

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektrický zásobník teplé užitkové vody

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tam NGUYEN THANH**
Osobní číslo: **E10B0276P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika**
Název tématu: **Elektrický zásobník teplé užitkové vody**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište možnosti ohřevu teplé užitkové vody, uveďte výhody a nevýhody, ztráty.
2. Vývojovým diagramem charakterizujte funkci termostatu zásobníku.
3. Uveďte možnosti omezení tepelných ztrát.
4. Simulujte funkci zásobníku TUV.
5. Shrňte dosažené výsledky.



Abstrakt

Tato bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku ohřevu užitkové vody. Zaobírá se rozbořem běžně dostupných energetických zdrojů pro ohřev, funkcí termostatu a omezením tepelných ztrát. Obecnější popis problematiky je aplikován na konkrétním příkladu, jenž je simulován v programovém systému MATLAB.

Klíčová slova

Zásobník vody, užitková voda, ohřev, termostat, regulace, teplota, průtok, MATLAB, energie, tepelné ztráty, provozní náklady.

Abstract

This bachelor's thesis is thematically focused on issues of the non-potable water heating. It analyzes commonly available sources of energy for heating, the thermostat function and the thermal loss restriction. The general description of the problem is applied on the specific example, which is simulated in the software system MATLAB.

Key words

Water tank, non-potable water, heating, thermostat, regulation, temperature, flow, MATLAB, energy, thermal loss, operating costs.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 7.6.2013

Tam NGUYEN THANH

Poděkování

Velký dík patří vedoucímu mé práce, Doc. Ing. Bohumilu Skalovi, Ph.D., za cenné připomínky a praktické rady.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	1
ÚVOD	2
1. OHŘEV UŽITKOVÉ VODY.....	3
1.1 ENERGETICKÉ ZDROJE PRO OHŘEV TUV.....	4
1.2 ZHODNOCENÍ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ PRO OHŘEV TUV	10
2. FUNKCE TERMOSTATU ZÁSObNÍKU	11
2.1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM FUNKCE TERMOSTATU ZÁSObNÍKU TUV	11
2.2 POPIS VÝVOJOVÉHO DIAGRAMU	11
3. OMEZENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ	12
3.1 MOŽNÉ POHLEDY NA PROBLEMATIKU	12
3.2 VÝROBKY ŘADY OKHE SMART	14
4. SIMULACE FUNKCE ZÁSObNÍKU TUV	15
4.1 VOLBA SIMULAČNÍHO SW A JEHO STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA	15
4.2 TYPICKÉ INTERVALY PLATNOSTI NT A ORIENTAČNÍ SPOTŘEBA VODY	16
4.3 VOLBA PARAMETRŮ OHŘÍVAČE TUV	17
4.4 PŘÍKLAD ŘEŠENÍ KALORIMETRICKÉ ROVNICE	18
4.5 SIMULACE V PROGRAMU MATLAB	20
5. ZÁVĚR	25
POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ	26

Seznam symbolů a zkratek

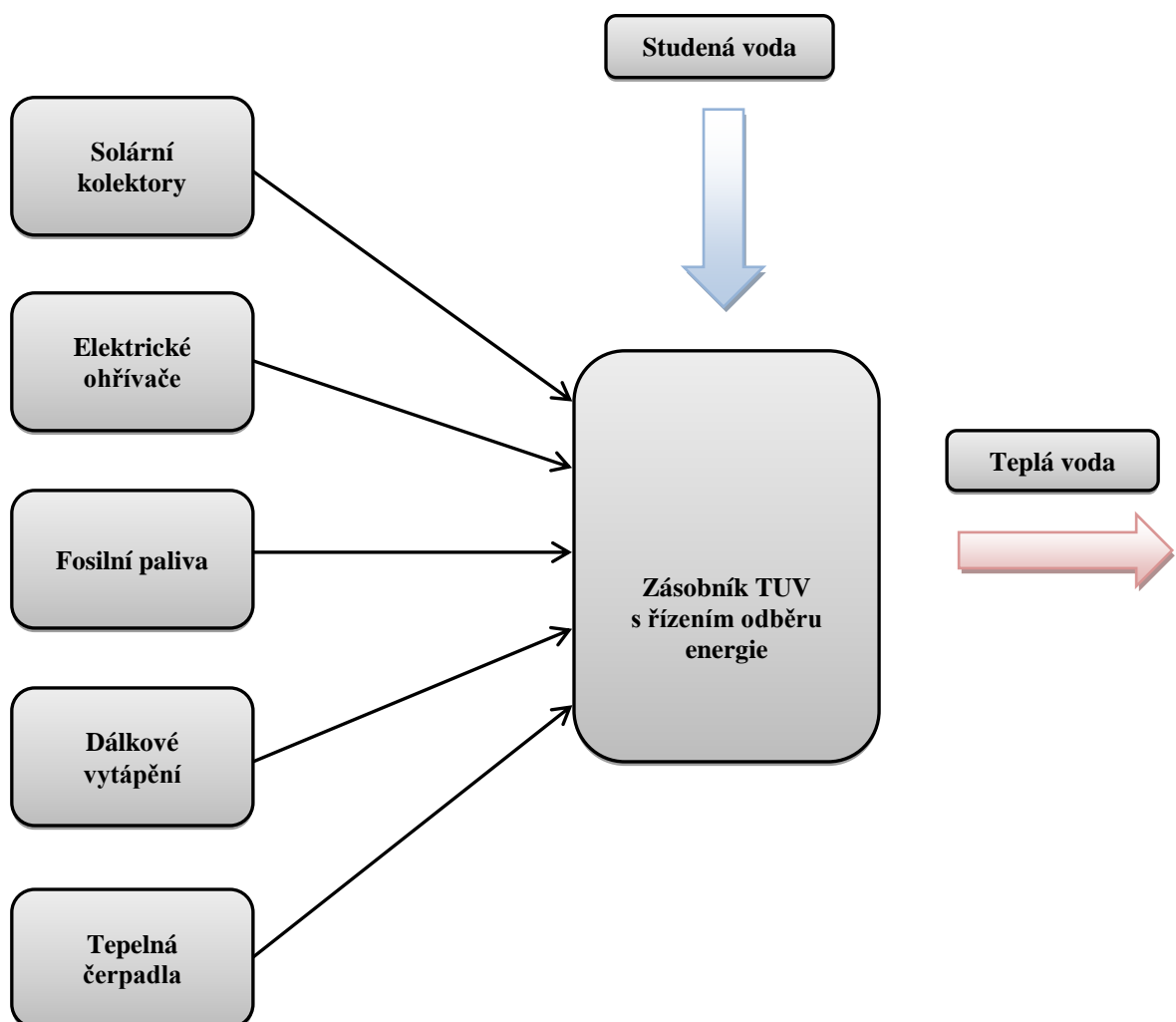
TUV	.....	teplá užitková voda
HDO	.....	hromadné dálkové ovládání
$t_{\text{vody}} [^{\circ}\text{C}]$	.....	teplota vody
$t_{\text{vyp}} [^{\circ}\text{C}]$	.....	vypínací úroveň teploty
$t_{\text{zap}} [^{\circ}\text{C}]$	.....	zapínací úroveň teploty
DZD	.....	Družstevní závody Dražice
NT	.....	nízký tarif
VT	.....	vysoký tarif
$Q_1, Q_2 [\text{J}]$	.....	teplo
$t_{\text{sprch}} [^{\circ}\text{C}]$	.....	teplota vody při sprchování
$Q_{\text{sprch}} [\text{l/min}]$	.....	průtok vody při sprchování
$t_{\text{tep}} [^{\circ}\text{C}]$	.....	teplota teplé vody
$t_{\text{stud}} [^{\circ}\text{C}]$	.....	teplota studené vody
$V [\text{l}]$	.....	objem vody
$m_{\text{součet}} [\text{kg}]$	.....	součtová hmotnost
$m_{\text{stud}} [\text{kg}]$	.....	hmotnost studené vody
$m_{\text{tep}} [\text{kg}]$	.....	hmotnost teplé vody
$C_{\text{vody}} [\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}]$	.....	měrná tepelná kapacita vody
$P [\text{W}]$	.....	příkon topného tělesa
$\Psi [\text{kWh}/24\text{h}]$	.....	tepelné ztráty
$W [\text{kWh}]$	.....	spotřeba elektrické energie
EO	.....	elektrický ohřívač

Úvod

Záměrem této práce je popis problematiky elektrického zásobníku teplé užitkové vody. Odrazovým můstkem do komplexní problematiky ohřevu je zde výčet běžně používaných energetických zdrojů a subjektivní posuzování jejich parametrů z hlediska praktického užití. Elementární součástí zásobníku teplé užitkové vody je termostat, jehož logickou funkci popisuje další část této práce vývojovým diagramem. Cena elektrické (či jakékoli jiné) energie je aktuálně velmi často propírána a tak je zde na místě i rozvaha nad omezením tepelných ztrát a tím samozřejmě i omezením provozních nákladů zásobníku. Po obecnějším teoretickém popisu problematiky ohřevu užitkové vody následuje konkrétní aplikace uvedených poznatků a interpretace výsledků v programu MATLAB včetně úvodního slova k volbě a funkci tohoto softwaru.

1. Ohřev užitkové vody

Užitková voda může být ohřívána řadou různých energetických zdrojů s vhodně přizpůsobenou velikostí a formou dodávané energie. Tato kapitola stručně popisuje vlastnosti a vhodnost užití běžně dostupných energetických zdrojů včetně závěrečného resumé. Funkci energetického zdroje při ohřevu užitkové vody charakterizuje následující blokové schéma.

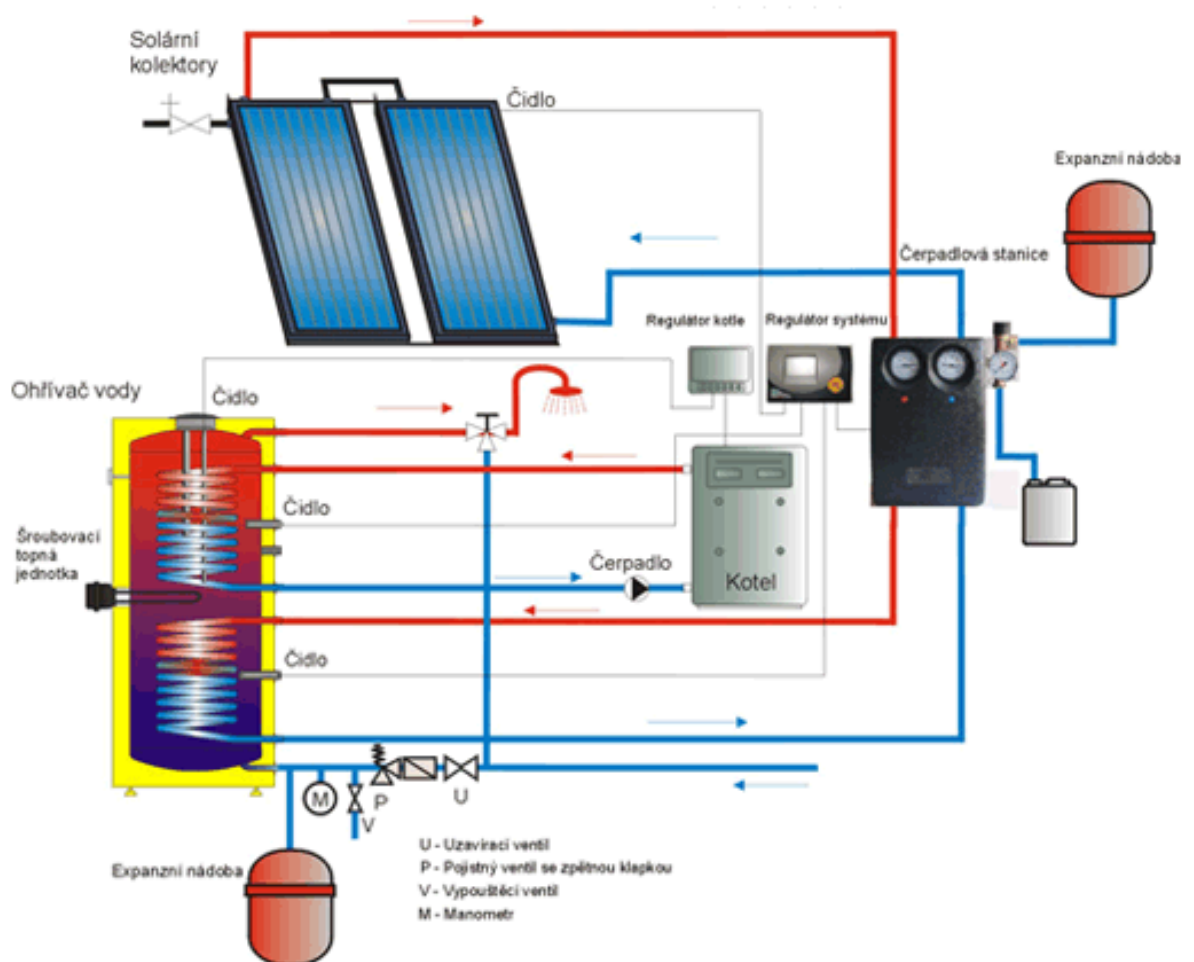


Obr. č. 1: Význam energetického zdroje v procesu ohřevu vody.

1.1 Energetické zdroje pro ohřev TUV

- *Solární kolektory*

Pod tímto pojmem jsou sruženy dva typy kolektorů a to fototermický kolektor a fotovoltaický kolektor. Fototermický kolektor je založen na principu ohřevu kapalného teplotního média slunečním zářením. Toto teplotní médium cirkuluje mezi kolektorem a teplotním výměníkem v akumulátoru. Fovoltaiický kolektor pracuje na základě využívání fotoelektrického jevu polovodičové diody. Paralelní či sériovou kombinací značného množství těchto diod lze sestavit fotovoltaické panely generující elektrickou energii úměrnou aktuálnímu stavu solárního záření. Uvedené schematické znázornění (*Obr. č. 2*) kompletního systému ohřevu TUV s využitím solárních kolektorů pochází z webových stránek družstevních závodů Dražice, které jsou největším výrobcem ohřivačů vody v ČR a mají rovněž celoevropský význam.



Obr. č. 2: Schematické znázornění kompletního solárního systému[2].

Solární kolektory absorbují energii vysílanou sluncem a ohřívají tím teplotnosné médium, které jimi proudí. Posléze toto teplotnosné médium přejde do ohříváče vody. Není-li výkon solárních kolektorů dostatečný, lze využít i výkonu dodaného elektrickou tepelnou jednotkou či pomocí horního výměníku kotlem. Se správně nainstalovaným solárním systémem lze ušetřit ročně až 70 % výdajů za energii potřebnou pro ohřev TUV[1].

Klady: Relativně nízké pořizovací náklady za kompletní systém (60 000 Kč až 80 000 Kč, [2]), návratnost investice přibližně za 10 let [3] (nutno zdůraznit, že solární kolektory pracující na fototermitické bázi nemůžou na rozdíl od fotovoltaických panelů peníze vydělávat, ale pouze je šetřit a rovněž je na místě prozkoumat aktuální nabídky státních dotací označovaných jako „Zelená úsporám“, s jejichž využitím se můžou pořizovací náklady podstatně omezit), šetrnost k životnímu prostředí, solidní možnost regulace (problém vyvstává pouze v létě, kdy může dojít u nekvalitně navržených systémů k přehřívání kolektorů).

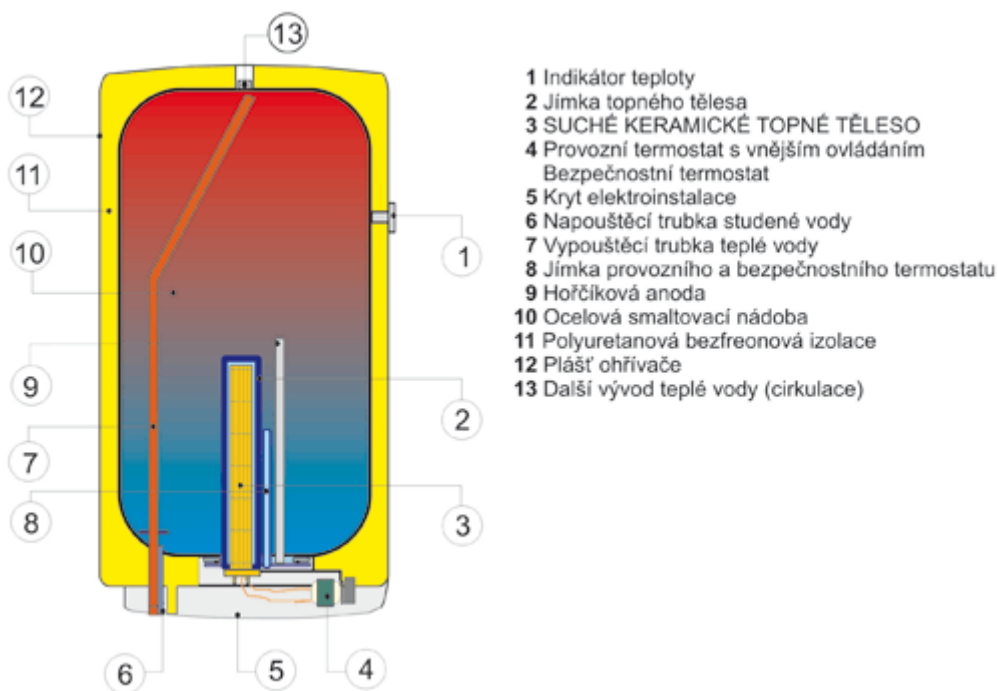
Zápory: Nutná počáteční investice, relativně nízká životnost samotných kolektorů – přibližně 10 let, mnohdy obtížná instalace kolektorů spojená s fyzickým uspořádáním osazovaného objektu, náchylnost běžně instalovaných plochých kolektorů ke klesání účinnosti při mírně horších meteorologických podmínkách – toto lze eliminovat pořízením vakuových kolektorů, které jsou ovšem podstatně dražší.

- **Elektrické ohřivače**

Ohřev TUV pomocí elektrických ohřivačů je asi nejjednodušší možnou volbou z hlediska instalace a údržby. Na rozdíl od fosilních paliv není potřeba budování komínu pro odvod odpadních produktů spalování a v porovnání s využíváním solárních kolektorů mluví ve prospěch elektrických ohřivačů nesrovnatelně jednodušší instalace a o poznání nižší provozní náklady. Samotný ohřev vody je standardně realizován pomocí keramického suchého tělesa, které bývá mnohdy napájeno třífázovým vedením. Velká část prodávaných EO dovoluje připojení na HDO, což fakticky vede ke zdatelné úspoře provozních nákladů. Důležitým parametrem elektrických ohřivačů je ztráta tepla za 24 hodin po ohřátí, která by měla být optimálně nižší než 6 Wh/l [4].

Klady: Při správné instalaci velmi bezpečný provoz, jednoduchost montáže, estetičnost moderních elektrických ohřivačů, hygienický ohřev TUV, výborné možnosti regulace, nulový odpad a spaliny, možnost připojení na HDO (typicky dle sazby D25d, [5]).

Zápory: Nákladnější provoz bez jakékoli možnosti návratnosti investice, nutnost mohutnějšího dimenzování elektrických rozvodů.



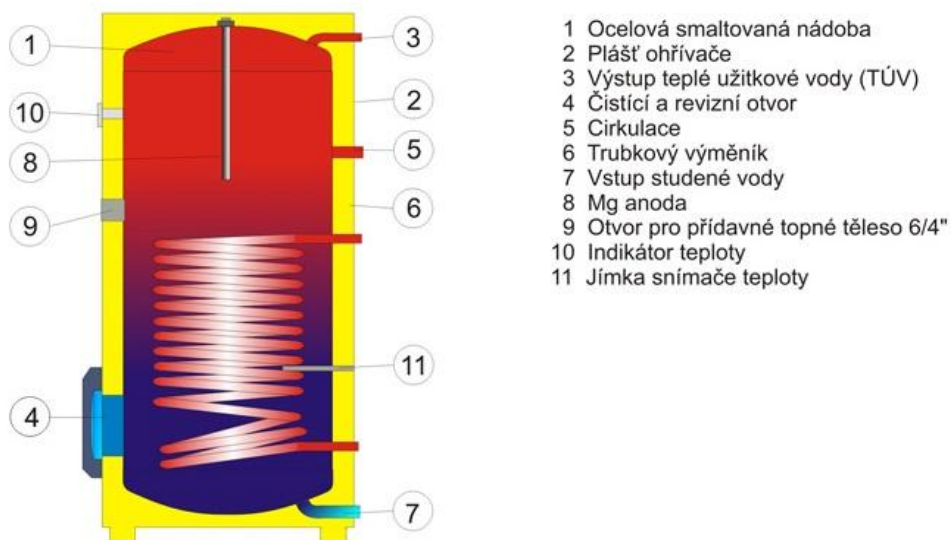
Obr. č. 3: Řez typickým elektrickým ohřivačem vody [6].

- **Fosilní paliva**

Užití fosilních paliv pro ohřev TUV připadá v úvahu hlavně při používání tohoto typu ohřevu pro vytápění budovy. V dnešní době jsou nejčastěji užívanými fosilními palivy pro vytápění domácností uhlí a zemní plyn, přičemž v blízkém časovém horizontu se může ke slovu dostat rozmáhající se vytápění pomocí topných olejů. Ohřev TUV pomocí uhlí (či dřeva) je v domácích podmínkách velmi nepraktický, jelikož zpravidla nejde pohodlně řídit. Existují poměrná nákladná, částečně automatizovaná, zařízení pro spalování uhlí či dřeva s dávkovacím zásobníkem, ale jejich užití v menších objektech není zrovna praktické, jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska údržby a potřeby postupného doplňování topného materiálu. Poměrně praktické je vytápění plynem, které se nechá velmi dobře řídit, ale i tak s sebou přináší řadu úskalí.

Klady: Poměrně malé pořizovací náklady pro ohřev TUV při využití stávajícího systému pro otopné jednotky, velmi dobrá říditelnost vytápění, únosné provozní náklady.

Zápory: Nutnost častých revizí topného systému, nezanedbatelná bezpečnostní rizika spojená s nekvalitní instalací či možnou závadou výrobku, spaliny, nepříliš šetrné k životnímu prostředí.



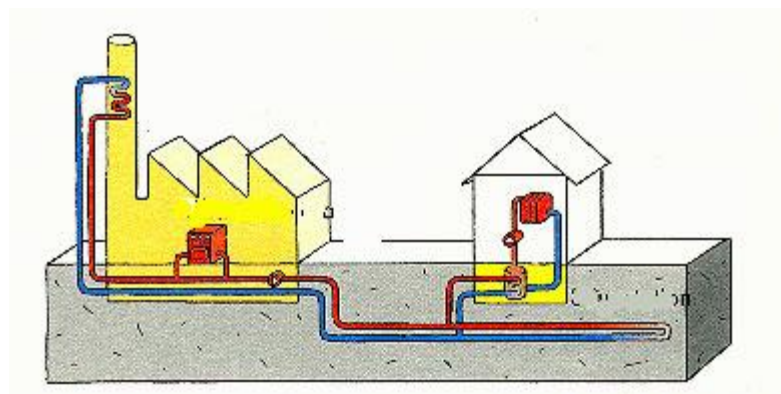
Obr. č. 4: Řez typickým nepřímotopným ohřivačem TUV [7].

- **Dálkové vytápění**

Principálně je tato metoda založena na přenosu teplé vody rozvodným systémem z teplárny až k odběrateli, z čehož vyplývají hned dva hlavní nedostatky a to značná ztrátovost při přenosu a nutnost přítomnosti nedaleké teplárny, díky čemuž je provoz takového systému ekonomický pouze ve větších městech. Vystává zde otázka, proč je potřeba různých tepelných výměníků zapojených v rozvodném systému a proč není možné ohřátou vodu dodanou teplárnou rovnou užívat například k mytí rukou či topení. Mezi základní problémy takového přímého užívání patří nutnost masivního dimenzování vodovodního systému v budovách, kde by mohl velký tlak v rozvodném systému způsobit havárii. Rovněž je zde fakt, že tento rozvodný systém by podléhal značnému zanášení například vlivem koroze otopných těles. Z těchto (a mnoha dalších důvodů) je nutná separace primárního („teplárenského“) a sekundární („domácího“) okruhu, čímž je opět nasnadě využít nepřímotopných ohříváčů vody (viz **Obr. č. 4**).

Klady: Nízké pořizovací náklady nepřímotopného ohříváče vody, radikální rozdíl v šetrnosti k životnímu prostředí oproti spalování fosilních paliv (teplárny sice také zpravidla spalují fosilní paliva, nicméně výstupní filtrace odpadních produktů je zde na nesrovnatelně lepší úrovni), snadná instalace ohříváče, relativně nízké provozní náklady.

Zápory: Dálkové vytápění je zpravidla dostupné pouze ve větších městech.



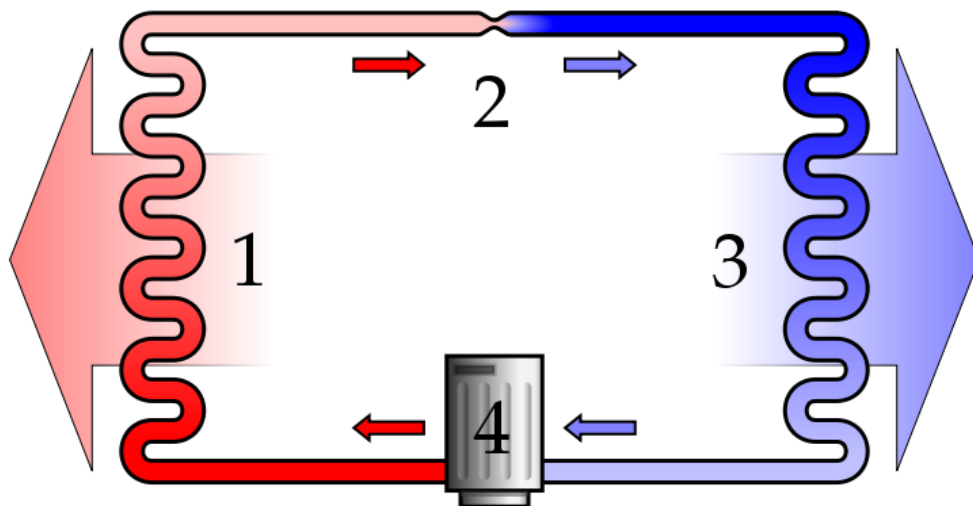
Obr. č. 5: Princip funkce dálkového vytápění[8].

- **Tepelná čerpadla**

Tepelná čerpadla pracují na principu reverzního Carnotova cyklu. Prakticky se velkého využití dostává tepelnému čerpadlu označovanému jako země/voda. Nemrznoucí kapalina s velmi nízkou teplotou varu absorbuje v podzemním kolektoru nízkopotenciální energii. Po absorbování energie touto kapalinou dojde ke změně fáze, při které přejde do plynného stavu a tento plyn je následně kompresorem stlačen pro dosažení vysoké teploty. Horký plyn postupně ve výměníku předá vodě absorbovanou energii a zkondenzuje. Využívání jsou dva hlavní typy instalace tepelných čerpadel do země a to zavedení hloubkovým vrtem (typicky 100 až 150 m[9]) nebo plošná instalace pod povrch (typicky 1,2 až 1,5 m[10]).

Klady: Nízké provozní náklady, relativně rychlá instalace plošných kolektorů (není třeba stavebního povolení).

Zápory: Velká počáteční investice (kompletní zařízení typicky s cenou 200 000 – 250 000 Kč), nutnost stavebního povolení pro provádění hloubkových vrtů, problémy s odvodušněním u plošných kolektorů v případě nerovného terénu.



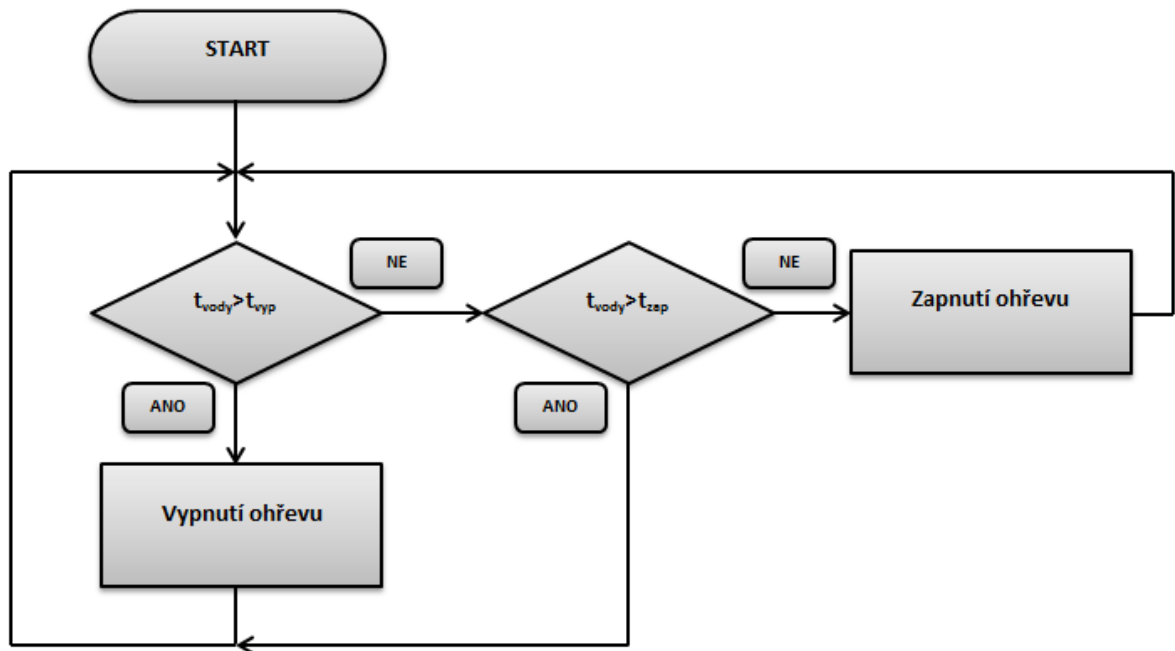
Obr. č. 6: Princip tepelného čerpadla (1. kondenzátor, 2. tryska, 3. výparník, 4. kompresor)[11].

1.2 Zhodnocení energetických zdrojů pro ohřev TUV

Nejlepší dojem ve mě zanechává ohřev TUV pomocí solárních kolektorů, který nevyžaduje opravdu velkou počáteční investici (jako tepelné čerpadlo), speciální lokalitu (jako dálkové vytápění) ani přítomnost otopného systému na bázi fosilních paliv. Počáteční náklady v řádu několika desítek tisíc korun, které je aktuálně ještě možno výrazně zredukovat využitím státní dotace (návratnost odhadem za 3 – 5 let), nejsou zas tak horentní a tak solární kolektory poráží i dražší elektrické ohřívače napájené přímo ze sítě. Šetrnost k životnímu prostředí a poměrně snadná instalace jsou už jen dalšími klady této technologie.

2. Funkce termostatu zásobníku

2.1 Vývojový diagram funkce termostatu zásobníku TUV



Obr. č. 7: Vývojový diagram popisující funkci termostatu zásobníku TUV.

2.2 Popisvývojového diagramu

Při startu procesu dojde k porovnání aktuální teploty vody s vypínací teplotou termostatu. Je-li aktuální teplota vody v zásobníku TUV menší než vypínací teplota termostatu, dojde k porovnání se zapínací úrovní teploty. Je-li aktuální teplota vody nižší než zapínací úroveň, je tu nutné vodu v zásobníku ohřát. Tento ohřev probíhá do doby, než aktuální teplota vody překročí vypínací úroveň, čímž dojde i k vypnutí ohřevu vody. Ohřev opět začne v okamžiku, kdy teplota vody v zásobníku poklesne pod zapínací úroveň.

3. Omezení tepelných ztrát a provozních nákladů

3.1 Možné pohledy na problematiku

Na restrikci tepelných ztrát je možno nazírat jako na problém technologický nebo jako na problém provozní. Technologické omezení tepelných ztrát je v zásadě možné provádět pouze změnami v hardwarové konfiguraci zařízení, což je spojeno s vyššími investičními náklady a také nezbytnými odbornými znalostmi, z čehož vyplývá, že rozbor možností technologických úprav pro omezení tepelných ztrát by značně přesahoval rámec této bakalářské práce. Z běžně prováděných technologických úprav z důvodu zamezení tepelných ztrát je důležité jmenovat následující: tepelná izolace trubek, využívání expanzní nádoby, vhodná volba vzdálenosti odběrného místa. Z praktického hlediska je vhodné věnovat se zejména omezením tepelných ztrát vhodnou volbou provozního režimu. V předchozí kapitole byla popsána opravdu základní funkce termostatu zásobníku TUV, kterou lze do jisté míry modifikovat níže uvedenými faktory:

- ***HDO – Nízký tarif***

Využíváním základní dvoutarifní sazby D25d lze podstatně ušetřit za elektrickou energii. Běžně udávaná hodnota úspory je při využívání elektrického ohřevu TUV až 20 % [5]. Ze specifikací této sazby vyplývá, že distributor je povinen zprostředkovat odběrateli platnost nízkého tarifu minimálně po 8 hodin denně. Maximálně tři časové intervaly platnosti nízkého tarifu musí být delší jedné hodiny. Informace o momentální platnosti nízkého tarifu je předávána pomocí HDO (hromadné dálkové ovládání). Zřízení dvoutarifní sazby je ovšem podmíněno i splněním určitých požadavků kladených na odběratele. V odběrném místě musí být řádně instalován akumulární spotřebič pro ohřev užitkové vody a odběratel rovněž musí zajistit blokaci elektrických akumulárních spotřebičů po dobu platnosti nízkého tarifu. Splnění těchto podmínek musí být dokladováno revizní zprávou. Následuje kontrola ze strany příslušného distributora (ČEZ, E.ON, PRE). Tuto kontrolu provede firemní technik při zapojení HDO.

- ***Denní diagram spotřeby TUV***

Velmi podstatnou úsporu může přinést vhodné načasování ohřevu užitkové vody. Každá domácnost má svůj specifický denní rytmus odběru, který je záhodno respektovat. Typická čtyřčlenná rodina (rodiče s dvěma mladšími dětmi) bude mít v ranních hodinách zvýšený odběr TUV kvůli provádění hygienických potřeb (mytí rukou, sprchování, atd.). V dopoledních hodinách spotřeba teplé vody citelně poklesne, neboť bude domácnost pravděpodobně opuštěná. V brzkých odpoledních hodinách spotřeba opět citelně naroste vlivem spotřeby vody například k mytí nádobí či úklidu a jistě také k menším hygienickým úkonům. V pozdně odpoledních hodinách bude spotřeba teplé vody opět typicky menší a vyšších hodnot bude dosahovat v hodinách večerních. V průběhu noci může teplota vody v zásobníku bez problému poklesnout. Je tedy výhodné používat regulační zařízení respektující denní diagram využití teplé vody.

- ***Odstavení provozu po dobu nepřítomnosti***

Na rozdíl od předchozích dvou faktorů, promítajících se do nákladů za ohřev užitkové vody, je tento závislý pouze na odběrateli a potenciální logika predikce regulačního zařízení (vycházející z nedávné historie odběru TUV – tzn. miněň stav, kdy například není ze zásobníku TUV po dobu 12 hodin odčerpáno sebemenší množství vody) by byla značně diskutabilní. Je tedy na odběrateli vyvarovat se zapomnětlivosti a tím snížit provozní náklady zásobníku například při několikedenní nepřítomnosti. Určitou pomocí v této oblasti může být využívání regulačního zařízení, které je schopno pracovat s povely předávanými prostřednictvím GSM protokolu (povelové SMS) a tím tedy upravit svůj režim chodu na prakticky libovolnou vzdálenost od správce zařízení.

3.2 Výrobky řady OKHE SMART

Družstevní závody Dražice mají ve své nabídce přibližně od roku 2012 velice zajímavou řadu elektrických inteligentních ohřívačů vody s elektronickým termostatem umožňujícím připojení na HDO a tím pádem tedy využívání snížené sazby elektřiny. Z příložené části firemní dokumentace vyplývá vysoká technologická vyspělost produktu, jejíž pomyslnou špičkou je takřka behaviorální úprava funkce chodu termostatu. Velice zajímavě působí i funkce *Antifrost*, která částečně eliminuje riziko poškození rozvodů vody. Výrobce provedené provozní studie ukazují na přibližně 30% úsporu s využitím vhodně dimenzovaného výrobku řady OKHE SMART a rovněž hovoří o návratnosti investice v časovém horizontu okolo pěti let. Více informací na **Obr. č. 8**.

Režimy elektronického termostatu

NORMAL

Režim, ve kterém regulátor udržuje ohřívač na konstantní užitvatelem nastavené teplotě v rozmezí 5 až 65 °C. Standardní funkce termostatu udržuje ohřívač stále nahřátý na nastavenou teplotu stejně jako stávající kapilárové termostaty.

HDO

Regulátor udržuje ohřívač na konstantní užitvatelem nastavené teplotě v rozmezí 5 až 65 °C pouze v době, kdy je detekován *nízký cenový tarif* el. energie.

ECO

Stejná funkce jako v režimu NORMAL, pouze je omezena maximální dosažitelná teplota na 55 °C.

Smart

V tomto režimu regulátor prochází dvěma fázemi s cílem *ušetřit minimálně 10 % elektrické energie* oproti režimu NORMAL. V první se během jednoho kalendářního týdne udržuje konstantní teplota ohřívače a sleduje se chování uživatele z hlediska odběru vody. Tyto informace se zaznamenávají a následně zpracovávají. V druhé fázi regulátor aplikuje informace získané z první fáze tak, aby připravil pouze takové množství vody, které uživatel v daném čase spotřebuje s určitou rezervou pro případ nečekaného odběru vody. V této fázi nadále dochází ke sběru a vyhodnocování informací o odběrech vody. Takto získané informace se aplikují takovým způsobem, aby docházelo k nepřetržitému přizpůsobování se požadavkům uživatele. Ohřívač nesmí ani při režimu SMART nikdy vychladnout – minimální teplota 45 °C.

Smart HDO

V tomto režimu pracuje ohřívač s přívodem levné elektřiny HDO. Teplota vody se v prvním týdnu (učení) nastaví automaticky na konstantní teplotu 65 °C. Rozhodnutí navýšení nebo naopak snížení teploty probíhá automaticky od druhého týdne po zapnutí tohoto režimu. Ohřívač tedy sám nastavuje teplotu pro každý den zvlášť s ohledem na potřeby uživatele.

Antifrost

Režim odstavení provozu ohřívače. Zde je pouze zabezpečeno to, že teplota vody v ohřívači neklesne pod 5 °C (podmínkou je přívod el. energie). Funkce je aktivní ve všech režimech kromě režimu STOP.

Stop

V žádném případě nesmí dojít k zapnutí topného tělesa, je vyřazena i funkce ANTIFROST.

Ve všech režimech je navíc hlídána minimální teplota 5 °C, pokud dojde k poklesu pod tuto hodnotu spustí se topné těleso, nutný je pouze přívod el. energie.

Obr. č. 8: Ukázka z firemní dokumentace DZD [12].

4. Simulace funkce zásobníku TUV

4.1 Volba simulačního SW a jeho stručná charakteristika

Teplotní a energetickou bilanci zásobníku TUV lze nejjednodušeji řešit na základě kalorimetrické rovnice. Tato rovnice je z matematického hlediska algebraická a lineární a její řešení tedy není podmíněno užitím složitých programů schopných řešit například diferenciální kalkulus. Ke značnému usnadnění simulace činnosti ovšem vede využití jednoduché algoritmy a tak jsem zvolil užití programového systému MATLAB vyvíjeného společností TheMathWorks, Inc. Kromě relativně jednoduchého programovacího jazyka (s možností efektivní prezentace výsledků) jsem tento program volil i na základě absolvování předmětu, zabývajícího se právě prací s MATLABem, v rámci mého studijního programu.

MATLAB je integrované prostředí vhodně zejména pro modelování, analyzování, zpracování a grafickou interpretaci dat, řešení matematických úloh, tvorbu algoritmů atd. Kromě základních očekávaných částí jako jsou: výpočetní jádro, základní pracovní nástroje a integrované grafické rozhraní; obsahuje SW i takzvané „ToolBoxy“, což jsou speciální nástrojové balíky pro užití ve specifických vědních a inženýrských disciplínách (matematika, genetika, neurobiologie, astrofyzika, atd.). MATLAB je vystavěn na základě práce s maticemi (potažmo vektory a skaláry), což dokladuje vznik tohoto akronymu složením slov MATRIX a LABORATORY – volně přeloženo „maticová laboratoř“.

4.2 Typické intervaly platnosti NT a orientační spotřeba vody

	Dny v týdnu	
	Po - Pá	So - Ne
Platnost NT [h]	01:00 - 6:10	4:35 - 9:20
	15:00 - 17:00	17:00 - 19:00

Tab. č. 1: Intervaly platnosti nízkého tarifu

Průměrná aktuální cena elektřiny je přibližně 7 Kč/kWh pro VT a 3 Kč/kWh pro NT.

Druh odběru	Teplota vody °C	Denní spotřeba vody l
Mytí rukou	37	3 – 6
Mytí hlavy	40	5 – 10
Sprchování	40	50 (přesněji v tabulce 1)
Vanová lázeň	40	150
Vanová lázeň se sprchováním	50	150 – 200
Mytí nádobí	50 – 60	5 – 10
Úklid	50 – 60	5 – 10

Obr. č. 9: Orientační spotřeba teplé vody na člověka[13].

4.3 Volba parametrů ohřivače TUV

Volba parametrů ohřivače TUV musí být založena na co možná nejpřesnějším odhadu reálného provozu v konkrétní domácnosti. Při značném předdimenzování zásobníku by došlo k nezanedbatelné ztrátě finančních prostředků z důvodu vysokých pořizovacích a provozních nákladů. Ovšem ještě horší by byla situace, kdy by nainstalovaný systém ohřevu TUV nebyl dostatečně dimenzovaný a uživatel by se kontinuálně potýkal s problémy nedostatku TUV. Je tedy vhodné zvolit objem ohřivače na základě zkušeností některého z výrobců.

Způsob ohřevu		Elektricky						Plyn, dřevo, uhlí (celoročně neomezeně)
		malá		střední		vysoká		
Předpoklad spotřeby								
Denní/noční proud		denní	noční	denní	noční	denní	noční	
Počet osob	1	20	50	50	80	100	160	80
	2	20	50	80	125	125	200	100
	3	50	80	100	160	160	200	100
	4	80	125	125	180	180	250	125
	5	100	160	160	200	250	300	160
	6	125	180	200	300	300	500	200
	7 >	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt

Obr. č. 10: Výběr minimálního objemu ohřivače TUV v litrech[14].

Pro typickou rodinu (dva rodiče, dvě děti) je tedy vhodné zvolit hodnotu velikosti objemu zásobníkového ohřivače v rozmezí 125 až 250 litrů za předpokladu, že bude voda ohřívána v době platnosti NT. V úvahu připadají výrobky řady OKCE, které produkují DZD. Parametry těchto vyráběných kulatých závěsných ohřivačů jsou zobrazeny na **Obr. č. 11**. Dostačující volbou by měl být ohřivač OKCE 160 s objemem 152 litrů.

Typ	OKCE 50	OKCE 80	OKCE 100	OKCE 125	OKCE 160	OKCE 180	OKCE 200
Objem [l]	51	80	100	125	152	180	200
Maximální provozní tlak nádoby [MPa]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Napětí [V]	230	230	230	230	230	230	230
Příkon [W]	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 200	2 200
Elektrické krytí	IP 45	IP 45	IP 45	IP 45	IP 45	IP 45	IP 45
Výška ohřívače [mm]	561	736	881	1 046	1 235	1 200	1 300
Průměr ohřívače [mm]	524	524	524	524	524	584	584
Maximální hmotnost ohřívače bez vody [kg]	30	36	42	48	58	72	76
Doba ohřevu elektrickou energií z 10 °C na 60 °C [hod]	1,5	2,5	3	3,8	5	5	5,5
Tepelné ztráty/třída energetické účinnosti [kWh/24 hod]	0,45/C	0,71/C	0,88/C	1,09/C	1,39/C	1,39/C	1,4/B

Obr. č. 11: Parametry ohřívačů řady OKCE [15].

4.4 Příklad řešení kalorimetrické rovnice

Problematika spojená s ohřevem teplé užitkové vody se řeší na základě znalosti kalorimetrické rovnice, která má následující předpis:

$$Q_1 = Q_2 \quad (4.1)$$

$$m_1 c_1 (t - t_1) = m_2 c_2 (t_2 - t) \quad (4.2)$$

Kalorimetrická rovnice je tedy formulována na základě předpokladu, že teplo Q_1 předané teplejším tělesem chladnějším tělesu se rovná teplu Q_2 , které přijme chladnější těleso od teplejšího tělesa[16].

Význam kalorické rovnice při simulaci provozu zásobníku TUV demonstruje následující příklad, který popisuje výpočet nutného dodaného množství teplé vody, pro dosažení požadované teploty vody při sprchování. Příklad je sestaven s těmito výchozími parametry:

Doba sprchování: $t_{sprch} = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$

Průtok vody: $Q_{sprch} = 10 \text{ l/min}$

Přibližný převodní poměr mezi objemem (l) a hmotností vody (kg): 1

Teplota teplé vody: $t_{tep} = 60 \text{ °C}$

Teplota studené vody: $t_{stud} = 10 \text{ °C}$

Požadovaná teplota vody ve sprše: $t = 40 \text{ °C}$

Celkový objem a celková hmotnost spotřebované vody:

$$V = Q_{sprch} \times t_{sprch} \quad (4.3)$$

$$V = 10 \times 5 = 50 \text{ l}$$

$$V = 50 \text{ l} \sim m_{součet} = 50 \text{ kg}$$

Celková hmotnost vody:

$$m_{součet} = m_{stud} + m_{tep} \quad (4.4)$$

Kalorimetrická rovnice s indexací pro daný případ:

$$m_{stud} c_{vody} (t - t_{stud}) = m_{tep} c_{vody} (t_{tep} - t) \quad (4.5)$$

Z rovnic (4.4) a (4.5) lze odvodit výsledný vztah pro potřebnou hmotnost teplé vody:

$$m_{tep} = \frac{m_{součet}}{\left(1 + \frac{t_{tep} - t}{t - t_{stud}}\right)} \quad (4.6)$$

$$m_{tep} = \frac{50}{\left(1 + \frac{60-40}{40-10}\right)} = 30 \text{ kg}$$

Z výsledné hodnoty tedy vyplývá, že pro pětiminutové sprchování s průtokem vody 10 l/min je potřeba přibližně 30 litrů teplé vody z ohřivače.

4.5 Simulace v programu MATLAB

Předpoklady:

Komplexní simulace funkce zásobníku TUV by byla jen obtížně realizovatelná a proto je vhodné zavést určitá zjednodušení, která mohou značně vylepšit řešitelnost problematiky a zároveň nesmí příliš zkreslit výsledky samotné simulace. Je tedy vhodné zanedbat tepelnou ztrátu (vlivem předávání tepla mezi zásobníkem a jeho okolím) v průběhu ohřevu vody a rovněž v průběhu odběru vody (odběr probíhá zpravidla impulzně – tzn. 5 minut sprchování, 30 sekund mytí rukou atd. – a součtový čas odběru nenabývá vysokých hodnot).

Vstupní parametry simulace:

Objem zásobníku TUV: $V = 152 \text{ l}$

Hmotnost vody v zásobníku TUV: $m_{tep} = 152 \text{ kg}$

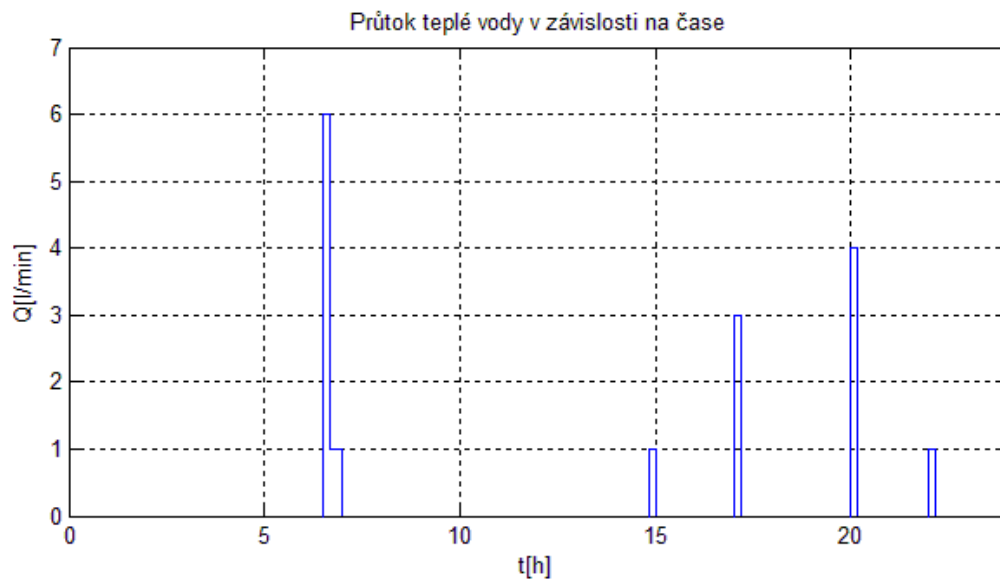
Teplota studené vody: $t_{stud} = 10 \text{ °C}$

Zapínací teplota termostatu: $t_{zap} = 50 \text{ °C}$

Vypínací teplota termostatu: $t_{vyp} = 60 \text{ °C}$

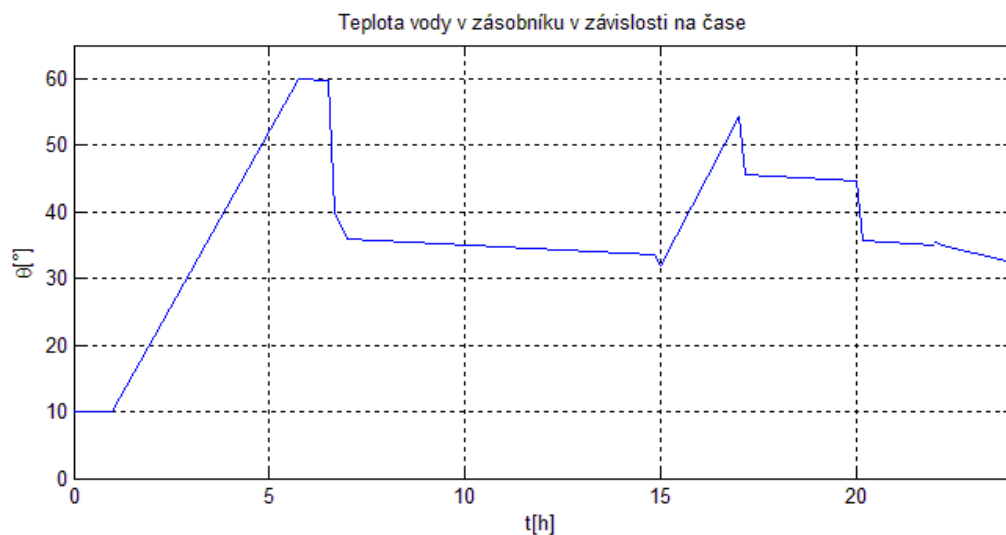
Příkon topné spirály: $P = 2000 \text{ W}$

Tepelné ztráty: $\Psi = 1,39 \text{ kWh/24 h}$



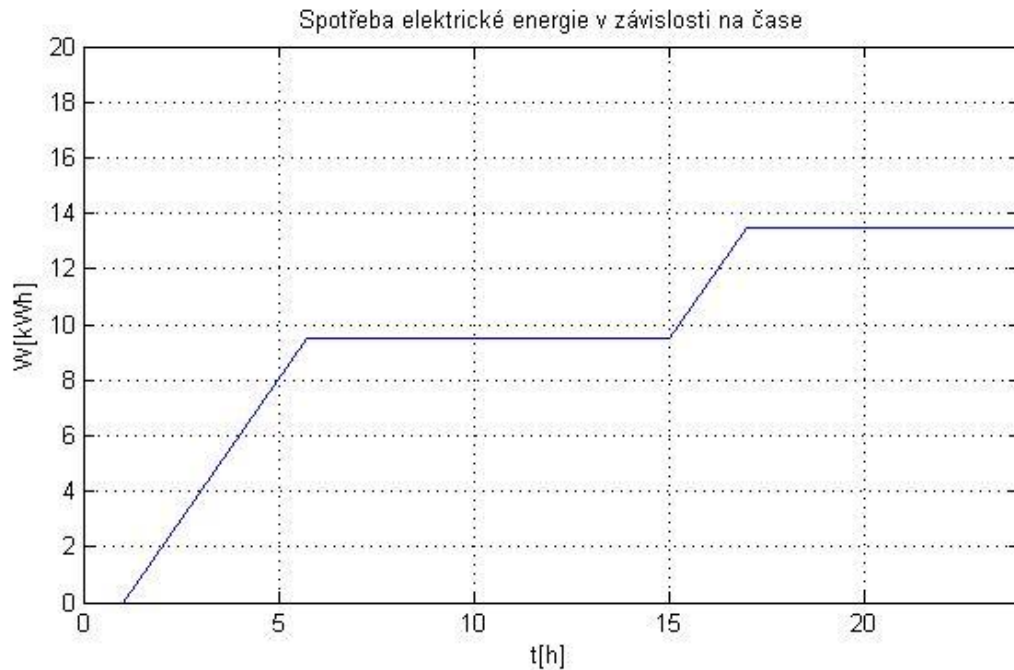
Graf. č. 1: Závislost průtoku teplé vody na čase.

Výše uvedená grafická závislost je odhadem typické denní spotřeby vody. Ranní spotřeba je vlivem hygienických úkonů vysoká a v průběhu dopoledne je nulová. V odpoledních hodinách opět narůstá a vrcholí v hodinách večerních. Následující graf vyjadřující teplotu v zásobníku TUV v závislosti na čase je sestaven na základě tohoto odhadu typické denní spotřeby teplé vody.



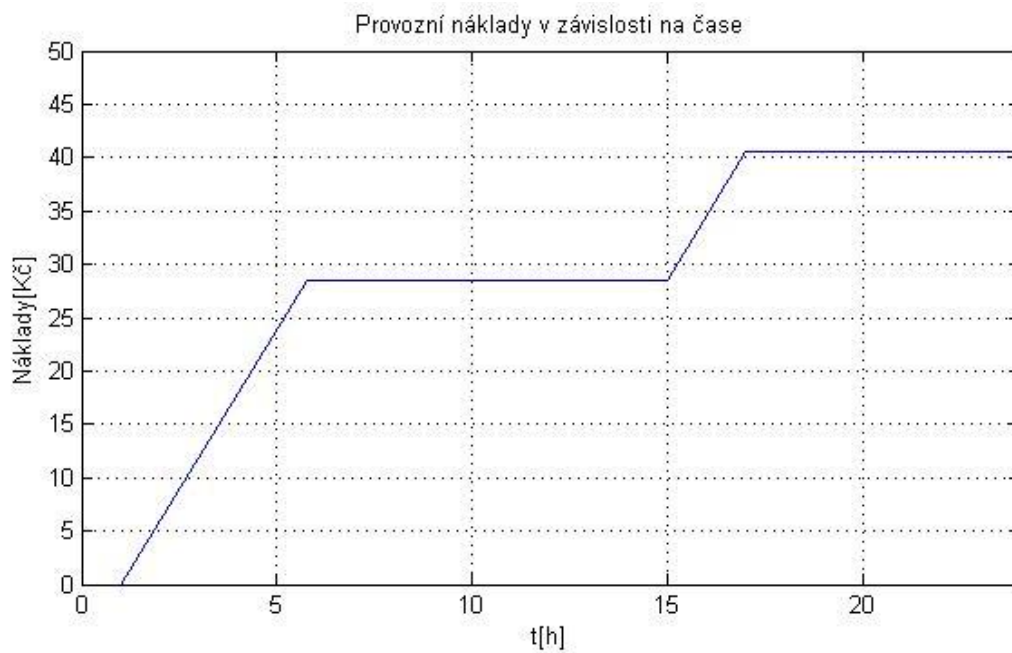
Graf. č. 2: Závislost teploty vody v zásobníku TUV na čase.

Graf. č. 2 reflektuje denní spotřebu vody. Jak je patrné z nízké výchozí teploty, jedná se o první denní cyklus provozu zásobníku TUV. V následujících denních cyklech bude probíhat první fáze ohřevu s vyšší počáteční teplotou a tak nebudou provozní náklady tak vysoké, jako v den první.



Graf. č. 3: Závislost spotřeby elektrické energie na čase.

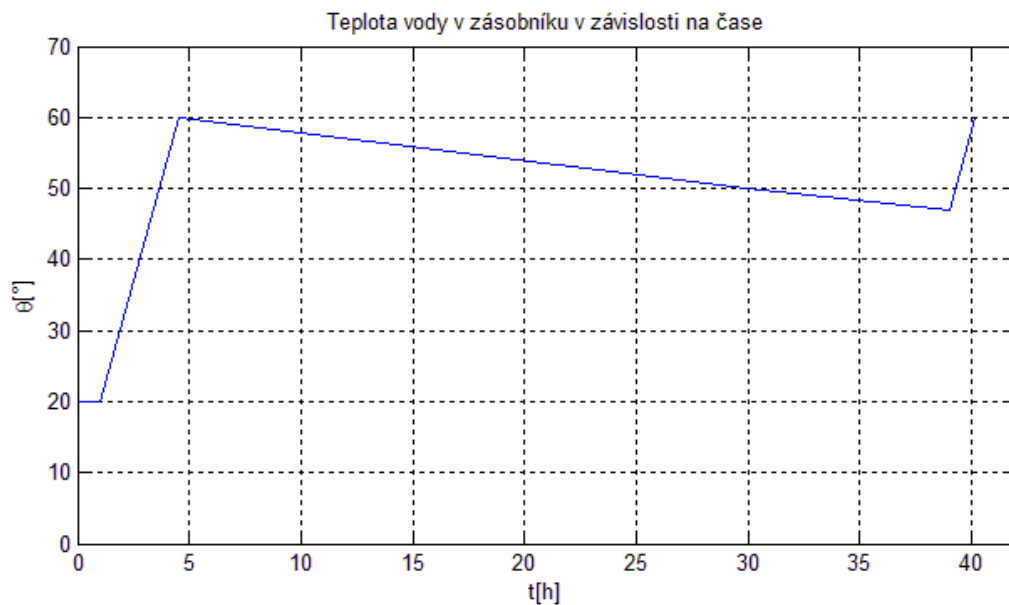
Graf. č. 3 zobrazuje denní rozložení spotřeby elektrické energie pro ohřev TUV. Elektrická energie je ze sítě odebírána topným tělesem a je přeměněna v energii tepelnou a následně předána vodě. Odpovídající nárůst denních provozních nákladů reprezentuje **graf. č. 4**.



Graf. č. 4: Závislost provozních nákladů zásobníku TUV na čase.

Cena elektrické energie spotřebované pro ohřev TUV v prvním denním cyklu provozu ohřívače, a s typickým denním diagramem odběru vody, dosahuje 40,5 Kč. V následujících dnech bude první fáze ohřevu začínat na vyšší výchozí teplotě a tak by měly být denní náklady nižší – cca. 35 Kč. Na základě těchto skutečností by součet provozních nákladů za jeden rok měl atakovat hranici 13 000 Kč.

Důležitou otázkou je na jak dlouhou dobu se vyplatí zásobník TUV vypínat. Vypovídající hodnotu má v tomto případě **Graf. č. 5**, ze kterého je patrné, že díky kvalitní tepelné izolaci klesá teplota vody v zásobníku TUV velmi pozvolna. V počátku je spotřeba elektrické energie pro ohřev mírně vyšší, jelikož je voda ohřívána z poměrně nízké teploty, ale v průběhu dalšího dne lze pozorovat, že denní náklady na ohřev jsou bez odběru TUV takřka zanedbatelné.



Graf. č. 5: Závislost teploty vody v zásobníku TUV na čase – bez odběru.

5. Závěr

Ze získaných grafických závislostí lze vyvodit závěr, že vypínání zásobníku nemá valný smysl, pokud nebudeme například na dlouhé dovolené (týden a více), protože po prvním nahřátí vody na požadovanou úroveň, jsou tepelné ztráty tak malé, že denní náklady na provoz nevyužívaného zásobníku TUV jsem v řádu jednotek korun. Pouze v případě delší nepřítomnosti by bylo vhodné zásobník odstavit a omezit tak zbytečné výdaje za elektřinu.

Roční provozní náklady, které dosahují se zvoleným výrobkem a spotřebou vody přibližně 13 000 Kč, nejsou nikterak zanedbatelné a tak by bylo vhodné uvažovat o alternativě k ohřevu užitkové vody na čistě elektrické bázi bez využití inteligentního řízení. Ekonomicky i ekologicky vhodnou alternativou, která už byla nastíněna v první kapitole, může být využívání solárních kolektorů. Další finančně zajímavé alternativní řešení vidím v již zmiňovaných výrobcích řady OKHE SMART, které jsou schopny inteligentním provozem termostatu zásobníku eliminovat provozní náklady v řádu desítek procent, což je ovšem vykoupeno vyšší pořizovací cenou.

Použité zdroje informací

- [1] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE – ÚVODNÍ STRANA, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.dzd.cz>.
- [2] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE - CENÍK, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.dzd.cz/index.php/cs/cenik#solary>
- [3] REGULUS, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/na-tema-fototermicke-slunecni-kolektory-s-ing-pavlem-dufkem>
- [4] E.ON., Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.eon.cz/file/edee/cs/domacnosti/zakaznický-servis-elektrina/informacni-materialy/priprava-teple-vody.pdf>
- [5] CENY ENERGIE, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/elektrina/clanky/sazby-d25d-a-d26d-ohrev-vody-a-akumulacni-kamna.aspx>
- [6] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-ELEKTRICKÉ OHŘÍVAČE, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.dzd.cz/index.php/cs/ohrivace-vody-bojlery/elektricke-ohrivace-vody/zavesne-svisle/okce-kulate>
- [7] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-NEPŘÍMOTOPNÉ OHŘÍVAČE, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.dzd.cz/index.php/cs/ohrivace-vody-bojlery/neprimotopne-ohrivace-vody/stacionarni-0-6mpa/s-bocni-prirubou>
- [8] VODA, TOPENÍ, PLYN, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/dalkove.php>
- [9] IVT-ZEMĚ/VODA-VRT, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt>
- [10] IVT-ZEMĚ/VODA-PLOCHA, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>
- [11] WIKIPEDIA-TEPELNÉ ČERPADLO, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Heatpump.svg>
- [12] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-REKLAMNÍ LETÁK, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: http://www.dzd.cz/images/download/letak_smart_2_generace_cena.pdf
- [13] ČESKÁ ENERGETIKA, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.ceskaenergetika.cz/image.php?idx=913&mh=250>
- [14] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-VÝBĚR OHŘÍVAČE, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.dzd.cz/index.php/cs/profil/vyber-ohrivace>
- [15] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-DATOVÝ LIST, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: <http://www.dzd.cz/index.php/cs/ohrivace-vody-bojlery/elektricke-ohrivace-vody/zavesne-svisle/okce-kulate#okce180>
- [16] WIKIPEDIA-KALORIMETRICKÁ ROVNICE, Použito k datu: 17.5.2013, Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalorimetrick%C3%A1_rovnice