



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ZÁSOBNÍK TEPLA SOLÁRNÍ SOUSTAVY

SOLAR HOT WATER STORAGE TANK

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

SHORTENED DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Karolína Vyhlídalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR HORÁK, Ph.D.

BRNO 2020

ABSTRAKT

Solární zásobník tepla představuje důležitý prvek solární soustavy. Umožňuje akumulaci přeměněné energie, a tím překrývá rozdíly mezi dodávkou a odběrem tepla mezi solární soustavou a odběrným místem. Vhodný návrh zásobníku je klíčový pro efektivní provoz a účinnost celé solární soustavy. Svou velikostí stanovuje množství využitelné energie a vlastní tepelné ztráty. Návrh solárního zásobníku vychází ze tří hypotéz. Solární pokrytí potřeby tepla, poměr akumulační kapacity zásobníku vzhledem ke kolektorové ploše a předpokladu, že objem solárního zásobníku odpovídá 1 - 2 násobně potřebě teplé vody. Smyslem této disertační práce je rozvinout poznání v oblasti navrhování solárních zásobníků tepla. Klade si za cíl stanovit pravidla pro návrh solárního zásobníku s pomocí numerického modelování a vycházejících z exaktních postupů založených na experimentálním měření a obecných výpočtech. Rovněž je zaměřena na ověření platnosti uvedených hypotéz a následného vyvození patřičných závěrů pro praxi a další možný výzkum. Numerický model obsahuje tři proměnné parametry, a to akumulační objem solárního zásobníku, plochu solárních kolektorů a počet uživatelů. Smyslem simulací je najít vzájemnou závislost těchto tří parametrů a na základě vzájemného ovlivnění, následně upravit návrh solárního zásobníku s ohledem k potřebě uživatele.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární soustava, solární zásobník, příprava teplé vody, simulace, validace modelu, verifikace modelu, TRNSYS, solární termické kolektory

ABSTRACT

The solar hot water storage tank is of great importance in the solar collector array. It allows transformed energy accumulation thus deals with the inconsistency between supply and demand. The suitable design of the storage tank can improve system efficiency. The storage capacity represents the balance between the amount of stored hot water and the tank's heat losses. The design of the storage capacity is based on three hypotheses. The coverage of hot water demand by solar energy, the ratio between storage capacity and solar thermal collector area and the prediction that the storage capacity corresponds to one- to twofold hot water demand. The purpose of this thesis is to share an understanding of the solar storage tanks design and to improve the design through numerical simulation, experimentations and general calculations. It also focuses on the confirmation of the used hypotheses and determination of the best way to design the solar storage tank for general practice and further potential discussions. The simulation model has three variables – the storage capacity, collector area and the number of occupants. The intent is to find the interdependence of these three variables. The purpose of the simulations is to modify the design of the solar tank based on the mutual influence of studied parameters. The modifications are performed based on the users' needs.

KEYWORDS

Solar collector array, solar storage tank, domestic hot water preparation, simulation, model validation, model verification, TRNSYS, solar thermal collectors

OBSAH

ÚVOD.....	3
1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	5
1.1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY VE SVĚTĚ	5
1.2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY V ČR.....	5
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	6
3 METODY ŘEŠENÍ.....	7
3.1 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ	7
3.1.1 <i>Měřená soustava</i>	7
3.1.2 <i>Využití experimentálního měření pro validaci modelu</i>	8
3.2 ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ	10
3.2.1 <i>Solární podíl</i>	10
3.3 SIMULAČNÍ ŘEŠENÍ	11
3.3.1 <i>Model solární soustavy</i>	11
3.3.2 <i>Návrhové parametry</i>	11
4 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE	14
4.1 ROZSAH SIMULAČNÍHO ŘEŠENÍ	14
4.2 SOLÁRNÍ POKRYTÍ	15
4.3 PODÍL SOLÁRNÍCH ZISKŮ Z CELKOVÉ POTŘEBY	15
4.4 TEPELNÁ BILANCE ZÁSOBNÍKU TEPLA	17
4.5 TEPELNÁ ZTRÁTA VZTAŽENÁ NA 1 LITR OBJEMU SOLÁRNÍHO ZÁSOBNÍKU	18
4.6 TEPELNÉ ZTRÁTY VZTAŽENY NA 1 LITR OBJEMU ZÁSOBNÍKU A 1 M ² KOLEKTOROVÉ PLOCHY	18
4.7 TEPLOTA KAPALINY V ZÁSOBNÍKU	20
ZÁVĚR.....	22
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	26

ÚVOD

Dvacáté první století přináší významné změny v životním stylu lidstva. Charakterizované bouřlivým vývojem na poli vědy a techniky. Moderní věda neustále získává nové poznatky v nejrůznějších oborech, které jsou úspěšně transponovány do běžného života. Ovšem na rozdíl od předešlých století je důraz kladen na ekologii. Současným trendem je návrat k přírodě a využívání zdrojů obnovitelných s ohledem na ochranu životního prostředí.

V tomto směru vývoje a užívání úsporných technologií, zastupují systémy využívající solární energii veřejně dostupné řešení. V technickém zařízení budov je solární energie využívána pasivně prostřednictvím vhodného návrhu obálky budovy, aktivně s pomocí termických solárních soustav a v nemalé míře i s pomocí fotovoltaických soustav a dále existují systémy hybridní, které aktivní a pasivní využití solárních zisků kombinují. Důležitou roli u termických solárních soustav hraje kromě vlastního solárního kolektoru také zásobník ohřívané kapaliny. Solární zásobník umožňuje akumulaci přeměněné energie, a tím překrývá rozdíly mezi dodávkou a odběrem tepla mezi solární soustavou a odběrným místem. Vhodný návrh zásobníku je klíčový pro efektivní provoz a účinnost celé solární soustavy. Svou velikostí stanovuje množství využitelné energie a vlastní tepelné ztráty. Ačkoliv v oblasti vývoje solárních kolektorů je úroveň současného poznání na velmi vysoké úrovni, návrh samotného solárního zásobníku tepla vychází převážně z empirických poznatků.

V současné době máme k dispozici poměrně rozsáhlou nabídku simulačních softwarů pro energetické hodnocení budov i pro hodnocení solárních soustav. Příkladem některých softwarů pro vyhodnocení budov jsou software Building simulation (BSim) vytvořen výzkumným institutem v Dánsku [1] a software Energie z balíku programů Stavební fyzika české firmy K-CAD spol. s.r.o. [2]. Solární soustavy pak mohou být přesněji hodnoceny pomocí softwaru Transient Systems Simulation (TRNSYS) vytvořeným odborníky ze Spojených států amerických [3] nebo pomocí softwaru T*SOL nabízeným anglickou firmou The Solar Design Company [4]. Každý z těchto softwarů vychází z odlišných principů návrhu a výpočtů. Projekční praxe využívá pro návrh solárních zásobníků tepla převážně následující tři hypotézy:

- První hypotézou je procentuální pokrytí potřeby tepla solární energií. Pro rodinné domy by se měla pohybovat okolo 50 - 70 % [5][6]. Nižší pokrytí je v rámci investice neekonomické a vyšší může způsobovat přehřátí teplonosné kapaliny v systému.
- Druhá hypotéza je zaměřena na poměr akumulační kapacity zásobníku vzhledem ke kolektorové ploše. Ideální poměr pro návrh solárního zásobníku uvedený výrobcem a odborníky je stanoven v rozmezí 50 - 80 l/m² [5].

- Třetí hypotéza vychází z potřeby tepla pro ohřev teplé vody, vytápění objektu, ohřev bazénové vody nebo kombinace výše zmíněných. Pro solární ohřev teplé vody se vychází z předpokladu, že objem solárního zásobníku odpovídá 1 - 2 násobné potřeby teplé vody [5].

Smyslem této disertační práce je rozvinout poznání v oblasti navrhování solárních zásobníků tepla. Klade si za cíl stanovit pravidla pro návrh solárního zásobníku s pomocí numerického modelování v simulačním softwaru a vycházejících z exaktních postupů založených na experimentálním měření a obecných výpočtech. Rovněž je zaměřena na ověření platnosti uvedených hypotéz a následného vyvození patřičných závěrů pro praxi a další možný výzkum. Numerický model bude obsahovat tři proměnné parametry, a to akumulací objem solárního zásobníku, plochu solárních kolektorů a počet uživatelů. Smyslem simulací je najít vzájemnou závislost těchto tří parametrů a na základě vzájemného ovlivnění, následně upravit návrh solárního zásobníku s ohledem k potřebě uživatele.

1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

1.1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY VE SVĚTĚ

Knudsen [7] provedl výzkum k určení nejvýhodnějšího objemu solárního zásobníku tepla pro dánské a řecké podmínky. Vycházel z potřeby teplé vody 100 l/den. Jeho výzkum došel k závěru, že ideální objem zásobníku z energetického hlediska je 150 l. Nejčastěji volené a instalované zásobníky tepla jsou o objemu 200 l a 300 l. Vzhledem k běžné potřebě teplé vody do 200 l/den, jež byla stanovena průzkumem denní potřeby teplé vody jednogeneračních rodinných domů v Dánsku, byl určen ideální objem zásobníku teplé vody v rozmezí 100 - 175 l.

Energy saver [8], výzkumné středisko ze Spojených států amerických, se zabývá úsporou energií a využitím obnovitelných zdrojů. Návrh akumulární kapacity solárního zásobníku pro ohřevu teplé vody určují podle počtu uživatelů. Systémům obsluhujícím 1 až 3 osoby navrhuje jako dostačující zásobník o objemu 200 l až 250 l. Středně velký zásobník o objemu 300 l pro systémy se 3 až 4 uživateli a zásobník o objemu přesahujícím 300 l pro 4 až 6 osob. Pro efektivní návrh stanovují přibližně 60 l objemu zásobníku na 1 m² kolektorové plochy a 80 l/m² kolektorové plochy při předpokládaných vysokých solárních ziscích. Tento postup je navržen ve snaze limitovat možné přehřívání solárního systému při nižším odběru teplé vody.

1.2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY V ČR

Solárními systémy a zásobníky tepla se zabývají Kramoliš a Matuška. Kramoliš [9] publikoval článek popisující jednotlivé typy solárních zásobníků tepla a jejich obecný popis. Komentuje zde návrh zásobníku tepla jako kompromis mezi energetickým a ekonomickým řešením. Podle Matušky [10] je správný návrh solárního zásobníku kritický pro pokrytí požadované potřeby tepla. Navrhuje objem solárního zásobníku tepla pro běžnou potřebu teplé vody 30 - 50 l/(os·den) a celkovou plochu solárních kolektorů 4 - 6 m² v rozmezí 200 - 300 l [11]. V jiné ze svých publikací pro stejnou potřebu teplé vody a celkovou plochu solárních kolektorů 2 - 6 m² navrhuje objem solárního zásobníku tepla v rozmezí 200 - 500 l [12].

Výrobci solárních sestav uvádí v projekčních podkladech tzv. nepsaná pravidla dimenzování akumulárních zásobníků [5]. Solární ohřev teplé vody pro jedno a dvougenerační rodinné domy stanovuje jako 1 - 1,5 m² kolektorové plochy na jednu osobu a objem zásobníku jako 1,5 - 2 x denní potřeba teplé vody, minimálně však 50 l/m² kolektorové plochy. U větších obytných domů s 1 m² kolektorové plochy na bytovou jednotku a 30 - 80 l/m² kolektorové plochy. Solární pokrytí pro ohřev teplé vody by se měl podle doporučení pohybovat okolo 60 % pro malé systémy a 30 - 45 % pro středně velké systémy.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem práce je vyhodnocení optimální velikosti solárního zásobníku pro přípravu teplé vody v závislosti na kolektorové ploše a odběru teplé vody. Vzhledem k rozsahu uvažovaných variant, je zvoleno simulační řešení, umožňující tripl-parametrické vyhodnocení. Navržený numerický model umožňuje volitelné nastavení vstupních parametrů jednotlivých prvků, při zachování jednotné solární soustavy.

Konkrétní cíle disertační práce jsou:

- Rozbor okrajových podmínek potřebných k návrhu solárního zásobníku tepla. Nalezení solárních zásobníků dostupných na současném trhu a aplikování jejich technických parametrů v navrženém simulačním modelu.
- Vytvoření modelu stávající solární soustavy v simulačním softwaru TRNSYS.
- Validování modelu solární soustavy podle reálného provozu stávající solární soustavy. Zvolené parametry pro validaci modelu jsou:
 - Intenzita dopadajícího solárního záření
 - Venkovní teplota
 - Teplota na výstupu z kolektoru.
- Využití simulačního modelu pro provedení více-parametrických simulací s cílem optimalizace návrhu akumulčního objemu solárního zásobníku. Hlavními parametry jsou akumulční objem solárního zásobníku, kolektorová plocha a odběr teplé vody uživateli. Hodnotící kritéria jsou:
 - Solární pokrytí potřeby tepla
 - Poměr solárních a elektrických zisků pro pokrytí potřeby tepla
 - Tepelná bilance solárního zásobníku
 - Teplená ztráta vztažena na 1 l objemu zásobníku a 1 m² kolektorové plochy
 - Maximální dosažená teplota kapaliny v solárním zásobníku.
- Porovnání současných poznatků a postupů návrhu solárních zásobníků s výsledky simulací.

3 METODY ŘEŠENÍ

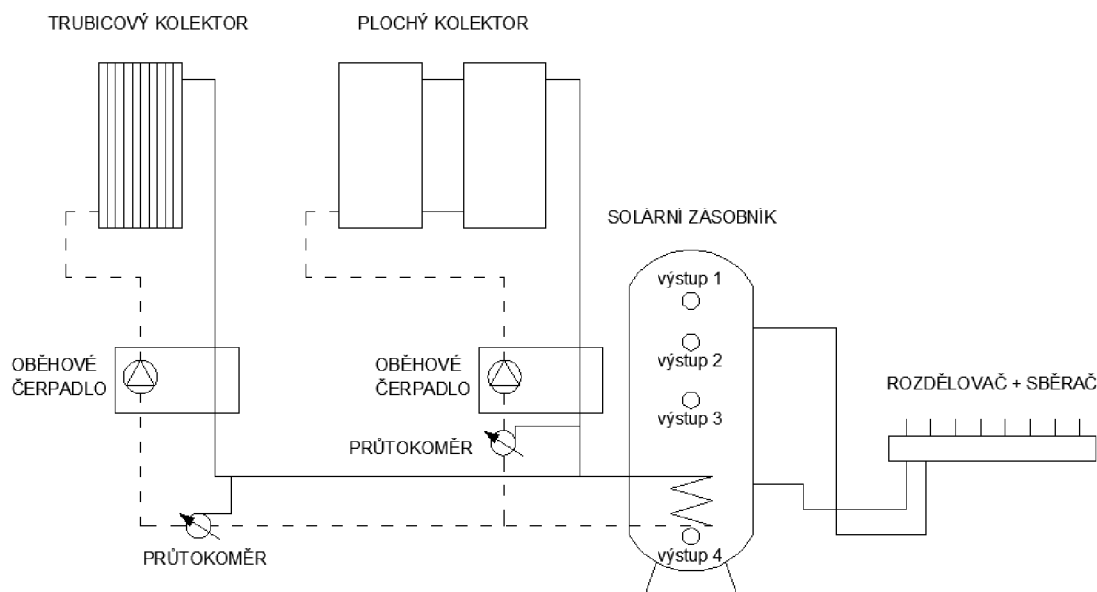
Práce využívá dvě metody řešení, a to řešení teoretické a řešení experimentální. Hlavním složkou práce jsou simulace provedené na vytvořeném modelu solární soustavy. Model byl validován prostřednictvím dat z experimentálního měření na reálné soustavě a výsledky verifikovány s ručním výpočtem.

3.1 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ

Solární soustava se nachází na ploché střešní konstrukci budovy E2, jež je součástí komplexu budov Vysokého učení technického v Brně, fakulty stavební. Volba této soustavy spočívá v dostupnosti a variačním řešení, kdy si lze zvolit ohřev pomocí plochých kolektorů, trubicového kolektoru nebo jejich kombinaci.

3.1.1 Měřená soustava

Soustava se skládá ze dvou sériově zapojených plochých kapalinových kolektorů celkové plochy 4 m² a jednoho trubicového kapalinového kolektoru celkové plochy 1,8 m², které jsou instalovány ve sklonu 45° na jižní světovou stranu. Okruhy kolektorů mají společný akumulční stratifikační zásobník o objemu 200 l. Každý solární okruh má vlastní oběhové čerpadlo, jehož pomocí se dopravuje ohřátá kapalina ze solárních kolektorů do solárního zásobníku. Teplá užitková voda se ze zásobníku dopravuje do sdruženého rozdělovače a sběrače instalovaného v laboratoři technických zařízení budov. Parametry akumulčního zásobníku, plochých kolektorů a trubicového kolektoru byly převzaty z technických listů výrobce (viz. 3.3.2).



Obr. 3.1-1: Schéma měřené solární soustavy [13]

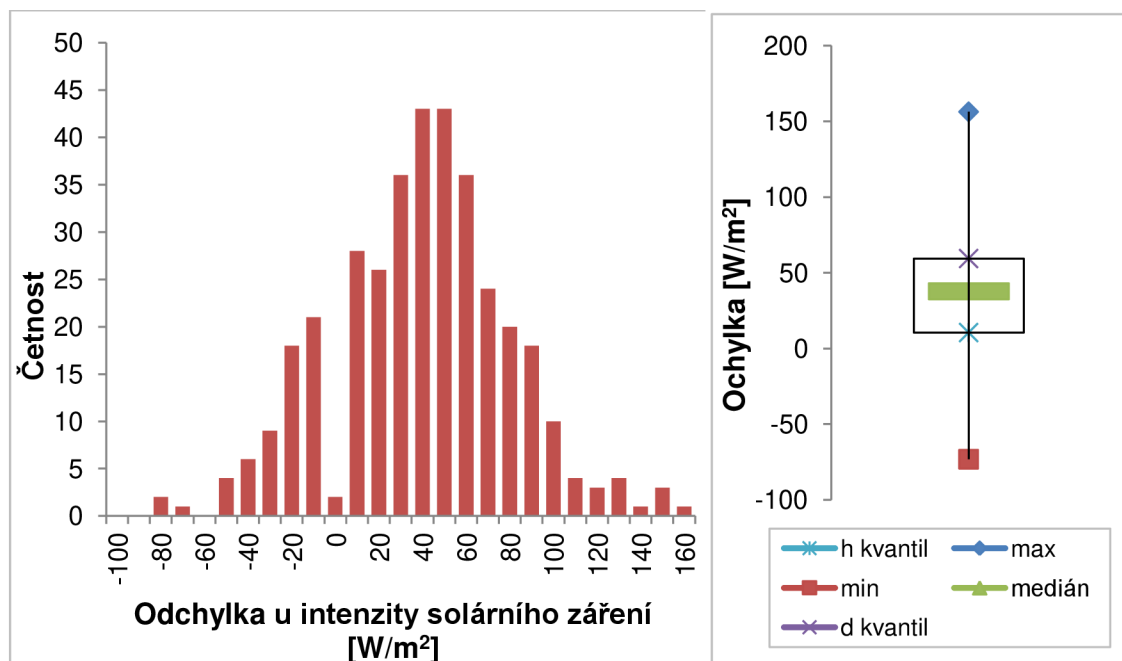
3.1.2 Využití experimentálního měření pro validaci modelu

Validace vytvořeného modelu byla provedena porovnáním hodnot intenzity solárního záření dopadajícího na plochu kolektorů, teploty na výstupu z kolektoru a okolní teploty. Hodnoty byly odebrány ze snímačů umístěných na instalované solární soustavě a z hodnot získaných prostřednictvím simulací s použitím klimatických dat z meteorologické stanice TUBO.

Pro simulace byla vybrána klimatická data ze dvou lokalit. Klimatická data z meteorologické stanice TUBO, umístěné na střeše sousedního objektu v areálu Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně, byla použita pro validování simulačního modelu. Použitá data odpovídala časovému úseku reálného měření. Klimatická data z meteorologické stanice Kuchařovice, která jsou využívána v simulacích pro Moravský a Slezský kraj, byla následně zvolena pro provedené jednotlivé simulace. Použitá klimatická data Kuchařovice jsou desetiletým průměrem z let 1996 - 2005.

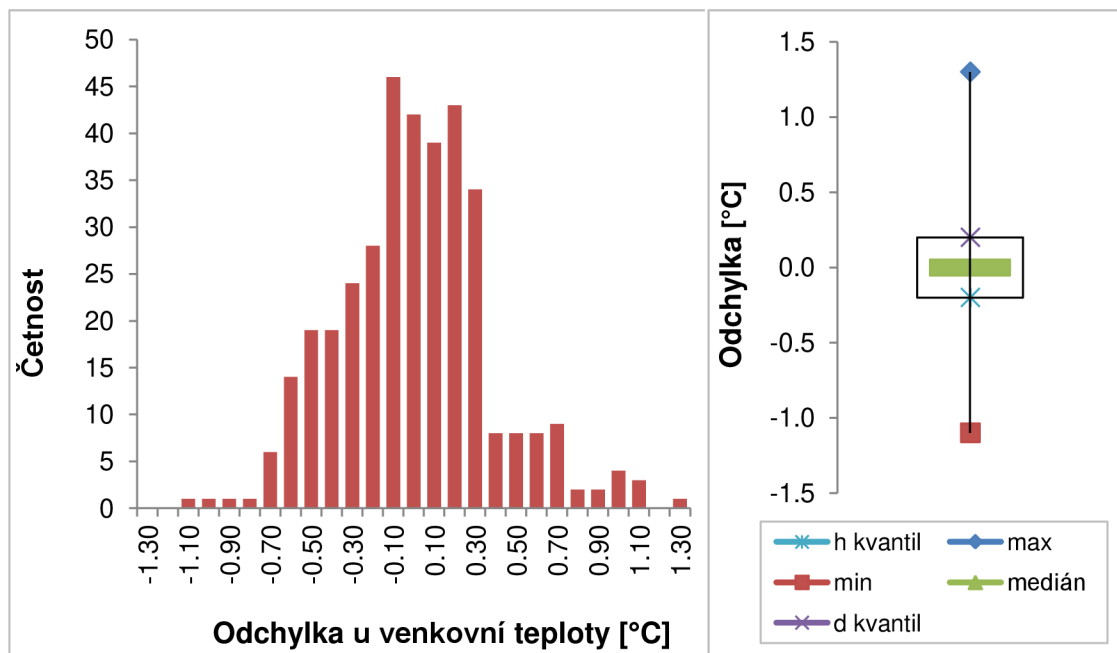
Porovnání dat je provedeno pro 6.5.2014 a časový úsek od 10:27 do 16:27 hodin, kdy začalo stmívání. Ranní záznam nebyl použit, z důvodu ztráty dat při stahování.

Odchylka mezi porovnávanými hodnotami intenzity solárního záření se pohybovala v rozmezí -80 W/m^2 až $+160 \text{ W/m}^2$. Nejčastější odchylka byla mezi 30 až 50 W/m^2 . Medián stanul na hodnotě 38 W/m^2 .



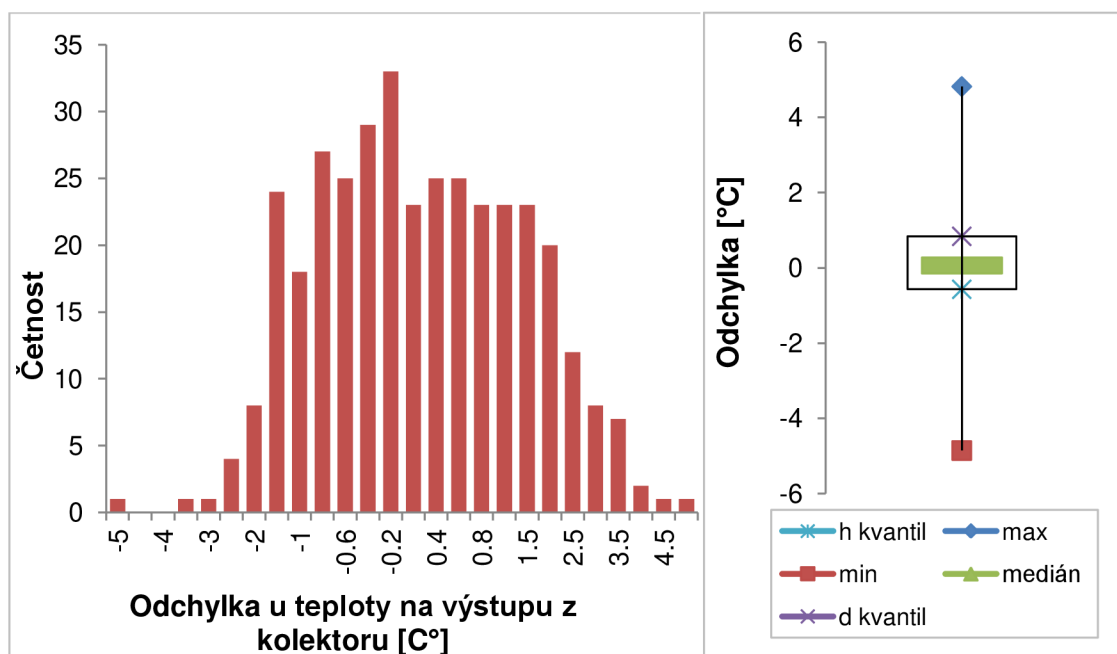
Obr. 3.1-2: Histogram a krabicový graf pro intenzitu solárního záření

Odchylna mezi porovnávanými hodnotami venkovní teploty se pohybovala v rozmezí $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Medián odchylny má hodnotu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 3.1-3: Histogram a krabicový graf pro venkovní teplotu

Odchylna mezi naměřenou teplotou a teplotou získanou ze simulačního modelu se pohybovala od $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Medián odchylny má hodnotu $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 3.1-4: Histogram a krabicový graf pro teplotu kapaliny na výstupu z kolektoru

3.2 ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ

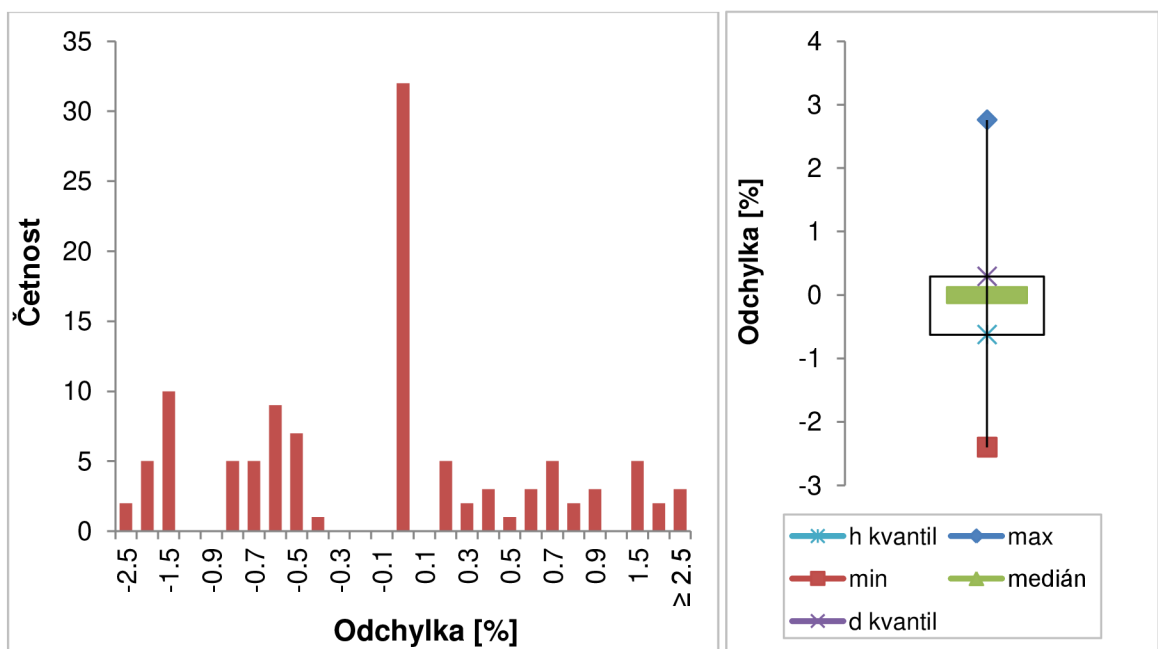
Solární soustava je navrhována prostřednictvím zjednodušeného výpočtového postupu energetického hodnocení uvedeného v normě TNI 73 0302 [14]. Zjednodušená metoda je použitelná pro solární soustavy orientované $\pm 45^\circ$ k jihu a sklonu kolektorů 0° až 90° [15].

3.2.1 Solární podíl

Solární podíl malých solárních soustav by se měl pohybovat okolo 60 %, aby bylo možné zajistit dostatečné pokrytí potřeby tepla a soustava byla vhodně navržena z hlediska investičních a následně provozních nákladů.

Simulace jsou provedeny pro kolektorovou plochu v rozsahu 1 až 11 kolektorů o ploše $1,87 \text{ m}^2$ až $20,57 \text{ m}^2$. Zvolený odběr teplé vody představuje $50 \text{ l}/(\text{os} \cdot \text{den})$. Odběr je stanoven pro rozsah 1 až 10 uživatelů, tedy $50 \text{ l}/\text{den}$ až $500 \text{ l}/\text{den}$.

Odchylka mezi ručním výpočtem solárního podílu bez zahrnutí solárního zásobníku a výsledky získané prostřednictvím simulací pro zásobníky o objemu 150 l až 400 l jsou porovnány formou histogramu a krabicového grafu (viz. Obr. 3.2-1).



Obr. 3.2-1: Histogram a krabicový graf pro solární podíl

Odchylka mezi porovnávanými hodnotami solárního podílu se pohybovala v rozmezí $-2,4 \%$ až $+2,8 \%$. Nejčastější odchylka byla 0% v počtu 32 ze 110 variant. Medián stanul na hodnotě 0% .

3.3 SIMULAČNÍ ŘEŠENÍ

Simulace jsou řešeny pomocí energetického simulačního softwaru TRNSYS (Transient System Simulation) [3].

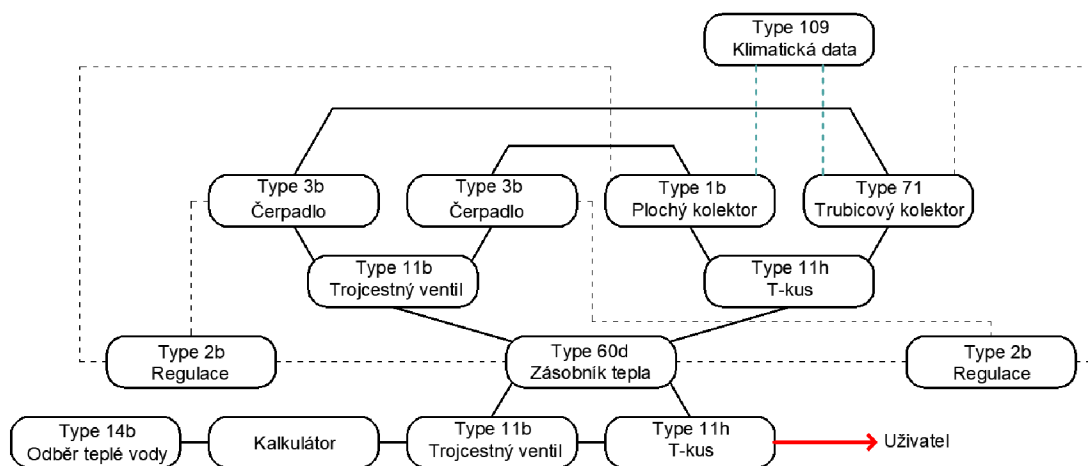
3.3.1 Model solární soustavy

Klimatická data odpovídají desetiletému naměřenému průměru z meteorologické stanice Kuchařovice, okres Znojmo. Data byla měřena v období od roku 1996 do roku 2005.

Regulace systému probíhá na základě teploty vody ve vnitřním výměníku. Přesažením maximální provozní teploty 95 °C dochází k vypnutí oběhového čerpadla.

Požadovaný rozsah teploty teplé vody na straně uživatele je zajištěn bivalentním ohřevem a regulací samotného zásobníku. Poklesem teploty pod 50 °C se zapne elektrické topné těleso, ohřívající vodu na teplotu 60 °C. Pro účel simulace byla zvolena elektrická topná tyč o výkonu 1,2 kW až 3 kW.

Model soustavy je sestaven z komponentů dostupných v databázi knihovny simulačního softwaru. Jednotlivé komponenty jsou od různých autorů a tudíž rozsah dostupných informací i samotné provedení komponentu je na odlišných úrovních. Některé komponenty jsou podrobnější a nabízejí více možností pro simulaci. Jiné poskytují část matematických a fyzikálních vztahů, se kterými pracují.



Obr. 3.3-1: Schéma modelu solární soustavy



3.3.2 Návrhové parametry

Parametry komponentů použitých v simulačním modelu, jsou převzaty z technických listů výrobců. Hlavními komponenty jsou solární zásobník, solární kolektor a návrh odběru teplé vody, které jsou následně požitý při simulacích jednotlivých variant.

Tab. 3.3-1: Parametry vybraných solárních zásobníků

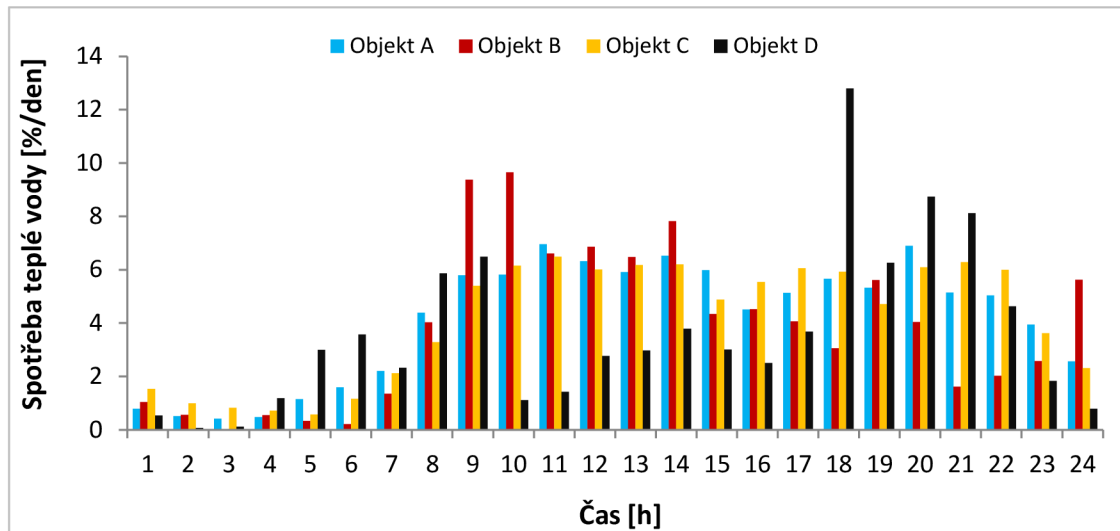
	150 l	200 l	250 l	300 l	400 l	500 l	600 l	750 l	800 l	1000 l	
Objem zásobníku	142	182	242	280	373	472	564	712	807	930	l
Výška zásobníku	1,415	1,326	1,557	1,380	1,580	1,890	1,998	1,870	1,820	2,070	m
Průměr zásobníku	0,460	0,650	0,600	0,750	0,700	0,800	0,910	0,950	1,000	1,000	m
Pozice vstupu SV	0,130	0,130	0,130	0,130	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	m
Pozice výstupu TV	1,265	1,176	1,407	1,230	1,430	1,740	1,848	1,720	1,670	1,920	m
Tepelná kapacita vody	4180	4180	4180	4180	4180	4180	4180	4180	4180	4180	J/(kg K)
Hustota vody	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m ³
Součinitel prostupu tepla	0,682	0,494	0,489	0,425	0,436	0,338	0,290	0,298	0,292	0,275	W/(m ² K)
Vodivost kapaliny	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	W/(m K)
Pozice el. topného tělesa	0,686	0,686	0,855	0,855	0,855	1,360	1,380	1,380	1,210	1,450	m
Pozice termostatu	1,068	1,068	1,110	1,110	1,110	1,605	1,625	1,625	1,445	1,695	m
Max. výkon el. topného tělesa	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	kW
Vnitřní průměr výměníku	0,0216	0,0216	0,0216	0,0216	0,0272	0,0272	0,0272	0,0359	0,0359	0,0359	m
Vnější průměr výměníku	0,0269	0,0269	0,0269	0,0269	0,0337	0,0337	0,0337	0,0424	0,0424	0,0424	m
Plocha výměníku	0,890	1,000	1,450	1,500	1,800	2,000	2,200	2,400	2,700	3,200	m ²
Délka výměníku	10,531	11,833	17,158	17,750	17,002	18,891	20,780	18,018	20,270	24,023	m
Vodivost stěny výměníku	386	386	386	386	386	386	386	386	386	386	W/(m K)
Pozice vstupu výměníku	0,548	0,548	0,645	0,645	0,645	0,660	0,660	0,845	0,845	0,939	m
Pozice výstupu výměníku	0,168	0,168	0,195	0,195	0,195	0,200	0,200	0,290	0,290	0,290	m

Tab. 3.3-2: Parametry použitých solárních termických kolektorů

Označení	Plochý kolektor KPC 1 BP	Trubicový kolektor KTU 10	
Foto [www.eshopregulus.cz]			
Plocha kolektoru	2,00	1,81	m ²
Plocha apertury	1,87	0,93	m ²
Průtok	100	100	l/h
Účinnost kolektoru η_0	0,778	0,827	-
Lineární tepelné ztráty a_1	4,207	2,516	W/(m ² K)
Kvadratické tepelné ztráty a_2	0,024	0,011	W/(m ² K ²)
Účinnost kolektoru	0,6302	0,6737	-
Pohltivost absorbéru α	0,94	0,92	-
Emisivita absorbéru ϵ	0,08	0,08	-
Sklon	45	45	deg

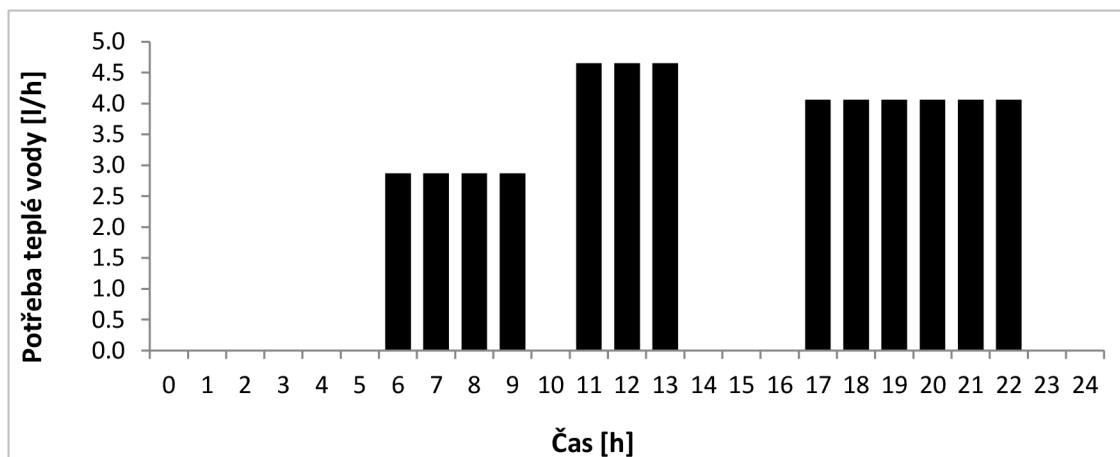
- Odběr teplé vody

Konkrétní naměřené údaje byly použity pro účely simulace solárního zásobníku.¹ Měření probíhalo na čtyřech bytových domech v časovém úseku dvou týdnů. Zprůměrované množství spotřebované vody všech čtyř bytových domů je zobrazeno na Obr. 3.3-2.



Obr. 3.3-2: Průměrná denní potřeba teplé vody

Denní odběr vycházel z požadavku 50 l/(os.den). Zjednodušený odběr na Obr. 3.3-3, pro pokrytí potřeb teplé vody rodinného domu, byl určen z procentuálního průměru měření (viz Obr. 3.3-2) a přepočítán denním požadavkem na jednu osobu.



Obr. 3.3-3: Navržený denní odběr teplé vody

Celkový požadovaný odběr teplé vody je určen vynásobením hodnot z Obr. 3.3-3: počtem uživatelů.

¹ Naměřená data odběru teplé vody z objektů A, B, C a D byla pro účely stanovení odběrové křivky poskytnuta Ing. Jakubem Vránou, Ph.D [vrana.j@fce.vutbr.cz] a Ing. Miroslavem Kucharikem [kucharik.m@fce.vutbr.cz].

4 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

Malá solární soustava je posuzována v rámci celoročního provozu z hlediska několika zvolených kritérií. Jedná se o využití solární zisky, poměr solárních zisků a potřebné dodané elektrické energie, poměr solárních zisků vůči tepelným ztrátám zásobníku, nejvyšší dosažené teploty kapaliny v zásobníku, tepelné ztráty zásobníku vztažených na 1 l objemu zásobníku a tepelným ztrátám zásobníku vztažených na 1 l objemu zásobníku a 1 m² apertury solárního kolektoru.

4.1 ROZSAH SIMULAČNÍHO ŘEŠENÍ

Porovnáno je deset solárních zásobníků tepla. Nejmenší o objemu 150 l a největší o objemu 1000 l. Solární zisky jsou dodávány plochým termickým kolektorem s plochou apertury 1,87 m², a to v počtu jednoho až jedenácti sériově zapojených kusů (viz.Tab. 3.3-2). Solární soustava je uvažována pro pokrytí potřeby teplé vody jednoho až deseti uživatelů s předpokládaným odběrem 50 l/(os.den). Porovnání všech uvažovaných variant, je provedeno pro případ pokrytí potřeby teplé vody čtyř a šesti uživatelů (viz.Tab. 4.1-1).

Tab. 4.1-1: Varianty použité v provedených simulacích

		Celková plocha apertury solárních kolektorů [m ²]										
		1.87	3.74	5.61	7.48	9.35	11.22	13.09	14.96	16.83	18.7	20.57
Objem zásobníku [l]	150	x	x	x	x	x	x	x	x			
	200	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	250	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	300		x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	400		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	500			x	x	x	x	x	x	x	x	x
	600				x	x	x	x	x	x	x	x
	750					x	x	x	x	x	x	x
	800					x	x	x	x	x	x	x
	1000					x	x	x	x	x	x	x

Systém je navržen se dvěma zdroji tepla. Solární zisky a zisky dodané elektrickou topnou tyčí o výkonu 1,2 kW až 3,0 kW podle potřeby. Regulace soustavy zapne elektrickou topnou tyč v případě, že teplota kapaliny v době odběru klesne pod 50 °C a vypne její dodávku tepla v případě dosažení teploty 60 °C.

Modely jsou navrženy s ohledem na sledování různých výkonnostních parametrů solární soustavy s cílem vyhodnocení vlivu zásobníku na její výkon.

4.2 SOLÁRNÍ POKRYTÍ

Nejmenší vhodný akumulční objem zásobníku pro solární podíly získané s pomocí numerického modelu, je stanoven v Tab. 4.2-1. Červeně jsou vyznačeny varianty, u kterých se solární podíl pohyboval pod hranicí 50 %. Zelenou barvou varianty s podílem mezi 50 % a 60 % a černou barvou varianty, kde 60 % bylo přesaženo včetně. Dosažení nižšího podílu je v rámci investice neekonomické. Vyšší hodnoty naopak způsobují přehřátí systému a vytváří nevyužité přebytky tepla především v letních měsících.

Objem vzrůstal úměrně se zvětšováním kolektorové plochy a požadovaného odběru teplé vody. Výjimkou je varianta s kolektorovou plochou 3,74 m², kde model nebyl schopen provést simulaci pro menší objem zásobníku při větším odběru. Obdobný případ nastal při kolektorové ploše 1,87 m² a 20,57 m², avšak z důvodu funkčnosti systému, byly tyto varianty vyřazeny.

Tab. 4.2-1: Odpovídající objem solárního zásobníku v litrech v závislosti na solárním pokrytí

		Celková plocha apertury solárních kolektorů [m ²]										
		1,87	3,74	5,61	7,48	9,35	11,22	13,09	14,96	16,83	18,70	20,57
Odběr teplé vody [l/den]	50	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	-
	100	150	200	200	200	200	250	250	300	300	300	-
	150	150	200	200	200	250	250	250	300	300	300	400
	200	150	200	200	200	250	250	300	300	300	300	400
	250	150	200	200	200	300	300	300	300	300	400	400
	300	150	200	200	200	300	300	300	300	300	400	400
	350	150	300	200	200	300	300	300	300	300	400	400
	400	-	300	200	200	300	300	300	300	400	400	400
	450	-	300	200	200	300	300	300	300	400	400	400
	500	-	300	200	200	300	300	300	300	400	400	400

4.3 PODÍL SOLÁRNÍCH ZISKŮ Z CELKOVÉ POTŘEBY

Poměr dodaných solárních zisků vůči celkové energii potřebné pro udržení požadované teploty v době odběru teplé vody je zobrazen na Obr. 4.3-1. Jednotlivé křivky představují procentuální množství dodaných solárních zisků porovnávaných zásobníků v závislosti na velikosti kolektorové plochy.

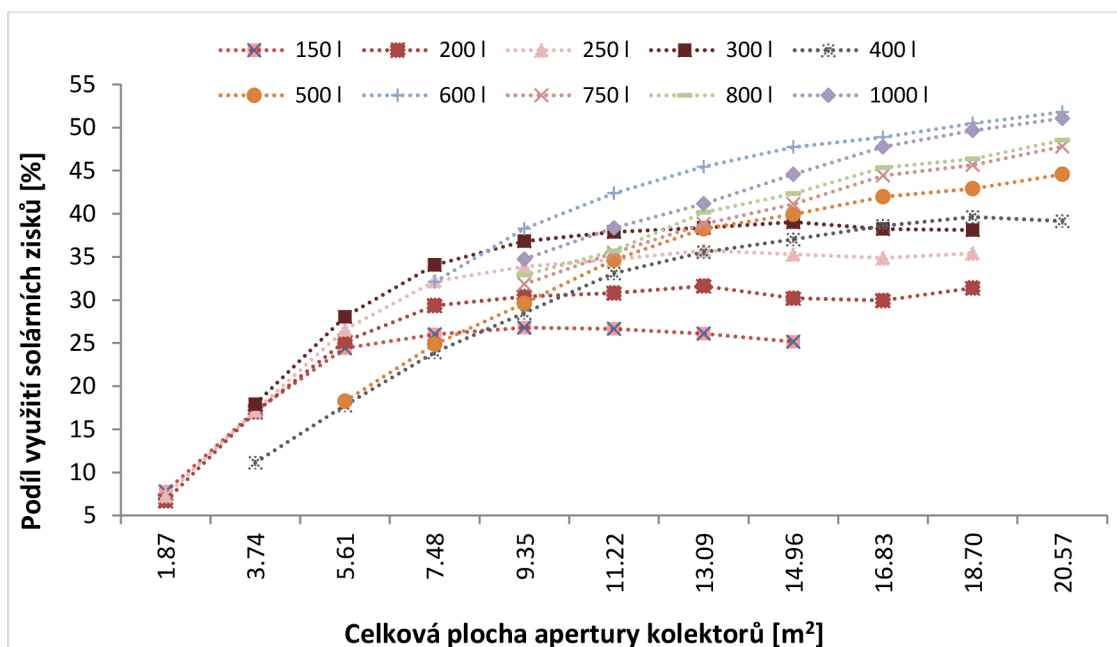
Procentuální podíl solárních zisků je stanoven z poměru tepla dodaných solární soustavou vůči celkovému dodanému teplu potřebnému k dosažení požadované teploty ohřáté kapaliny v zásobníku (4.3-1):

$$f = \frac{Q_{HX}}{Q_{HX} + Q_{el}} \cdot 100 \quad (4.3-1)$$

- kde f podíl tepla dodaného solárním výměníkem vůči teplu dodanému elektrickým topným tělesem [%];
 Q_{HX} množství tepla dodaného solárním výměníkem [kWh/rok];
 Q_{el} množství tepla dodaného elektrickým topným tělesem [kWh/rok]

Malé zásobníky o objemu 150 l až 300 l dosáhly ročního podílu solárních zisků v rozsahu přibližně 26 % až 36 % pro kolektorovou plochu o velikosti 9,35 m² a i při zvětšení kolektorové plochy zhruba v těchto hodnotách daný podíl setrval. Zásobníky o objemu 400 l až 1000 l se pohybovaly v rámci ročního podílu solárních zisků v rozmezí přibližně 28 % až 38 % pro kolektorovou plochu 9,35 m² a 39 % až 52 % při kolektorové ploše 20,57 m². V případě navýšení odběru o 100 l/den se podíl využitých solárních zisků u zásobníků do 300 l snížil o 5 % a u zásobníku od 400 l do 1000 l došlo ke snížení o 10 %.

Dosažené výsledky jsou v závislosti na celkové ploše solárního výměníku a objemu samotného zásobníku (viz. Tab. 3.3-1). Kritérium je značně ovlivněno výrobcem zásobníku, který stanoví poměr objemu zásobníku a teplosměnnou plochu solárního výměníku. Zásobník o objemu 600 l má nejvyšší poměr plochy výměníku vůči svému objemu. Z pohledu tohoto kritéria, je doporučeno navrhovat výměníky s co největší teplosměnnou plochou.



Obr. 4.3-1: Roční podíl využití solárních zisků – odběr 200 l/den

4.4 TEPELNÁ BILANCE ZÁSObNÍKU TEPLA

Tepelná bilance solárního zásobníku je vyhodnocená jako poměr dodaných ročních solárních zisků vůči tepelným ztrátám zásobníku pláštěm jeho konstrukce včetně tepla ztraceného vlivem přehřátí kapaliny (4.4-1):

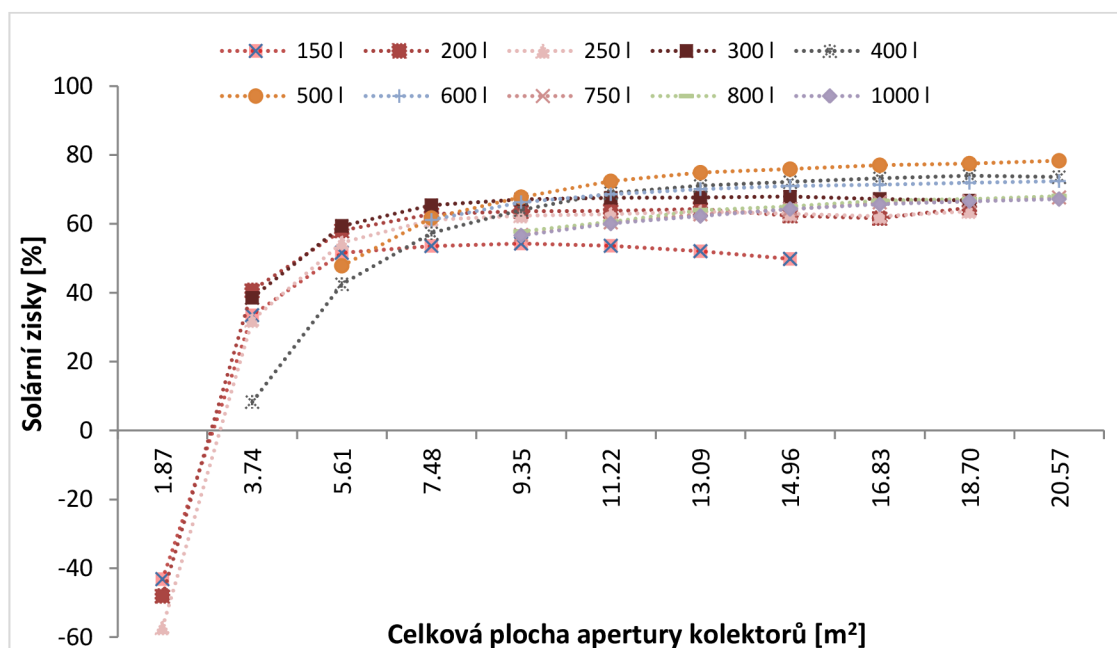
$$f = \frac{(Q_{HX} - Q_{loss})}{Q_{HX}} \cdot 100 \quad (4.4-1)$$

kde f podíl solárních zisků vůči tepelným ztrátám [%];
 Q_{HX} množství tepla dodaného solárním výměníkem [kWh/rok];
 Q_{loss} tepelné ztráty zásobníku [kWh/rok]

Roční tepelné ztráty zásobníku se pohybovaly v přibližném rozsahu od 1100 kWh do 2200 kWh. Dodané roční solární zisky se pohybovaly v rozsahu od 800 kWh do 8000 kWh a převážně představují 50 % až 80 % z tepelné bilance zásobníku v porovnání s tepelnými ztrátami. Rozdíl v bilanci mezi variantou s odběrem 200 l/den a variantou s odběrem 300 l/den je do 5 %.

Simulace soustavy s jedním kolektorem vykazují zápornou hodnotu. Tato skutečnost je způsobena posouzením celoroční bilance, kdy zisky v zimních měsících dosahují nízkých hodnot, zatímco ztráty se v průběhu roku liší minimálně.

Malé zásobníky vykazují vyšší tepelné ztráty při větších kolektorových plochách, vlivem přehřátí kapaliny, což se projeví zhoršenou tepelnou bilancí.



Obr. 4.4-1: Poměr ročních solárních zisků vůči tepelným ztrátám zásobníku – odběr 200 l/den

4.5 TEPELNÁ ZTRÁTA VZTAŽENÁ NA 1 LITR OBJEMU SOLÁRNÍHO ZÁSOBNÍKU

Tepelná ztráta zahrnuje ztrátu pláštěm zásobníku do jeho okolí. Jednotlivé zásobníky jsou porovnány na základě hodnoty roční tepelné ztráty vztažené k 1 litru jejich objemu (Obr. 4.5-1):

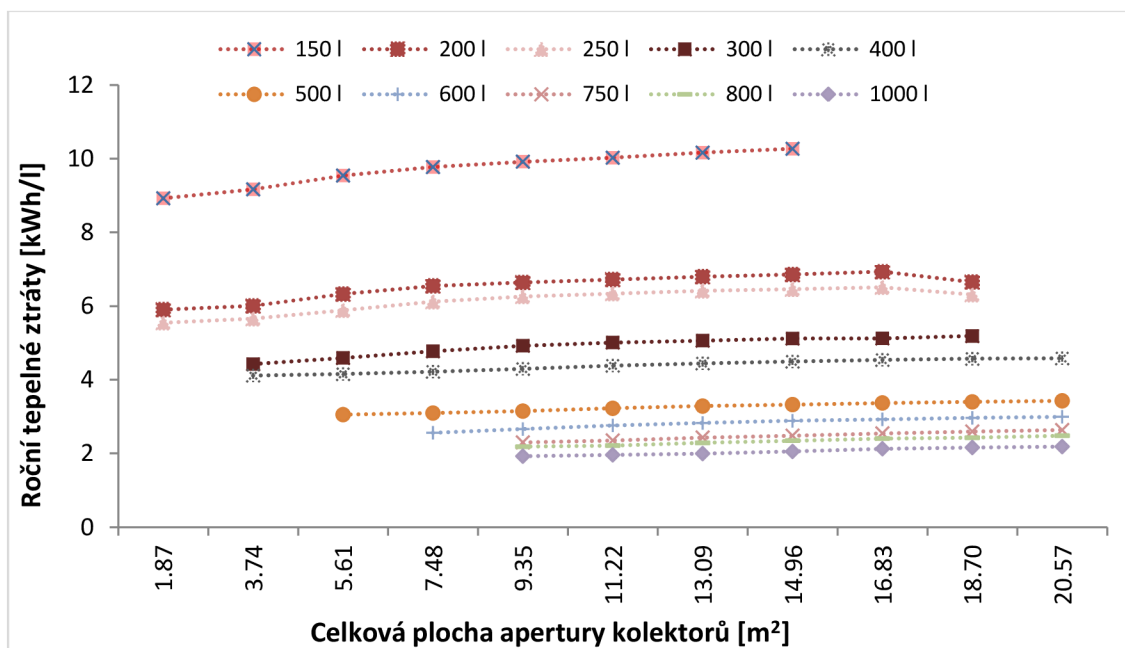
$$f = \frac{Q_{loss}}{V_z} \quad (4.5-1) \quad \text{Křivky}$$

kde f podíl solárních zisků vůči tepelným ztrátám [kWh/l];
 Q_{loss} tepelné ztráty zásobníku [kWh/rok];
 V_z objem solárního zásobníku [l]

í roční tepelnou ztrátu jednoho litru pro zvolené kolektorové plochy v rozsahu od 1,87 m² do 20,57 m². Solární zásobníky od objemu 500 l výše se pohybují v hodnotách do 3,5 kWh/l. Menší zásobníky v rozsahu 200 l až 500 l se pohybují mezi 4 kWh/l a 7 kWh/l. Nejmenší posuzovaný zásobník o objemu 150 l dosáhl ztráty až 10 kWh/l. Navýšení odběru o 100 l/den snížilo tepelnou ztrátu o zhruba 0,2 kWh/l u menších zásobníků a 0,1 kWh/l u zásobníků s větším akumulacním objemem.

Malé zásobníky vykazují vyšších hodnot tepelných ztrát, z důvodu malé akumulacní kapacity. Z pohledu tohoto kritéria jsou výhodnější zásobníky větších objemů.

Součinitele prostupu tepla hodnocených zásobníků jsou uvedeny v Tab. 3.3-1.



Obr. 4.5-1: Roční tepelné ztráty zásobníku vztažené na 1 l objemu ohříváné kapaliny – odběr 200 l/den

4.6 T
EP

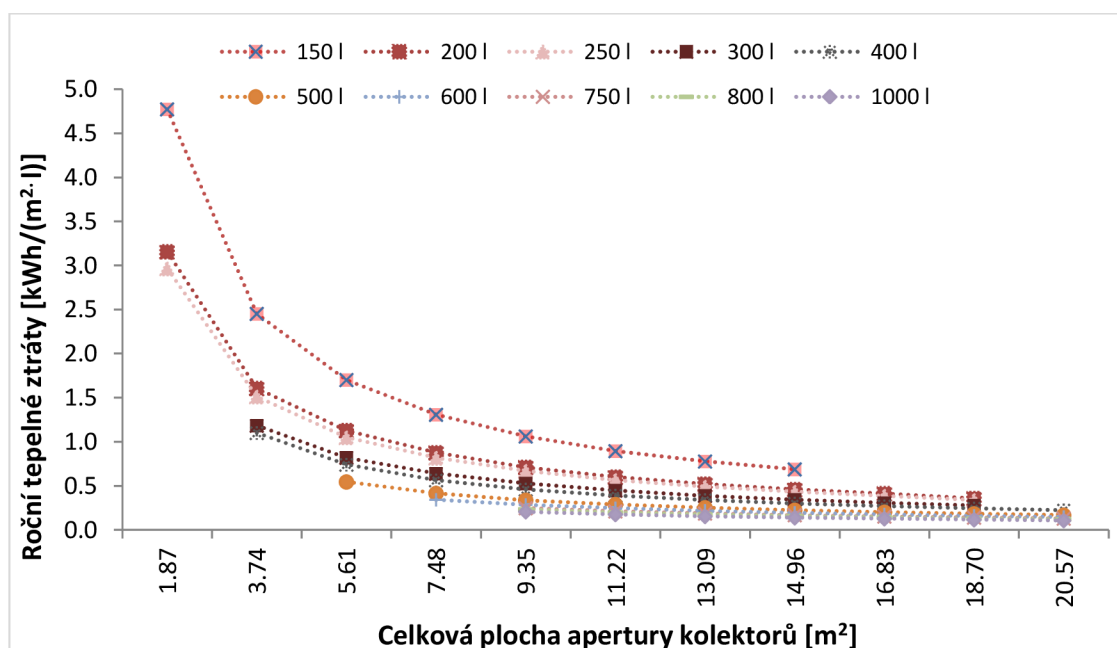
ELNÉ ZTRÁTY VZTAŽENY NA 1 LITR OBJEMU ZÁSOBNÍKU A 1 M² KOLEKTOROVÉ PLOCHY

Velikost kolektorové plochy ovlivňuje tepelný zisk dodaný solárnímu zásobníku. Množství akumulovaného tepla závisí na objemu kapaliny nacházející se v zásobníku. Implementováním těchto parametrů vztažených na jednu jednotku dosáhneme obecného předpokladu velikosti tepelné ztráty zásobníku na jeden litr jeho objemu při kolektorové ploše 1 m² (Obr. 4.6-1):

$$f = \frac{Q_{loss}}{(V_z \cdot A_p)} \quad (4.6-1)$$

kde f podíl solárních zisků vůči tepelným ztrátám [kWh/(m²·l)];
 Q_{loss} tepelné ztráty zásobníku [kWh/rok];
 V_z objem solárního zásobníku [l];
 A_p celková plocha apertury kolektorů [m²]

U zásobníků s velkým objemem je vliv velikosti kolektorové plochy zanedbatelný. Tepelná ztráta se pro solární zásobníky o objemu 500 l až 1000 l pohybovala v rozmezí mezi 0,10 - 0,55 kWh/(m²·l). Rozsah tepelné ztráty je platný pro provedené varianty simulace. Tedy od plochy 5,61 m² až 20,57 m². U zásobníků s malým objemem je křivka tepelné ztráty exponenciální. Hodnota roste se snižováním velikosti kolektorové plochy. Navýšení odběru o 100 l/den snížilo tepelnou ztrátu o přibližně 0,02 kWh/l u menších zásobníků a 0,01 kWh/l u zásobníků s větším akumulacním objemem.



Obr. 4.6-1: Roční tepelné ztráty zásobníku vztažené na 1 l ohřívání kapaliny a 1 m² apertury solárního kolektoru – odběr 200 l/den

Stejně jako v předchozím kritériu, vychází i zde, že tepelné ztráty rostou s klesajícím objemem zásobníku.

4.7 TEPLOTA KAPALINY V ZÁSObNÍKU

Jednotlivé varianty byly posouzeny i z hlediska dosažené teploty kapaliny (Obr. 4.7-1). Maximální provozní teplota byla zvolena s ohledem na jednotlivé prvky soustavy, pro zajištění jejího správného chodu a ochrany dílčích zařízení a armatur.

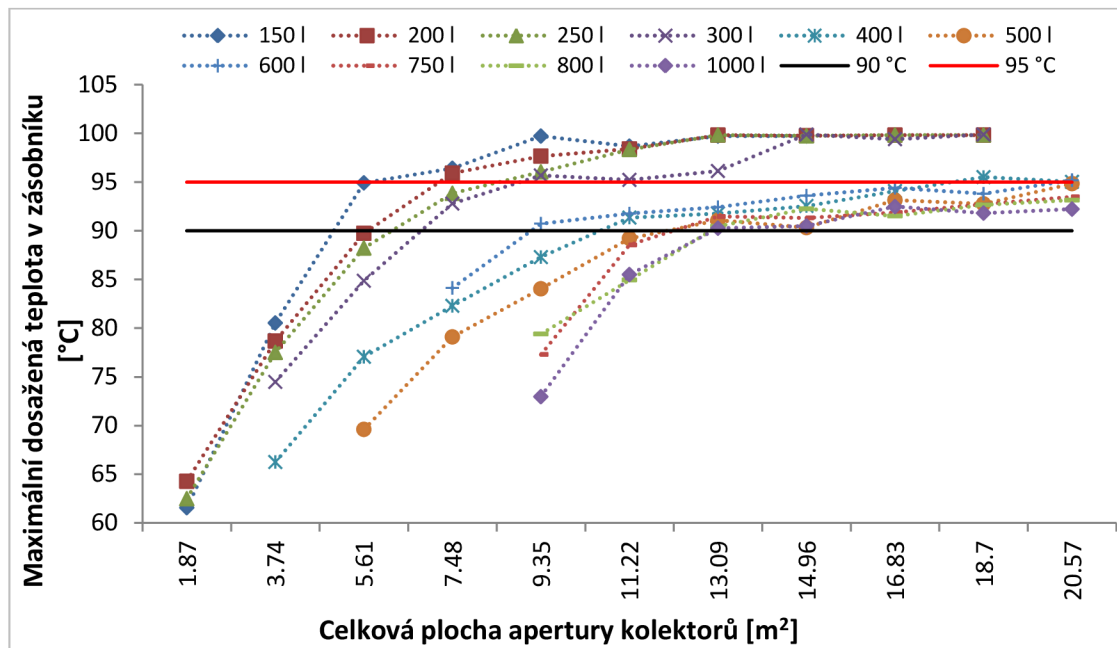
Výrobce udává maximální provozní teplotu solárního zásobníku 95 °C. Malé zásobníky do 200 l překročily tuto teplotu při velikosti kolektorové plochy 7,48 m², do 300 l pak při kolektorové ploše 9,35 m². Zásobníky větších objemů si držely maximální teplotu pod touto hranicí. Výjimkou byl 400 l zásobník, který překročil hranici při ploše kolektorů 18,7 m².

Množství kapaliny v zásobníku, které lze ohřát 1 m² kolektorové plochy, je posouzeno pro teplotu 90 °C a 95 °C (Tab. 4.7-1). Teplota 90 °C je o 5 K nižší než maximální provozní teplota samotného zásobníku a může být dosažena v běžném provozu, bez rizika poškození solární soustavy. Všechny posuzované varianty se v rámci překročení provozní teploty systému pohybovaly poměrem okolo 20 - 35 l/m². Hodnoty uvedené v Tab. 4.7-1 pro jednotlivé zásobníky a teploty jsou dány interpolací výsledků z grafu na Obr. 4.7-1.

Tab. 4.7-1: Množství kapaliny v zásobníku ohřáté 1 m² kolektorové plochy při dosažení teplot 90 °C a 95 °C

150	200	250	300	400	500	600	750	800	1000	I
dosažení teploty 95 °C										
4,93	6,59	8,14	8,38	17,61	25,06	19,69	24,74	26,49	28,77	m ²
30	30	31	36	23	20	30	30	30	35	l/m ²
dosažení teploty 90 °C										
4,53	5,78	6,06	6,39	10,15	11,77	8,50	11,85	12,26	12,30	m ²
33	35	41	47	39	42	71	63	65	81	l/m ²

Pravidlo 50 - 80 l/m² akumulace pro přípravu teplé vody lze aplikovat bez rizika přehřátí kapaliny na zásobníky větších objemů, které mají hranici přehřátí pod 30 l/m². Nejvyšší riziko přehřátí je u malých zásobníků, kdy se poměr ohřivaného objemu a kolektorové plochy blíží k hranici 30 l/m² již při malých kolektorových plochách, konkrétně do 10 m². Výsledné hodnoty jsou platné pro zvolené vstupní parametry provedené simulace. Hodnoty mohou být v praxi odlišné. Důležitým faktorem je konstrukční řešení zásobníku.



Obr. 4.7-1: Nejvyšší dosažená teplota ohříváné kapaliny v solárním zásobníku – odběr 200 l/den

ZÁVĚR

Disertační práce je zaměřena na optimalizaci návrhu solárního zásobníku tepla malé solární soustavy. Zhodnocení přístupu a současných pravidel návrhu solárních zásobníků a potvrzení či vyvrácení jejich vhodnosti prostřednictvím numerického modelování.

Vytvořený numerický model v softwaru TRNSYS byl verifikován s ručním normovým výpočtem a validován s experimentálním měřením provedeném na reálné solární soustavě umístěné v areálu Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně, za účelem jeho správného nastavení.

Pro vyhodnocení efektivního návrhu z pohledu zvolených kritérií byly provedeny energetické simulace pro deset zásobníků v rozsahu 150 l až 1000 l. Solární energie je dodána soustavě kolektorovou plochou o velikosti 1,87 m² až 20,57 m². Parametry použitých zařízení byly převzaty z technické dokumentace výrobců. Model byl vytvořen v simulačním nástroji TRNSYS.

Solární zásobníky byly v rámci disertační práce posouzeny z hlediska podílu využitých solárních zisků, tepelné bilance, maximálních dosažených teplot, tepelných ztrát v závislosti na jednotce objemu a kolektorové plochy a solárního podílu. Uvedené veličiny byly stanoveny jako klíčové pro efektivní návrh solárního zásobníku.

Roční solární zisky pokrývají až 65 % potřeby na ohřev teplé vody. Zbývající potřeba je dodána druhým zdrojem tepla. Poměr je ovlivněn akumulacím objemem solárního zásobníku a celkovým odběrem teplé vody. Navýšením odběru o 100 l/den poklesl podíl solárních zisků o 5 % u zásobníků do 400 l a o 10 % u zásobníků větších akumulacím objemů.

Tepelná bilance představuje poměr dodaných solárních zisků vůči tepelným ztrátám zásobníku. Zisky v rámci tepelné bilance solárního systému představují 50 - 80 %. Zásobníky středního akumulacím objemu, 300 l až 600 l, dosáhly nejvyšších procentuálních zisků. Menší zásobníky neposkytují dostatečný akumulacím objem pro efektivní využití. Větší zásobníky představují vyšší tepelné ztráty do okolního prostředí a současně vyžadují vyšší výkon k ohřátí jejich celého objemu pro zajištění požadované teploty.

Tepelné ztráty solárních zásobníků vztažených na 1 litr jejich akumulacím objemu a současně na 1 m² kolektorové plochy rostou s klesajícím objemem. Tato skutečnost je dosažena vlivem zahrnutí nevyužitého tepla do tepelných ztrát zásobníku. Hodnota tepelné ztráty se pohybuje mezi 2 - 10 kWh/l. Malé zásobníky dosahují vyšších tepelných ztrát vlivem nedostatečného akumulacím objemu, kdy velké množství potenciálních solárních zisků je uvolněno do okolního prostoru.

Pro vyhodnocení zásobníku tepla z pohledu přehřívání kapaliny, je zásadní maximální zvolená teplota, kterou je povoleno dosáhnout. Čím nižší maximální teplota bude zvolena, tím větší akumulací objem je zapotřebí. Nejrychlejší nárůst teploty v zásobníku je patrný u menších objemů.

▪ Shrnutí výsledků do technické praxe

Současný koncept návrhu objemu solárního zásobníku platný v České republice i v zahraničí vychází z pravidla 50 - 80 l/m². Výrobci solárních sestav uvádí v projekčních podkladech tzv. nepsaná pravidla dimenzování akumulacích zásobníků. Solární ohřev teplé vody pro jedno- a dvougenerační rodinné domy stanovuje jako 1 - 1,5 m² kolektorové plochy na jednu osobu a objem zásobníku jako 1,5 - 2 x denní potřeba teplé vody, minimálně však 50 l/m² kolektorové plochy. U větších obytných domů 1 m² kolektorové plochy na bytovou jednotku a 30 - 80 l/m² kolektorové plochy. Toto pravidlo se na základě provedených simulací projevilo jako vhodný způsob návrhu i v případě solárních zásobníků menších objemů. Všechny zásobníky poukazují, že se hranice přehřátí kapaliny pohybuje okolo 25 - 30 l/m² poměru objemu ohřívání kapaliny a velikosti kolektorové plochy. Především v případě malých zásobníků hrozí riziko přehřátí při předimenzování kolektorové plochy, oproti zásobníkům větších objemů, které reagují na předání tepla z kolektorové plochy pomaleji. V běžném provozu, při dodržení pravidla 50 - 80 l/m², k problémovým stavům nedojde. Mohou však nastat v případě omezení odběru vyrobeného tepla z důvodu dlouhodobější nepřítomnosti. Pro tento případ, je potřeba navrhnout vhodná opatření. Například zakrytí plochy solárních kolektorů nebo zajištění uvolnění již vyrobeného tepla.

Solární pokrytí pro ohřev teplé vody by se měl podle doporučení pohybovat okolo 60 % pro malé systémy a 30 - 45 % pro středně velké systémy. Solární pokrytí nad 60 % je dosaženo při návrhu minimálně 1 m² kolektorové plochy na odběr teplé vody 50 l/den.

Zpracovaná data byla porovnána s výsledky českých a zahraničních autorů. Matuška navrhuje ve svých publikacích objem solárního zásobníku tepla pro běžnou potřebu teplé vody 30 - 50 l/(os.den) a celkovou plochu solárních kolektorů 2 - 6 m² v rozmezí 200 - 500 l. Knudsen vycházel při návrhu objemu solárního zásobníku z potřeby teplé vody 100 l/den. Jeho výzkum došel k závěru, že ideální objem zásobníku z energetického hlediska je 150 l. Nejčastěji volené a instalované zásobníky tepla jsou o objemu 200 l a 300 l. Vzhledem k běžné potřebě teplé vody do 200 l/den, jež byla stanovena průzkumem denní potřeby teplé vody jednogeneračních rodinných domů v Dánsku, byl určen jako ideální objem zásobníku teplé vody 100 - 175 l. Energy saver navrhuje akumulací objem solárního zásobníku 200 až cca 400 l pro 2 - 6 uživatelů, s předpokladem objemu přibližně 60 l/m² kolektorové plochy a 80 l/m² kolektorové plochy pro oblasti s vysokou intenzitou solárního záření.

Dosavadní poznatky a postupy návrhu akumulčního objemu solárních zásobníků lze prostřednictvím simulací vyhodnotit jako korektní. Vhodné se ukazuje dodržení pravidla akumulace 50 - 80 l/m². Větší objemy akumulace se jeví jako neekonomické. Menší objemy akumulace mohou způsobit přehřátí solární soustavy, především v letním období, a následné poškození komponentů okruhu. Návrh akumulčního objemu by neměl klesnout pod 30 l/m², právě z důvodu rizika přehřátí.

- Poznatky pro budoucí výzkum

Důležitým faktorem pro návrh solárního ohřevu teplé vody je znát předpokládaný odběr teplé vody. Norma ČSN 06 0320 udává hodnotu spotřeby teplé vody 82 l/(os.den) pro obytné prostory. Norma ČSN EN 12 831 uvádí rozmezí 25 - 100 l/(os.den) v závislosti na náročnosti uživatele. Vzhledem ke snaze šetřit energií by bylo vhodné provést rozsáhlá měření na objektech a stanovení aktuálnějších hodnot odběrů teplé vody pro ucelnější a efektivnější návrh systémů přípravy teplé vody a jejich odběrových křivek. Přesnější znalosti spotřeb teplé vody z reálných objektů by umožnilo konkrétnější nastavení simulačních modelů energetické bilance solárních soustav. Specialisté z oboru prozatím nemají jednoznačné stanovisko ke spotřebě teplé vody. Hodnoty stanovené normou nejsou schopny promítnout skutečné chování uživatele. Praxe poukazuje na velké rozdíly ve spotřebě teplé vody mezi jednotlivými odběrateli. Například v Dánsku je předpokládaná spotřeba teplé vody o polovinu nižší než v České republice.

Použitá meteorologická data ztelně ovlivňují výsledky simulací. Vzhledem k neustále probíhající změnám v počasí a celosvětovému globálnímu oteplování jsou pro autentičnost výsledků simulací potřebné několikaleté průměry naměřených klimatických dat. Výsledná meteorologická data by měla obsahovat globální a difuzní solárního záření, venkovní teplotu, směr a rychlost větru, atmosférický tlak, relativní a měrnou vlhkost a teplotu rosného bodu. Nejpřesnější návrh a ověření solárního systému je dosažen použitím klimatických dat ze stejné či blízké lokality.

Při vytváření modelů za účelem provádění simulací by se neměly zanedbávat rozvody potrubí. Přestože se dbá na tepelné zaizolování všech dostupných částí kapalinových systémů, stále dochází ke ztrátám tepla do okolních prostorů. Tyto ztráty nejsou v návrhu systémů zanedbatelné, pokud se chceme co nejvíce blížit skutečnosti. Obzvláště využíváme-li k návrhu výpočtové nástroje. Výpočet celoroční bilance tepelné ztráty potrubí solárního okruhu je poměrně komplikovaný, vzhledem ke vstupu mnoha proměnných parametrů. Bylo by vhodné se touto problematikou podrobněji zabývat.

Vzhledem k současnému trendu úspor energií a snižování spotřeby teplé vody se trh přiklání k zásobníkům menších akumulčních objemů, i ve smyslu úspory prostoru. Problémem těchto solárních zásobníků je vyšší riziko přehřívání kapaliny a tudíž ztráty tepla formou stagnace systému a možné poškození solární soustavy vlivem překročení maximální operační teploty jejich jednotlivých součástí. Jelikož teplota solárního

systému může při stagnaci dosáhnout až okolo 200 - 300 °C podle typu solárního kolektoru a většina zařízení solární soustavy včetně samotného zásobníku tepla má maximální operační teplotu okolo 95 °C, bylo by vhodné zdokonalit konstrukční řešení těchto komponent, tak aby byla schopná odolávat i teplotám vyšším.

Výrobci solárních zásobníků v technických listech uvádí jejich parametry, avšak rozsah těchto parametrů je nesourodý. Některé parametry potřebné jako vstupní data pro simulace či posouzení solárního systému tedy často nejsou uvedeny a musí se obtížně dohledávat. Ucelenější dokumentace výrobků by přinesla užitek nejen projektantům, ale také výzkumníkům z dané oblasti.

Posouzení či návrh soustavy je často provedeno prostřednictvím simulačního softwaru. Trh poskytuje poměrně rozsáhlou nabídku těchto výpočetních nástrojů. Některé jsou zaměřeny na konkrétní systémy technického zařízení budov. Jejich používání však nezajišťuje dosažení stoprocentních výsledků. Uživatelé nejsou seznámeni se všemi matematicko-fyzikálními vzorci, stejně tak postupy a jejich souvislostmi, které se v pozadí daného softwaru odehrávají. Pro zajištění kvalitnějších výsledků je vhodné vytvořit si vlastní výpočetní nástroj, jehož pozadí je uživateli zcela znám.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Internetový portál: <http://sbi.dk/en/bsim>.
- [2] Internetový portál: <http://kcad.cz/cz/uvod/>.
- [3] Internetový portál: <http://www.trnsys.com/>.
- [4] Internetový portál: <http://www.solardesign.co.uk/tsol.php>.
- [5] Obnovitelné zdroje. Akumulační zásobníky allstor VPS/2 - Modul: Akumulační zásobníky. Dostupné na: <https://docplayer.cz/5905325-Obnovitelne-zdroje-akumulacni-zasobniky-allstor-vps-2-modul-akumulacni-zasobniky-verze-02-allstor-vps-300-2-2000-2-01-e3.html>.
- [6] Fotovoltaika, fototermika – Kapitola 13: Navrhování a bilancování solárních soustav. Dostupné na: <https://publi.cz/books/91/13.html>.
- [7] KNUDSEN, S.: *Consumers' influence on the thermal performance of small SDHW systems - theoretical investigations*. Publikováno v: Solar Energy 73, pp. 33-42, 2002. Dostupné na: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00018-X).
- [8] Energy saver. *Everything you wanted to know about solar water heating systems*. Dostupné na: <https://www.energy.gov/energysaver/articles/everything-you-wanted-know-about-solar-water-heating-systems>.
- [9] KRAMOLIŠ, P.: *Zásobníky tepla*, 2004. Dostupné na: <http://www.tzb-info.cz/1950-zasobniky-tepla>.
- [10] MATUŠKA, T.: *Solární zásobníky*. Dostupné na: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-zasobniky>.
- [11] MATUŠKA, T.: *Solární zařízení v příkladech*, Grada Publishing, Praha 2013, ISBN 978-80-247-3525-2.
- [12] MATUŠKA, T.: *Alternativní zdroje energie*. Praha 2010.
- [13] VYHLÍDALOVÁ, K.; HORÁK, P.: *Modelling of a small solar collector array and comparison with meteorological data using TRNSYS energy simulation software*. Publikováno v: Advanced Materials Research Vol.1041, Trans Tech Publications, Švýcarsko 2014, ISBN 1662-8985. Dostupné na: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.109>.
- [14] TNI 73 0302. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup*, 2014.
- [15] MATUŠKA, T.: *Zjednodušená bilance solárního kolektoru*. Dostupné na: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>.