

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Studentská vědecká a odborná činnost
Akademický rok 2005/2006

Stanovení účinnosti systému
s kombinovanými zdroji a
akumulačním zásobníkem

Jméno a příjmení studenta :

Michal Krošlák

Ročník, obor, modul :

5., Pozemní stavby a konstrukce, TZB

Vedoucí práce :

Doc. Ing. Karel Kabele, CSc.

Katedra :

Technická zařízení budov



Obsah

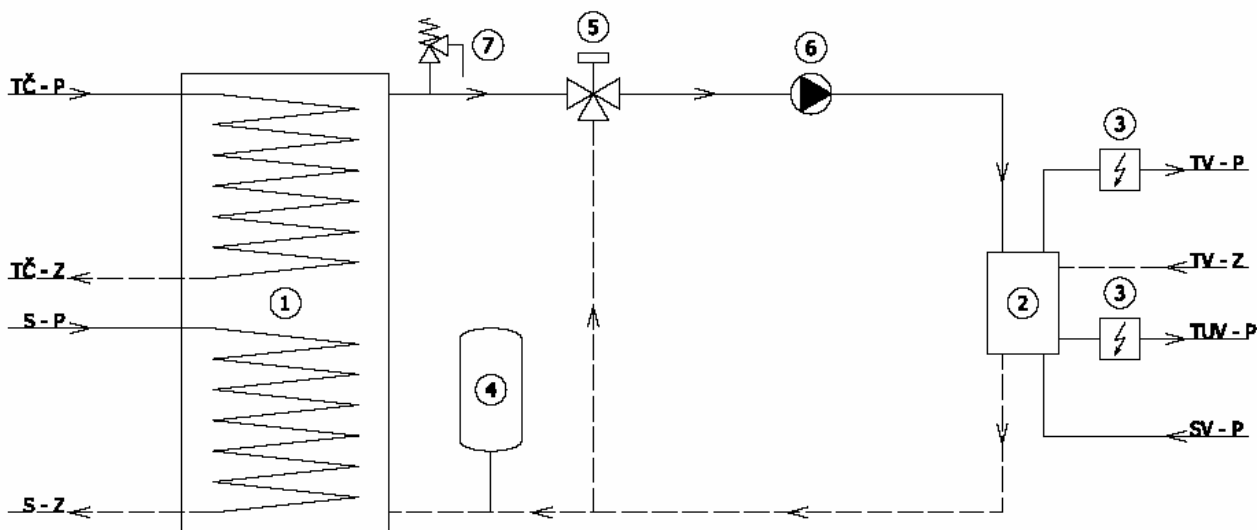
1. Úvod
2. Popis systému
3. Analýza problému
 - 3.1 Proměnné
 - 3.2 Postup výpočtu
 - 3.2.1 Výpočet tepelných zisků solárního kapalinového kolektoru
 - 3.2.2 Výpočet účinnosti systému
4. Aplikace (příklad použití)
5. Výsledky
6. Závěr

1. Úvod

Úspora energií je v posledních letech stále častějším tématem. Cílem úlohy je stanovení optimální teploty v akumulční nádrži tepla tak, aby celková účinnost systému pro vytápění a ohřev teplé vody byla maximální.

2. Popis systému

Systém pro vytápění a ohřev teplé vody je navržen dle následujícího schématu.



Obrázek 1 - Schéma zapojení

Legenda:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 – Akumulační zásobník tepla | TČ – P – Tepelné čerpadlo – přívod |
| 2 – Bytová stanice | TČ – Z – Tepelné čerpadlo – zpátečka |
| 3 – Elektrodohřev | S – P – Solár – přívod |
| 4 – Expanzní nádoba | S – Z – Solár – zpátečka |
| 5 – Termostatický směšovací ventil | TV – P – Topná voda – přívod |
| 6 – Oběhové čerpadlo | TV – Z – Topná voda – zpátečka |
| 7 – Pojistný ventil | TUV – P – Teplá voda – přívod |
| | TUV – Z – Teplá voda – zpátečka |



Teplu dodané do systému tepelným čerpadlem a solárními kolektory se akumuluje v integrovaném zásobníku tepla. Dohřev teplé vody, příp. topné vody je pomocí elektrického průtokového ohřívače. Soustava je vhodná např. pro bytový dům s několika byty, kde akumulční zásobník je umístěn ve společné technické místnosti a v jednotlivých bytech jsou umístěny bytové stanice.

Srdcem celého systému je akumulční zásobník tepla, do kterého se akumuluje teplo ze solárních kolektorů a tepelného čerpadla. Pro výpočet jsem zvolil integrovaný zásobník tepla IZT 925 fy ATREA s.r.o. Jedná se o beztlakovou nádrž z ocelového plechu. Objem nádrže je 925 l, vnější průměr zásobníku s izolací je 1010 mm a výška zásobníku s izolací je 2245 mm. Funkci tepelné izolace integrovaného zásobníku tepla tvoří desky z minerální vlny tl. 120 mm s krycí vrstvou MIRELON s reflexní fólií.

Teplu do zásobníku dodávají solární kolektory a tepelné čerpadlo. V systému jsou zvoleny solární kapalinové kolektory se selektivní absorpční vrstvou a jedním krycím sklem. Úhel naklonění kolektorové plochy α volím 30°. Orientaci kolektorů vzhledem ke světovým stranám volím nejúčinněji jižní.

Tepelné čerpadlo volím typu Země – voda IVT Greenline G21. Tepelné čerpadlo je určeno pro odběr tepla z vrtu, plošného kolektoru nebo spodní vody. Je určeno pro objekty se zvýšenou potřebou teplé vody nebo s požadavkem na vyšší teplotu teplé vody. Maximální výstupní teplota je 65°C. Teplotu zeminy uvažuji 0°C. Jako chladicí medium je použito bezfreonové chladivo R 134 A.

Teplá voda ze zásobníku je pomocí oběhového čerpadla dopravována k jednotlivým bytovým stanicím a zpět do zásobníku. Zpětná voda je pak přimíchávána pomocí trojcestného směšovacího ventilu s termostatem k přívodu.

U každého bytu je instalována bytová stanice např. LOGOTHERM fy MEIBES s.r.o. s nerezovým deskovým výměníkem, ve kterém se průtokovým způsobem připravuje teplá voda a to vždy pouze při jejím odběru. Výkon stanice zajišťuje dostatek teplé vody pro všechna odběrná místa v bytě. Třícestný tlakem řízený PM regulátor ve stanici po dobu odběru teplé vody uzavírá okruh topení a 100% upřednostňuje ohřev teplé vody. V případě nedostatečné teploty teplé vody se automaticky spíná elektrický průtokový ohřívač, který vodu dohřeje na požadovaných 55°C. Vytápění bytu je celoročně zcela individuálně regulováno uživatelem bytu pomocí digitálního regulátoru teploty umístěného v referenční místnosti. Na tomto regulátoru si uživatel nastaví požadované teploty a pohon regulátoru instalovaný ve stanici otvírá a zavírá okruh topení a udržuje zvolenou teplotu a tepelnou pohodu v bytě. V případě nedostatečné teploty topné vody se automaticky spíná elektrický průtokový ohřívač, který topnou vodu dohřeje na požadovanou teplotu. Systém umožňuje celoroční, plně individuální a na topné sezóně nezávislou regulaci teploty bytu. Okamžitá příprava teplé vody vylučující vznik bakterií Legionella. Energeticky úsporný a bezúdržbový provoz, odpadájí veškeré domovní rozvody teplé vody včetně cirkulace.



3. Analýza problému

3.1 Proměnné

Ve výpočtu byly zvoleny následující proměnné:

- Počet osob v objektu n_o [-]
- Tepelná ztráta objektu (prostupem + větráním) Q [kW]
- Venkovní výpočtová teplota t_e [°C]
- Vnitřní výpočtová teplota t_i [°C]
- Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{i,m}$ [°C]
- Teplota vody v akumulární nádrži t_n [°C]
- Kolektorová plocha A [m²]
- Topný faktor tepelného čerpadla $\mu_{tč}$ [-]
- Příkon tepelného čerpadla $P_{tč}$ [kW]

3.2 Postup výpočtu

Výpočet je proveden pro celoroční bilanci energie (tepla) vystupujícího z objektu a energie (tepla) dodaného do systému.

3.2.1 Výpočet tepelných zisků solárního kapalinového kolektoru

$Q_{sol,měs}$ [kWh/měs] energie zachycená kolektorovou plochou za měsíc

$$Q_{sol,měs} = A \times Q_{K,měs} \quad [1]$$

kde A [m²] kolektorová plocha, A proměnná
 $Q_{K,měs}$ [kWh/m²] energie zachycená 1 m² kolektorové plochy za měsíc

$$Q_{K,měs} = \eta_k \times Q_{s,měs} \quad [2]$$

kde η_k [-] účinnost solárního kapalinového kolektoru

$$\eta_k = (1 - r) - ((U_1 + U_2) \times (t_n - t_v)) / I_s \quad [3]$$

kde r [-] poměrná reflexní schopnost skel kolektoru

$r = 0,15$ mírně znečištěná skla, r volím

U_1 [W/(m²*K)] součinitel prostupu tepla vrstvou na přední straně (skla)

U_2 [W/(m²*K)] součinitel prostupu tepla vrstvou na zadní straně kolektoru

$U_1 + U_2 = 4,25$ W/(m²*K) kolektor se selektivní absorpční vrstvou + 1 krycí sklo, $U_1 + U_2$ volím

t_n [°C] teplota vody v akumulární nádrži, t_n proměnná

t_v [°C] střední teplota vzduchu v době slunečního svitu



I_s [W/m²] střední měrný tepelný tok dopadajícího záření
= průměrná měsíční hodnota pro úhel naklonění kolektorové plochy
 $\underline{\alpha} = 30^\circ$ a součinitel znečištění atmosféry $\underline{Z} = 3$, $\underline{\alpha}$ a \underline{Z} volím

$$\eta_k = (1 - 0,15) - ((4,25 \times (t_n - t_v)) / I_s)$$

$Q_{s,m\acute{e}s}$ [kWh/m²] Energie sluneční radiace dopadající na osluněnou plochu
za měsíc

$$Q_{s,m\acute{e}s} = n \times Q_{s,den} \quad [4]$$

kde n [-]počet dnů v měsíci

$Q_{s,den}$ [kWh/m²] Energie sluneční radiace dopadající na osluněnou
plochu za den

$$Q_{s,den} = t_p \times Q_{s,den,teor} + (1 - t_p) \times Q_{D,den} \quad [5]$$

kde t_p [-] poměrná doba slunečního svitu

$Q_{s,den,teor}$ [kWh/m²] teoretické množství dopadajícího
slunečního záření na m² kolektorové plochy za den při jasné
obloze, pro úhel naklonění kolektorové plochy $\underline{\alpha} = 30^\circ$,
orientace jih, orientaci a sklon volím

= průměrná měsíční hodnota pro úhel naklonění kolektorové
plochy $\underline{\alpha} = 30^\circ$, orientace jih

$Q_{D,den}$ [kWh/m²] množství difúzního slunečního záření
dopadajícího na m² kolektorové plochy za den

= průměrná měsíční hodnota pro úhel naklonění kolektorové
plochy $\underline{\alpha} = 30^\circ$

$Q_{K,den}$ [kWh/m²] energie zachycená 1 m² kolektorové plochy za den

$$Q_{K,den} = \eta_k \times Q_{s,den} \quad [6]$$

$Q_{sol,den}$ [kWh/den] energie zachycená kolektorovou plochou za den

$$Q_{sol,den} = A \times Q_{K,den} \quad [7]$$

3.2.2 Výpočet účinnosti systému

μ [-] účinnost systému

$$\mu = 1 - (Q_{s,m\acute{e}s} / Q_{p,m\acute{e}s}) \quad [8]$$

$\mu = 1$ potřeba elektrické energie na vytápění a ohřev TV je nulová

$\mu = 0$ potřeba elektrické energie na vytápění a ohřev TV = potřeba tepla

kde $Q_{s,m\acute{e}s}$ [kWh/měs] celková spotřeba elektrické energie na vytápění a ohřev TV
za měsíc

$$Q_{s,m\acute{e}s} = Q_{el,t\check{c},m\acute{e}s} + Q_{el,vyt,m\acute{e}s} + Q_{el,tv,m\acute{e}s} \quad [9]$$



kde $Q_{el,tč,měs}$ [kWh/měs] spotřeba elektrické energie na výrobu tepla tepelným čerpadlem za měsíc

$$Q_{el,tč,měs} = \mu_{tč} \times Q_{tč,vyr,měs} \quad [10]$$

kde $\mu_{tč}$ [-] topný faktor tepelného čerpadla, $\mu_{tč}$ proměnná
 $Q_{tč,vyr,měs}$ [kWh/měs] tepelná energie vyrobená tepelným čerpadlem za měsíc

$$Q_{tč,vyr,měs} = \text{MAX} (0; \text{MIN} (Q_{tč,p,měs}; Q_{tč,max,měs})) \quad [11]$$

kde $Q_{tč,p,měs}$ [kWh/měs] měsíční potřebná energie tepelného čerpadla

$$Q_{tč,p,měs} = \text{MAX} (0; Q_{p,měs} - Q_{sol,vyr,měs}) \quad [12]$$

kde $Q_{p,měs}$ [kWh/měs] celková měsíční potřeba tepla

$$Q_{p,měs} = Q_{vyt,měs} + Q_{tv,měs} + Q_{n,měs} \text{ (viz. dále)} \quad [13]$$

$Q_{sol,vyr,měs}$ [kWh/měs] energie zachycená kolektorovou plochou za měsíc

$$Q_{sol,vyr,měs} = \text{MIN} (Q_{p,měs}; Q_{sol,max,měs}) \quad [14]$$

kde $Q_{sol,max,měs}$ [kWh/měs] maximální energie zachytitelná kolektorovou plochou za měsíc

$$Q_{sol,max,měs} = Q_{sol,měs} \quad [15]$$

$Q_{tč,max,měs}$ [kWh/měs] měsíční maximálně možná energie vyrobitelná tepelným čerpadlem

$$Q_{tč,max,měs} = 24 \times n \times Q_{tč,max} \quad [16]$$

kde n [-] počet dnů v měsíci
 $Q_{tč,max}$ výkon tepelného čerpadla při podmínkách
 t_n [°C] na výstupu z tepelného čerpadla
a 0°C na vstupu do tepelného čerpadla
Pro výpočet uvažují tepelné čerpadlo
země – voda IVT Greenline G21

Parametry tepelného čerpadla v závislosti na t_n

t_n [°C] teplota vody v akumulární nádrži, t_n proměnná

$\mu_{tč}$ [-] topný faktor tepelného čerpadla, $\mu_{tč}$ proměnná

$Q_{tč,max}$ výkon tepelného čerpadla při podmínkách t_n [°C] na výstupu z tepelného čerpadla a 0°C na vstupu do tepelného čerpadla

$P_{tč}$ [kW] příkon tepelného čerpadla, $P_{tč}$ proměnná



Tabulka 1 Parametry tepelného čerpadla

t_n [°C]	$\mu_{t\check{c}}$ [-]	$Q_{t\check{c},max}$ [kW]	$P_{t\check{c}}$ [kW]
20	5,10	11,10	2,18
22	4,97	12,26	2,47
24	4,83	13,42	2,78
26	4,70	14,58	3,10
28	4,57	15,74	3,44
30	4,43	16,90	3,81
32	4,30	18,06	4,20
34	4,17	19,22	4,61
36	4,05	20,38	5,03
38	3,96	20,54	5,19
40	3,87	20,70	5,35
42	3,78	20,86	5,52
44	3,68	21,02	5,71
46	3,59	21,18	5,90
48	3,49	21,34	6,11
50	3,40	21,50	6,32
52	3,32	21,76	6,55
54	3,24	22,02	6,80
55	3,20	22,14	6,92
56	3,16	22,28	7,05
58	3,08	22,54	7,32
60	3,00	22,80	7,60

$Q_{el,vyt,m\check{e}s}$ [kWh/měs] spotřeba elektrické energie na "dovytápění"
elektrospirálou za měsíc

$$Q_{el,vyt,m\check{e}s} = Q_{p,m\check{e}s} - Q_{sol,vyr,m\check{e}s} - Q_{t\check{c},vyr,m\check{e}s} \quad [17]$$

$Q_{el,tv,m\check{e}s}$ [kWh/měs] spotřeba elektrické energie na dohřev teplé vody z
teploty t_n na 55°C za měsíc

$$Q_{el,tv,m\check{e}s} = \text{MAX} (\rho \times c \times V_{2p} \times (t_2 - t_n) / 3600; 0) \quad [18]$$

kde ρ [kg/m³] měrná hmotnost vody, $\rho = 1000$ kg/m³
 c [kJ/(kg*K)] měrná tepelná kapacita vody, $c = 4,182$ kJ/(kg*K)
 V_{2p} [m³/měs] celková potřeba teplé vody za měsíc [m³/měs]

$$V_{2p} = V_{2p,1} \times n \times n_o \quad [19]$$

$V_{2p,1}$ [m³/den] potřeba teplé vody na osobu a den
 $V_{2p,1} = 0,082$ m³/den



n [-] počet dnů v měsíci
 n_o [-] počet osob v objektu, \underline{n}_o proměnná
 t_2 [°C] teplota teplé vody, $t_2 = 55^\circ\text{C}$
 t_n [°C] teplota vody v akumulací nádrži po ohřevu tepelným čerpadlem a solárními kolektory, t_n proměnná

$$Q_{el,tv,m\acute{e}s} = \text{MAX} (1000 * 4,182 * 0,082 * n * n_o * (55 - t_n) / 3600; 0)$$

$Q_{p,m\acute{e}s}$ [kWh/měs] celková potřeba tepla za měsíc

$$Q_{p,m\acute{e}s} = Q_{vyt,m\acute{e}s} + Q_{tv,m\acute{e}s} + Q_{n,m\acute{e}s} \quad [13]$$

kde $Q_{vyt,m\acute{e}s}$ [kWh/měs] měsíční potřeba tepla na vytápění

$$Q_{vyt,m\acute{e}s} = 24 \times Q \times \varepsilon \times D / (t_{i,m} - t_e) \quad [20]$$

kde Q [kW] tepelná ztráta objektu, \underline{Q} proměnná

$$\varepsilon = \varepsilon_i \times \varepsilon_t \times \varepsilon_d / (\eta_o \times \eta_r) \quad [21]$$

ε [-] opravný součinitel

kde ε_i [-] nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem; protože tepelná ztráta infiltrací v běžných případech tvoří 10-20 % celkové tepelné ztráty, volí se součinitel $\underline{\varepsilon}_i = 0,8 - 0,9$, $\underline{\varepsilon}_i$ volím 0,85

ε_t [-] snížení teploty v místnosti během dne, resp. noci; v některých objektech je vlivem vhodné regulace možno snížit teplotu po určitou část dne; součinitel $\underline{\varepsilon}_t$ se volí v rozmezí 0,8 - např. pro školy s polodenním vyučováním až po 1,0 pro nemocnice, kde vyžadujeme 100 % výkon otopné soustavy po celých 24 hodin, $\underline{\varepsilon}_t$ volím 1,0

ε_d [-] zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu $\underline{\varepsilon}_d$; podle využití budovy v průběhu týdne se volí součinitel $\underline{\varepsilon}_d$ v rozmezí od 1,0 pro budovy se sedmidenním provozem, přes 0,9 pro budovy se šestidenním a 0,8 pro budovy s pětidenním provozem, $\underline{\varepsilon}_d$ volím 1,0

η_o [-] účinnost rozvodu - volí se v rozmezí 0,95 - 0,98 podle provedení, $\underline{\eta}_o$ volím 0,97

η_r [-] účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy - volí se v rozmezí 0,9 pro kotelnu na pevná paliva bez rozdělení kotelny na sekce až po 1,0 pro plynovou kotelnu s otopnou soustavou rozdělenou do sekcí např. podle světových stran s automatickou regulací, $\underline{\eta}_r$ volím 1,0

$$\varepsilon = \varepsilon_i \times \varepsilon_t \times \varepsilon_d / (\eta_o \times \eta_r) = 0,85 \times 1,0 \times 1,0 / (0,97 \times 1,0) = 0,8763$$

D [d*K] počet denostupňů

$$D = (t_{i,m} - t_{e,m}) \times n \quad [22]$$



kde $t_{i,m}$ [°C] průměrná vnitřní výpočtová teplota v budově,
 $t_{i,m}$ proměnná
 $t_{e,m}$ [°C] průměrná měsíční teplota vzduchu (Praha - Karlov,
1961-1990)
 n [-] počet dnů v měsíci
 t_e [°C] venkovní výpočtová teplota, t_e proměnná
 $Q_{tv,měs}$ [kWh/měs] měsíční potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{tv,měs} = \rho \times c \times V_{2p} \times (t_2 - t_1) / 3600 \quad [23]$$

kde ρ [kg/m³] měrná hmotnost vody, $\rho = 1000$ kg/m³
 c [kJ/(kg*K)] měrná tepelná kapacita vody, $c = 4,182$ kJ/(kg*K)
 V_{2p} [m³/měs] celková potřeba teplé vody za měsíc [m³/měs]

$$V_{2p} = V_{2p,1} \times n \times n_o \quad [19]$$

kde $V_{2p,1}$ [m³/den] potřeba teplé vody na osobu a den
 $V_{2p,1} = 0,082$ m³/den
 n [-] počet dnů v měsíci
 n_o [-] počet osob v objektu, n_o proměnná
 t_2 [°C] teplota ohřáté vody, $t_2 = 55$ °C
 t_1 [°C] teplota studené vody, $t_1 = 10$ °C

$$Q_{tv,měs} = 1000 \times 4,182 \times 0,082 \times n \times n_o \times (55 - 10) / 3600$$

$Q_{n,měs}$ [kWh/měs] měsíční tepelné ztráty akumulční nádrže

$$Q_{n,měs} = 24 \times n \times U \times A \times (t_n - t_{i,m}) \quad [24]$$

Pro výpočet uvažuji integrovaný zásobník tepla IZT 925
fy ATREA s.r.o.

Vnitřní objem zásobníku 925 l

$$\text{Povrch zásobníku} \dots A = 2 \times \pi \times 0,385^2 + 2 \times \pi \times 0,385 \times 2,0 = 5,769 \text{ m}^2$$

Tepelná izolace – minerální vlna ROCKWOOL TECHROCK 40
tl. 120 mm, $\lambda = 0,038$ W/(m*K), $U = 0,317$ W/(m²*K)

n [-] počet dnů v měsíci

t_n [°C] teplota vody v akumulční nádrži, t_n proměnná

$t_{i,m}$ [°C] průměrná vnitřní výpočtová teplota v budově, $t_{i,m}$ proměnná

$$Q_{n,měs} = 24 \times n \times 0,317 \times 5,769 \times (t_n - t_{i,m})$$

V použitém výpočtovém modelu není zahrnuta spotřeba elektrické energie na provoz zařízení měření a regulace, oběhová čerpadla, která je pro všechny případy posuzované tímto modelem konstantní.



4. Aplikace (příklad použití)

Příklad výpočtu je proveden pro bytový dům se 40 osobami o tepelné ztrátě 23,097 kW. Venkovní výpočtová teplota $t_e = -12^\circ\text{C}$ (pro Prahu), vnitřní výpočtová teplota v bytovém domě $t_i = 20^\circ\text{C}$ a průměrná vnitřní výpočtová teplota v bytovém domě $t_{i,m} = 18,7^\circ\text{C}$. Teplota vody v akumuláční nádrži je uvažována 55°C . Jako zdroj tepla je použit solární kapalinový kolektor o ploše 50 m^2 a tepelné čerpadlo Země – voda IVT Greenline G21. Při ohřevu z 0°C na 55°C je topný faktor tepelného čerpadla $\mu_{tc} = 3,2$ a příkon tepelného čerpadla 6,92 kW.



Tabulka 2 - Výpočet solárních zisků

Vstupní údaje:

Teplota vody v nádrži t_n **55** °C
Kolektorová plocha A **50** m²

Měsíc	Počet dnů	$Q_{s,den,teor}$	$Q_{D,den}$	t_p	$Q_{s,den}$	$Q_{s,měs}$	I_s	t_v	η_k	$Q_{K,den}$	$Q_{K,měs}$	$Q_{sol,den}$	$Q_{sol,měs}$
	n	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[-]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[-]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/den]	[kWh/měs]
Leden	31	2,96	0,50	0,21	1,02	31,51	358	2,20	0,223	0,23	7,03	11	352
Únor	28	4,48	0,71	0,32	1,92	53,66	443	3,40	0,355	0,68	19,05	34	952
Březen	31	6,44	0,98	0,42	3,27	101,47	537	6,50	0,466	1,53	47,30	76	2365
Duben	30	7,98	1,20	0,45	4,25	127,53	574	12,10	0,532	2,26	67,89	113	3395
Květen	31	9,56	1,37	0,51	5,55	171,95	609	16,60	0,582	3,23	100,08	161	5004
Červen	30	9,98	1,41	0,54	6,04	181,13	611	20,60	0,611	3,69	110,62	184	5531
Červenec	31	9,56	1,37	0,55	5,87	182,11	609	22,50	0,623	3,66	113,49	183	5674
Srpen	31	7,98	1,20	0,55	4,93	152,80	574	22,60	0,610	3,01	93,22	150	4661
Září	30	6,44	0,98	0,53	3,87	116,21	537	19,40	0,568	2,20	66,04	110	3302
Říjen	31	4,48	0,71	0,37	2,10	65,25	443	13,80	0,455	0,96	29,67	48	1484
Listopad	30	2,96	0,50	0,21	1,02	30,50	358	7,30	0,284	0,29	8,65	14	433
Prosinec	31	2,35	0,41	0,14	0,68	21,13	299	3,50	0,118	0,08	2,49	4	125



Tabulka 3 – Výpočet účinnosti systému

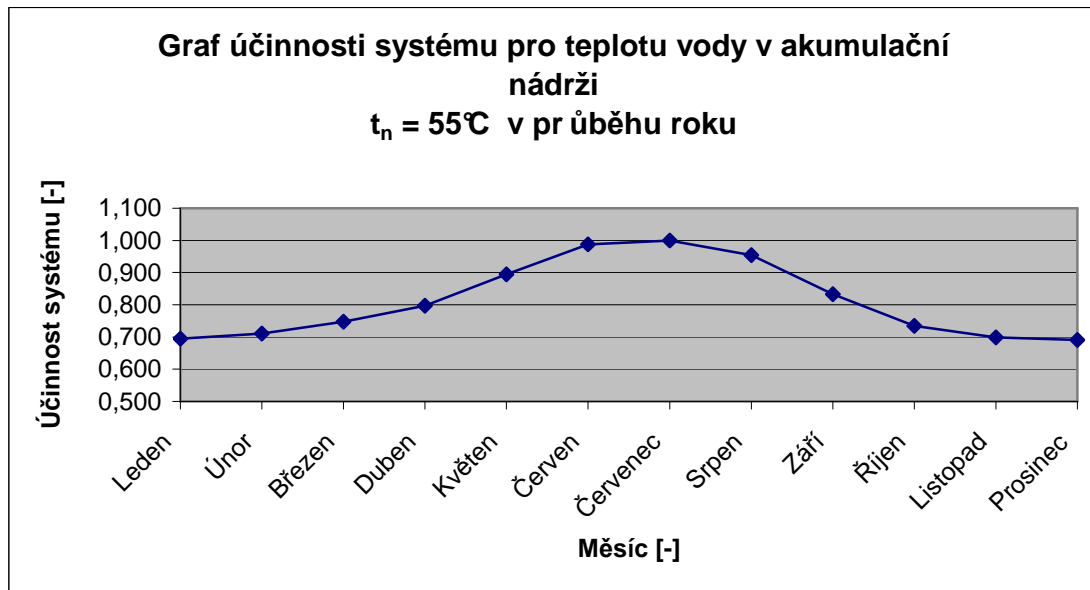
Vstupní údaje:

Počet osob	n_o	40	-
Tepelná ztráta objektu	Q	23,097	kW
Venkovní výpočtová teplota	t_e	-12	°C
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	20	°C
Průměrná vnitřní výpočtová teplota v budově	$t_{i,m}$	18,7	°C
Teplota vody v nádrži	t_h	55	°C
Topný faktor tepelného čerpadla	μ	3,2	-
Příkon tepelného čerpadla	$P_{tč}$	6,92	kW

Měsíc	n	$t_{e,m}$	$Q_{vyt,měs}$	$Q_{tv,měs}$	$Q_{n,měs}$	$Q_{p,měs}$	$Q_{sol,max,měs}$	$Q_{sol,vyr,měs}$	$Q_{tč,p,měs}$	$Q_{tč,max,měs}$	$Q_{tč,vyr,měs}$	$Q_{el,tč,měs}$	$Q_{el,vyt,měs}$	$Q_{el,tv,měs}$	$Q_{s,měs}$	$Q_{p,měs}$	μ_i	
	[-]	[°C]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[kWh/měs.]	[-]	
Leden	31	-0,9	9614	5315	49	14979	352	352	14627	16475	14627	4571	0	0	4571	14979	0,695	
Únor	28	0,8	7930	4801	45	12776	952	952	11824	14881	11824	3695	0	0	3695	12776	0,711	
Březen	31	4,6	6916	5315	49	12281	2365	2365	9916	16475	9916	3099	0	0	3099	12281	0,748	
Duben	30	9,2	4509	5144	48	9701	3395	3395	6306	15944	6306	1971	0	0	1971	9701	0,797	
Květen	31	14,2	2207	5315	49	7572	5004	5004	2568	16475	2568	802	0	0	802	7572	0,894	
Červen	30	17,5	570	5144	48	5761	5531	5531	230	15944	230	72	0	0	72	5761	0,988	
Červenec	31	19,1	0	5315	49	5365	5674	5365	0	16475	0	0	0	0	0	5365	1,000	
Srpen	31	18,5	98	5315	49	5463	4661	4661	802	16475	802	251	0	0	251	5463	0,954	
Září	30	14,7	1899	5144	48	7090	3302	3302	3788	15944	3788	1184	0	0	1184	7090	0,833	
Říjen	31	9,7	4415	5315	49	9779	1484	1484	8295	16475	8295	2592	0	0	2592	9779	0,735	
Listopad	30	4,4	6788	5144	48	11980	433	433	11547	15944	11547	3608	0	0	3608	11980	0,699	
Prosinec	31	0,9	8731	5315	49	14096	125	125	13971	16475	13971	4366	0	0	4366	14096	0,690	
									32969			83873	26210	0	0	26210	116842	0,812



Obrázek 2 – Graf účinnosti systému pro teplotu vody v akumulční nádrži $t_n = 55^\circ\text{C}$



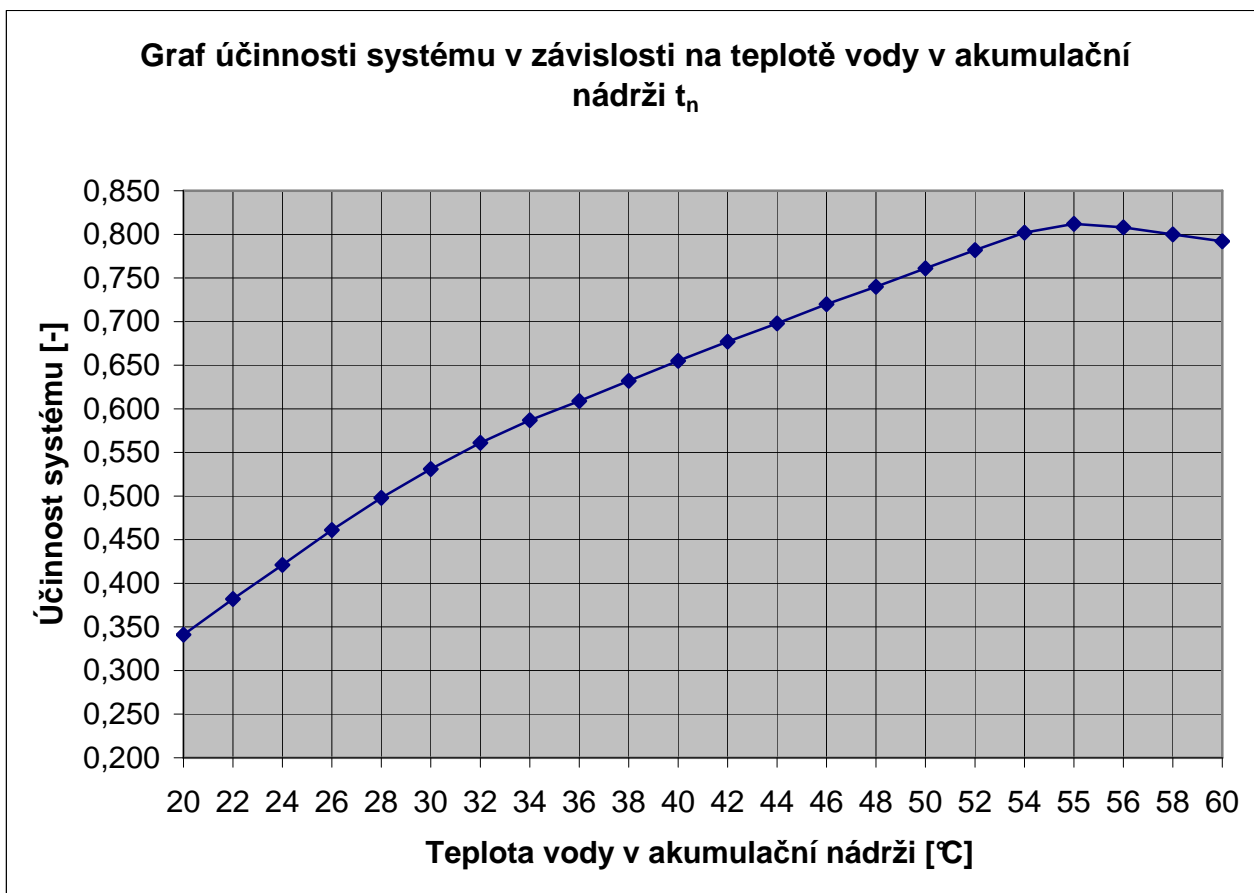
5. Výsledky

Tabulka 4 - Tabulka vyjadřující závislost účinnosti systému μ na teplotě vody t_n v akumulční nádrži

t_n [$^\circ\text{C}$]	$Q_{\text{sol,vyr,r}}$ [kWh/rok]	$Q_{\text{tč,vyr,r}}$ [kWh/rok]	$Q_{\text{el,tč,r}}$ [kWh/rok]	$Q_{\text{el,vyt,r}}$ [kWh/rok]	$Q_{\text{el,tv,r}}$ [kWh/rok]	$Q_{\text{s,r}}$ [kWh/rok]	$Q_{\text{p,r}}$ [kWh/rok]	μ [-]
20	44434	54605	10707	17242	48676	76625	116281	0,341
22	43841	58593	11789	13880	45895	71564	116314	0,382
24	43244	62372	12914	10730	43113	66756	116346	0,421
26	42647	66126	14069	7604	40332	62006	116378	0,461
28	42050	69607	15231	5753	37550	57534	116410	0,498
30	41454	72415	16347	2572	34769	53688	116442	0,531
32	40858	74729	17379	886	31987	50253	116474	0,561
34	40262	76244	18284	0	29206	47490	116506	0,587
36	39665	76873	18981	0	26424	45405	116538	0,609
38	39069	77501	19571	0	23643	43214	116570	0,632
40	38471	78131	20189	0	20861	41050	116602	0,655
42	37828	78806	20848	0	18080	38928	116634	0,677
44	37115	79551	21617	0	15298	36915	116666	0,698
46	36411	80287	22364	0	12517	34881	116698	0,720
48	35691	81039	23220	0	9735	32956	116730	0,740
50	34979	81783	24054	0	6954	31008	116762	0,761
52	34230	82564	24864	0	4172	29041	116794	0,782
54	33388	83438	25752	0	1391	27143	116826	0,802
55	32969	83873	26210	0	0	26210	116842	0,812
56	32548	84310	26680	0	0	26680	116858	0,808
58	31707	85183	27657	0	0	27657	116890	0,800
60	30848	86074	28691	0	0	28691	116922	0,792



Obrázek 3 – Graf účinnosti systému v závislosti na teplotě vody v akumulční nádrži t_n

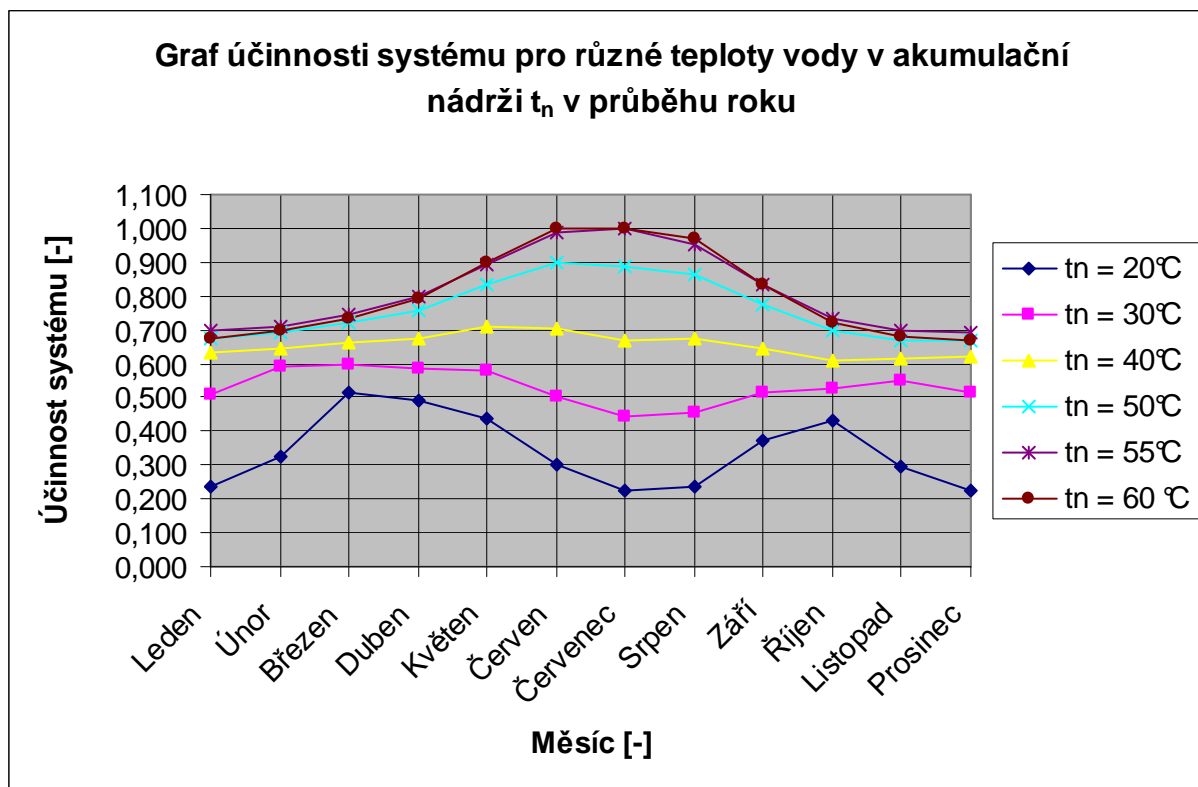


Tabulka 5 - Tabulka účinnosti systému μ_i v závislosti na teplotě vody v akumulční nádrži t_n v průběhu roku

Měsíc	μ_i [-] pro t_n [°C]					
	20	30	40	50	55	60
Leden	0,236	0,508	0,634	0,675	0,695	0,677
Únor	0,324	0,593	0,643	0,689	0,711	0,695
Březen	0,514	0,595	0,660	0,719	0,748	0,736
Duben	0,492	0,586	0,674	0,757	0,797	0,791
Květen	0,440	0,577	0,709	0,834	0,894	0,900
Červen	0,300	0,501	0,701	0,901	0,988	1,000
Červenec	0,222	0,446	0,668	0,890	1,000	1,000
Srpen	0,237	0,456	0,674	0,864	0,954	0,968
Září	0,373	0,512	0,645	0,772	0,833	0,833
Říjen	0,431	0,524	0,612	0,695	0,735	0,723
Listopad	0,293	0,552	0,613	0,671	0,699	0,681
Prosinec	0,225	0,517	0,622	0,668	0,690	0,671



Obrázek 4 – Graf účinnosti systému pro různé teploty vody v akumulární nádrži t_n v průběhu roku



6. Závěr

Z výpočtů, tabulek a grafů je zřejmé že nejvyšší účinnosti systému pro vytápění a ohřev teplé vody je dosaženo při teplotě vody v akumulární nádrži $t_n = 55^\circ\text{C}$. Množství doplňkové energie dodané do systému $Q_{s,r} = 26210$ kWh/rok a potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody $Q_{p,r} = 116842$ kWh/rok. Doplňková energie zahrnuje energii spotřebovanou tepelným čerpadlem a energii na dohřev teplé vody, příp. vytápění. Roční účinnost systému $\mu = 0,812$.

Literatura

- 1) TZB INFO: <http://www.tzb-info.cz/>
- 2) ČVUT, Fakulta stavební, katedra TZB: <http://tzb.fsv.cvut.cz>
- 3) Projekční a propagační materiály fy ATREA s.r.o.
- 4) Projekční a propagační materiály fy MEIBES s.r.o.
- 5) Projekční a propagační materiály fy VESKOM s.r.o.
- 6) Český hydrometeorologický ústav: <http://www.chmi.cz/>

V Praze dne 12.5.2006

Michal Krošlák