periody provozu kotle. Kotel je zároveň provozován na konstantní výkon a tím je nastaven na nejvyšší účinnost, ale zejména na nejnižší koncentrace produkovaných škodlivin ze spalování. V neposlední řadě má kotel, u kterého není nutná regulace výkonu, nesporně nižší náklad související s jednoduchým hořákem s provozem zapnuto/ vypnuto.

3.10 TLAKOVÉ PODMÍNKY V SÍTI PŘI ZÁSOBNÍKOVÉM OHŘEVU (OBR. 3.31)

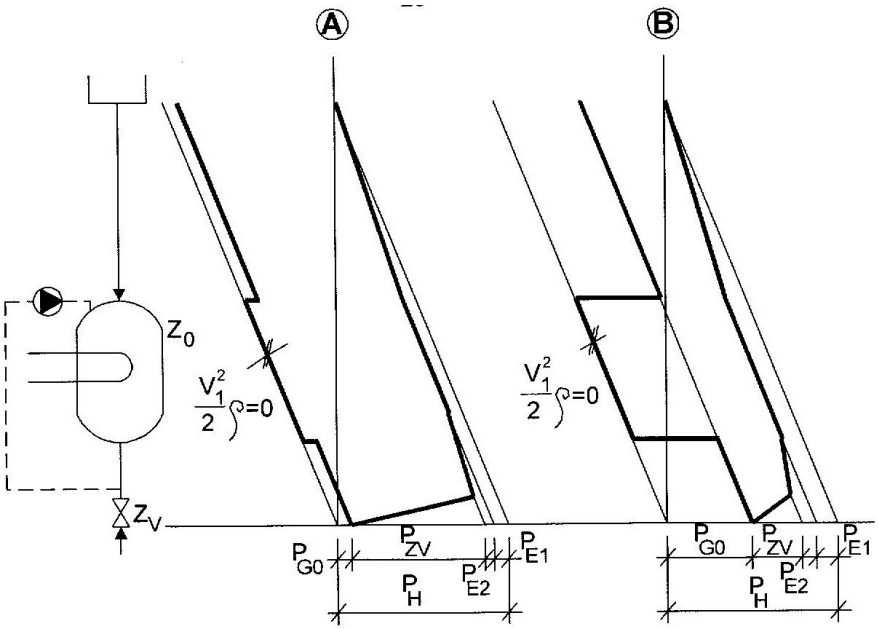
Tím, že TV se ohřívá v zásobníkovém ohřívači s relativně malým odběrem TV vzhledem k objemu zásobníku, je v zásobníkovém ohřívači rychlost proudění vody minimální, resp. nulová.
Zjednodušeně pro představu je rozložení tlaku ve vodovodním potrubí konstantního průměru, kterým od vodojemu protéká studená voda do ohřívače s tlakovou ztrátou Z_O. Z ohřívače pak vytéká teplá voda do výtoku s tlakovou ztrátou Z_V. Hydrostatický tlak p_H v místě výtoku má hodnotu:

$$p_H = H \cdot g \cdot \rho_V \qquad \text{(Pa)}$$

Veškerý hydrostatický tlak se spotřebuje na celkovou tlakovou ztrátu při proudění vody od vodojemu do výtoku, která je součtem tlakových ztrát:

- p_{E1} – v potrubí studené vody,
- p_{E2} – v potrubí teplé vody,
- p_{ZO} – z průtoku ohřívačem,
- p_{ZV} – ve výtokové armatuře,
- p_{GO} – dynamické ztráty ve výtoku.

Dynamická ztráta $p_{GO} = \frac{v_1^2}{2}.\rho$ je dána rychlostí (v_1) ve výtoku. Zjednodušme tak, že rychlost výtoková je shodná i s rychlostí proudění v potrubí.
Modelujme pro porovnání dva stavy při malém průtoku (stav A) a při velkém průtoku (stav B).
Na tlakovém diagramu podle obr. 3.31 je naznačeno, že dynamická ztráta p_{GO} v zásobníku, vyjadřující průtok zásobníkem, je vzhledem k průřezu zásobníku nulová.
Při zásobníkovém ohřevu se voda ohřívá přirozenou nebo nucenou konvekcí. Proudění vody způsobené odběrem TV nemá na předání tepla u teplosměnné topné vložky žádný vliv, neboť i při největším odběru TV je rychlost proudění vody v ZTV blízká nule.
Na tlakovém diagramu je v zásobníku vyznačena dynamická tlaková ztráta $p_{Go} = 0$.



Obr. 3.31 – Schéma průběhu tlakové čáry ve vodovodní síti se zásobníkem tepla při: A - malém odběru; B - velkém odběru