

Testing of Ekoterm water heaters and hot water tanks

Jørn Stene
Reidar Tellebon
Rune Lillethun Hoggen

SINTEF Energy Research AS

June 2005



www.energy.sintef.no



TECHNICAL REPORT

Case/assignment (title): EKOTERM – testing of water heaters and hot water tanks

SINTEF Energy Research AS
Reception: Sem Sælands vej 11
Fax: +47 73 59 7250

Postal address: 7465 Trondheim
Telephone: +47 7559 72 00
www.energy.sintef.no

Business number
NO 939 350 675 MVA

PRINCIPAL: Borup Gruppen Holding A/S, Denmark TR No: TR F6141
DATE: 2005-05-14 REF FROM PRINCIPAL(S) Jack Agerskov
PROJECT NO. 16X003.40 ELECTRONIC ID NO: 050511151513
PROJECT MANAGER (NAME, SIGN): Jørn Stene Grade: Confidential
ISBN NO: 82-694-2849-0 REPORT TYPE: SUPERIOR: Inge R. Gran
Number of pages: 21 DEPARTMENT: Energy Processes
VISTING ADDRESS: Kolbjørn Hejes vej 1 D FAX: +47 73 59 39 50

RESULT (summary)

The testing of the heat effect and thermal efficiency of two electric water heaters from Ekoterm have been carried out, i.e. the *Ekoterm 3F1* (15kW, 400 V, 3-phase) and the *Ekoterm 1F1* (7 kW, 230 V, 1-phase). The temperature drop (heat loss) has also been tested, and the average heat transfer coefficient (U-value) for the 200-litre hot water tank, *Ekoterm 3F1200V*, has been calculated.

The *Ekoterm 3F1* was tested at approximately 60/40 and 40/30° C inlet/outlet water temperatures for the plate heat exchanger and at approximately 5, 10 and 15 kW heat effect. Each test period lasted approx. 30 minutes. *Ekoterm 1F1* was tested at approximately 60/40 and 40/30°C inlet/outlet water temperature for the plate heat exchanger and at approximately 3.5 and 7 kW heat effect. Each test period lasted approx. 30 minutes.

The test of the hot water tank, *Ekoterm 3F1200V*, took place with a starting temperature of approximately 65°C and approx. 20°C ambient air temperature. The test period was 24 hours.

The accuracy of the test equipment followed the EN 14511, a European (CEN) test standard for heat pump systems./1/

- The thermal efficiency for *Ekoterm 3F1* (15 kW) was in the range of 96.7 to 98.7 percent, while calculated test uncertainties were in the order of 1.7 to 2.2 percent.
- The thermal efficiency for *Ekoterm 1F1* (7 kW) was in the range of 97.2 to 98.6 percent while the calculated test uncertainties were in the order of 1.7 to 2.2 percent.
- The temperature level at heat rejection, i.e. inlet and outlet temperatures for the plate heat exchanger had minimum impact on the Ekoterm unit's thermal efficiency (within the uncertainties of the test rig)
- The calibrated heat effect (3.5-7 kW and 5-15 kW) had minimum impact on the Ekoterm units' thermal efficiency (within the uncertainties of the test rig).
- The temperature level at heat rejection, i.e. the inlet and outlet temperatures for the plate heat exchanger had great impact on the calibrated heat effect.
- The temperature drop for the hot water tank, *Ekoterm 3F1200V* during the test period was approximately 0.35°C per hour. It corresponds with a average heat transfer coefficient (U-value) for the tank of approximately 0.45 W/(m²K).

CATCHWORDS:

Selective: Electric water heater, Testing, Hot water tank, heat loss

SADRZAJ

1	REZIME	3
2	UVOD	4
3	OPREMA ZA TESTIRANJE –EKSPERIMENTALNE METODE	5
	3.1 TESTIRANJE EKOTERM GREJACA ZA VODU	5
	3.1.1 Oprema za testiranje	5
	3.1.2 Procedura testiranja	5
	3.1.3 Uslovi testiranja	5
	3.1.4 Oprema za merenje	6
	3.1.5 Nepreciznosti u izračunatim vrednostima	7
	3.2 TESTIRANJE EKOTERM REZERVOARA ZA TOPLU VODU	8
	3.2.1 Oprema za testiranje	8
	3.2.2 Procedura testiranja	8
	3.2.3 Uslovi testiranja	8
	3.2.4 Oprema za merenje	9
	3.2.5 Nepreciznosti u izračunatim vrednostima	9
4	IZMERENE VREDNOSTI	10
	4.1 TESTIRANJE EKOTERM GREJACA ZA VODU	10
	4.1.1 Metod proračuna	10
	4.1.2 Izmereno dejstvo i efikasnost toplove	10
	4.1.3 Rasprava-zaključak	11
	4.2 TESTIRANJE EKOTERM REZERVOARA ZA TOPLU VODU	11
	4.2.1 Metod proračuna	11
	4.2.2 Izmeren pad temperature	12
	4.2.3 Izmerena U-vrednost i gubitak toplove rezervoara	13
5	BIBLIOGRAFIJA	14
6	DODATAK A- STEPEN TACNOSTI	15
	6.1 UVOD	15
	6.2 NEPRECIZNOSTI U ODBIJENOM DEJSTVU TOPLOTE	15
	6.3 NEPRECIZNOSTI U TOPLITNOJ EFIKASNOSTI	16
7	DODATAK B- PRIMER TEHNICKIH PODATAKA SA REZULTATIMA TESTA	17

1. REZIME

Sprovedeno je testiranje dejstva toplotne i toplotne efikasnosti kod dva Ekoterm električna grejača za vodu, t.j. kod Ekoterm 3F1 (15 kW, 400 V, 3-phase) i kod Ekoterm 1F1(7Kw, 230 V, 1-phase). Testiran je takođe i pad temperature (gubitak toplotne), i izračunat je koeficijent prosečnog prenosa toplotne (U-vrednost) za rezervoar tople vode od 200 litara, Ekoterm 3F1200V.

Ekoterm 3F1 je bio testiran na približnim temperaturama od 60/40 i 40/30°C ulazne/izlazne vode za pločasti izmenjivač toplotne i na približno 5, 10 i 15 kW toplotnog dejstva. Svaki period testiranja je trajao približno 30 min. Ekoterm 1F1 je testiran na približnoj temperaturi od 60/40 i 40/30°C ulazne/izlazne vode za pločasti izmenjivač toplotne i na približno 3.5 i 7 kW toplotnog dejstva. Svaki period testiranja je trajao približno 30 min.

Testiranje rezervoara tople vode, Ekoterm 3F1200V, izvedeno je sa početnom temperaturom od približno 65°C i na približno 20°C sobne temperature. Period testiranja je bio 24 sata.

Tačnost opreme za testiranje praćena je EN 14511, Evropskim (CEN) standardom za testiranje sistema parnog grejanja./1/

- Toplotna efikasnost za Ekoterm 3F1 (15 kW) bila je u opsegu od 96.7 do 98.7 procenata, dok su izračunate nepreciznosti testiranja bile od 1.7 do 2.2 procenata.
- Toplotna efikasnost za Ekoterm 1F1 (7 kW) bila je u opsegu od 97.2 do 98.6 procenata dok su izračunate nepreciznosti testiranja bile od 1.7 do 2.2 procenata.
- Nivo temperature na odbacivanju toplotne, t.j. ulazne i izlazne temperature za pločasti izmenjivač toplotne imao je minimalni uticaj na toplotnu efikasnost Ekoterm uređaja (u okviru nepreciznosti opreme za testiranje)
- Obeleženo toplotno dejstvo (3.5-7 kW i 5-15 kW) imalo je minimalni uticaj na toplotnu efikasnost Ekoterm uređaja (u okviru nepreciznosti opreme za testiranje).
- Nivo temperature na odbacivanju toplotne, t.j. ulazne i izlazne temperature za pločasti izmenjivač toplotne imao je veliki uticaj na obeleženom toplotnom dejstvu.
- Pad temperature u rezervoaru tople vode, Ekotermu 3F1200V za vreme perioda testiranja je približno bio 0.35°C po satu. To je u saglasnosti sa prosečnim koeficijentom prenosa toplotne (U-vrednost) za rezervoar od prosečno 0.45 W/(m²K).

2. UVOD

Ekoterm električni grejači za vodu (www.ekoterm.biz) se koriste i za grejanje prostora i za grejanje vode u zgradama i industrijskim postrojenjima. Grejači za vodu se sastoje od zatvorenog kruznog toka (sporedni sistem) u kome pumpa inicira cirkulisanje vode kroz kotao do pločastog izmenjivača toplote gde se toplota odbija u toplotni razvodni sistem u zgradi. Kotao koristi isti toplotni princip kao elektrodni kotao gde se električna struja vodi iz jedne elektrode ka drugoj vodom u kojoj su potopljene. Zbog električnog otpora, voda se zagreva. Električna provodljivost vode, a tako i toplotna snaga kotla, se određuje dodavanjem soli u vodu. Sto je rastvor soli gušći, veća je njegova električna provodljivost a i toplotni efekat kotla.

Pločasti izmenjivač toplote u sporednom kružnom toku Ekoterm uređaja je povezan sa hidroničnim toplotnim razvodnim sistemom koji je povezan sa rezervoarom tople vode sa duplim omotačem (ili sa rezervoarom tople vode sa jednim omotačem sa ugradjenim cevastim izmenjivačem toplote) kao i sa toplotnim elementima za prostorno grejanje (cevi za podno grejanje radijatori ili konvektori).

Konkurenți Ekoterm električnim grejačima vode su, među ostalim uronjenim grejačima, električni bojleri, uljani bojleri, bojleri na gas, bio bojleri, pumpe centralnog ili oblasnog grejanja.

U ovom izvestaju, testirana je sledeća Ekoterm oprema:



Ekoterm 3F1-test efikasnosti

- 15 kW
- 400 V, 3-fazni
- Bez rezervoara tople vode



Ekoterm 1F1-test efikasnosti

- 7 kW
- 230 V, 1-fazni
- Bez rezervoara tople vode



Ekoterm 3F1200V-test zastoja gubitka u rezervoaru

- rezervoar tople vode od 200 litara sa unutrašnjim namotajem
- bez testiranja grejnog tela

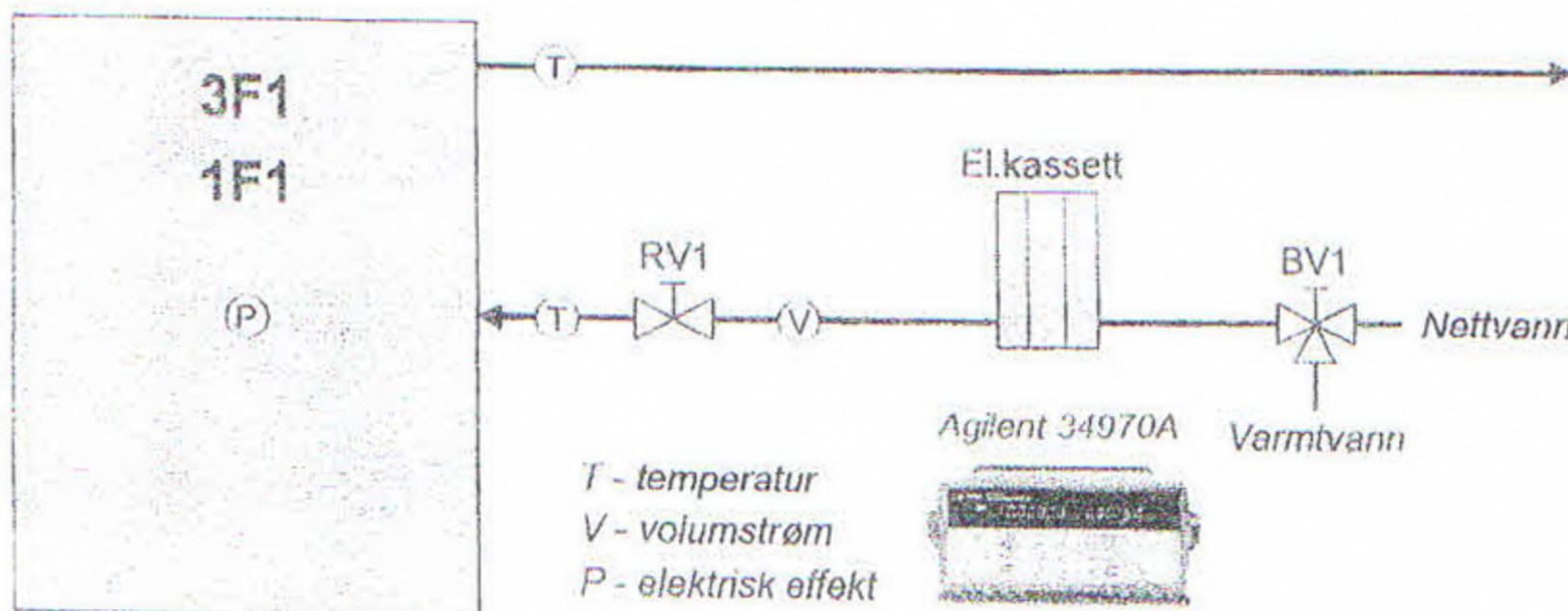
Ekoterm 3F1 je testiran na približno 60/40 i 40/30°C ulaznih/izlaznih temperatura vode na izmenjivaču toplote i sa približno 5, 10 i 15 kW toplotnog dejstva; ukupno 6 testova. *Ekoterm 1F1* je testiran na približno 60/40 i 40/30°C ulaznih/izlaznih temperatura vode na izmenjivaču toplote i na približno 3.5 i 7 kW toplotnog dejstva; ukupno 4 testa. Rezervoar tople vode u *Ekotermu 3F1200V* i na približno 65°C početne temperature za vodu u rezervoaru, a test se odvijao u trajanju od približno 24 sata.

3. OPREMA ZA TESTIRANJE- EKSPERIMENTALNE METODE

TESTIRANJE EKOTERM GREJAČA ZA VODU

3.1.1 Oprema za testiranje

Oprema za testiranje je izgradjena zbog merenja toplotnog dejstva i toplotne efikasnosti za grejače vode u modelima Ekoterm 3F1 i 1F1. Pločasti izmenjivač toplote u grejnog telu je bio povezan sa otvorenim kružnim tokom vode koji se sastojao od gradskog snabdevanja vode, mešajući ventil (RV1) za napajanje toplom vodom (prethodno zagrevanje), električni grejač (prethodno zagrevanje), kontrolni ventil (RV1) kao i oprema za test, t.j. temperaturni senzori (T), merač zapremine protoka (V) i vatmetar (P). Senzori su bili povezani sa kompjuterskim uredjajem za automatsko registrovanje kod tipa Agilent 34970A. Slika 3.1 prikazuje princip opreme za testiranje.



Slika 3.1 Glavna skica opreme za testiranje Ekoterm grejača za vodu

3.1.2 Procedura testiranja

Procedura testa je tekla na sledeći nacin:

- Pošto je uredjaj (3F1 ili 1F1) bio obeležen po traženom toplotnom dejstvu na datom temperaturnom programu, kontrolni ventil R1, izlazna temperatura vode nastala mešanjem ventila BV1 i ulazne snage električnog grejača su bili regulisani da bi pojedinačno dali traženu temperaturu gradske vode (T_t) i temperaturnu razliku (Δt) u pločastom izmenjivaču toplote u Ekoterm uredjaju.
- Kada se sistem stabilizovao na traženim ulaznim i izlaznim temperaturama (60/40 ili 40/30°C) izlazna temperatura vode (T_t), ulazna temperatura (T_r), zapremina protoka i ulazna električna energija (P) su mereni svake 10-te sekunde u okviru vremenskog perioda od min 30 minuta. Prosečne vrednosti za vreme perioda testiranja su korišćene za izračunavanje toplotnog dejstva i toplotne efikasnosti (pogledajte jednačine u poglavljju 4.1).

3.1.3 Uslovi testiranja

Toplotne efikasnosti za Ekoterm uredjaje su merene na različitim temperaturnim vrednostima na strani za vodu (temperaturni program) i sa različitim toplotnim dejstvima. Uslovi testiranja u vezi sa ulaznim/izlaznim temperaturama vode na pločastom izmenjivaču toplote na uredjaju, odbijeno toplotno dejstvo uredjaja, kao i stopa zapremine protoka kroz izmenjivač toplote prikazani su na tabeli 3.1

EKOTERM 3F1 – max. approx 15 kW			EKOTERM 1F1 – max. approx. 7 kW	
5 kW	10 kW	15 kW	3.5 kW	7 kW
approx. 60/40°C	approx. 60/40°C	approx. 60/40°C	approx. 60/40°C	approx. 60/40°C
approx. 3.6 l/min	approx. 7.2 l/min	approx. 10.8 l/min	approx. 2.5 l/min	approx. 5.0 l/min
approx. 40/30°C	approx. 40/30°C	approx. 40/30°C	approx. 40/30°C	approx. 40/30°C
approx. 7.2 l/min	approx. 14.4 l/min	approx. 21.6 l/min	approx. 5.0 l/min	approx. 10.1 l/min

*Tabela 3.1 Matrica testa-rezultat testa kao i ulazne/izlazne temperature i stopa protoka
Na strani za vodu*

Sobna temperatura je varirala izmedju 20 i 21°C za vreme testiranja.

Ulazna/izlazna temperatura od 60/40°C za pločasti izmenjivač toplote u Ekoterm uredjaju odgovara radnoj situaciji kao kada uredjaji obezbedjuju i prostorno grejanje i grejanje vode sa česme. 40/30°C odgovara radnoj situaciji sa samo prostornim grejanjem (pod-podno grejanje). U početku, planirana situacija za testiranje bila je sa ulaznom/izlaznom temperaturom od 40/35°C, ali je promenjena na 40/30°C da bi se dobole ostvarljive stope protoka vode i da bi se povećao stepen tačnosti za temperaturna merenja.

3.1.4. Aparatura za testiranje

Standardi testiranja sa utvrđenim zahtevima za stepen tačnosti ne postoje za električne grejače za vodu. Zato, korišćeni su zahtevi za stepen tačnosti u standardima testiranja, EN14511/1/ za pumpe parnog grejanja. Tabela 3.2 pruža pregled korišćene aparature za testiranje stepen tačnosti merenja ulaznih i izlaznih temperatura vode iz pločastog izmenjivača topline i Ekoterm uredjaju, stope protoka vode kroz toplotni izmenjivač kao i ulazne električne struje u uredjaju. Senzori su bili povezani za kompjuterski uredaj za automatsko regisrovanje u tipu Agilent 34970A.

Tabela 3.2 Aparatura za testiranje korišćena za test opremu za Ekoterm grejače za vodu

Izmerena vrednost	Tip	Marka/ model	Oblast merenja	Relativni Stepen Tacnosti	Apsolutni Stepen Tacnosti
Temperatura	Pt-100	Temp.Kontrola	-260 do +100°C	*	±0.085°C
Stopa protoka	Turbina	GPI model turbine S0501 KF	3.8 do 37.9 l/min	±1% izmerene vrednosti	±0.021 do 0.216 l/min
Električna Struja	Vatmetar	Hioki spona ukljuc. model Hitester 3161 og 3166	3 do 900 kW (60 opsega)	±1% izmerene vrednosti	15 do 75 W

1) Senzori za temperaturu su označavani za merenje temperaturnih razlika pošto to povećava stepen tačnosti. Cev pre i posle senzora za vreme je bila izolovana sa 20mm celularne gume da bi se smanjio propuštanje topline.

2) Merni signal na meraču protoka vode na turbini bio je obeležen i ispravljen sredstvima preciznih merenja težine protoka vode i štopericom, tako je stvarni stepen tačnosti poboljšan u poređenju sa maksimalnom vrednošću koju je dala fabrika. Stvarni stepen tačnosti je, tako, bolji od ±1 procenat izmerene vrednosti.

3.1.5. Nepreciznosti u izmerenim vrednostima

Stepen tačnosti u izračunatim vrednostima i toplotna efikasnost za Ekoterm uređaje su izračunati po jednacina A.5 i A.7, Vidi dodatak A- Stepen Tačnosti. Tabela 3.3 pruža pregled apsolutnih i relativnih nepreciznosti i toplotnom dejstvu(Q) i toplotnoj efikasnosti (η) na različitim toplotnim dejstvima (5 i 15 kW) temperaturnim programima (60/40 i 40/30°C).

Degree of Accuracy	5 kW – 60/40°C	5 kW – 40/30°C	15 kW – 60/40°C	15 kW – 40/30°C
Absolute δQ [W]	66	99	197	296
Relative δQ [%]	±1.3	±2.0	±1.3	±2.0
Absolute $\delta \eta$ [-]	0.0173	0.0245	0.0173	0.0245
Relative $\delta \eta$ [%]	±1.7	±2.2	±1.7	±2.2

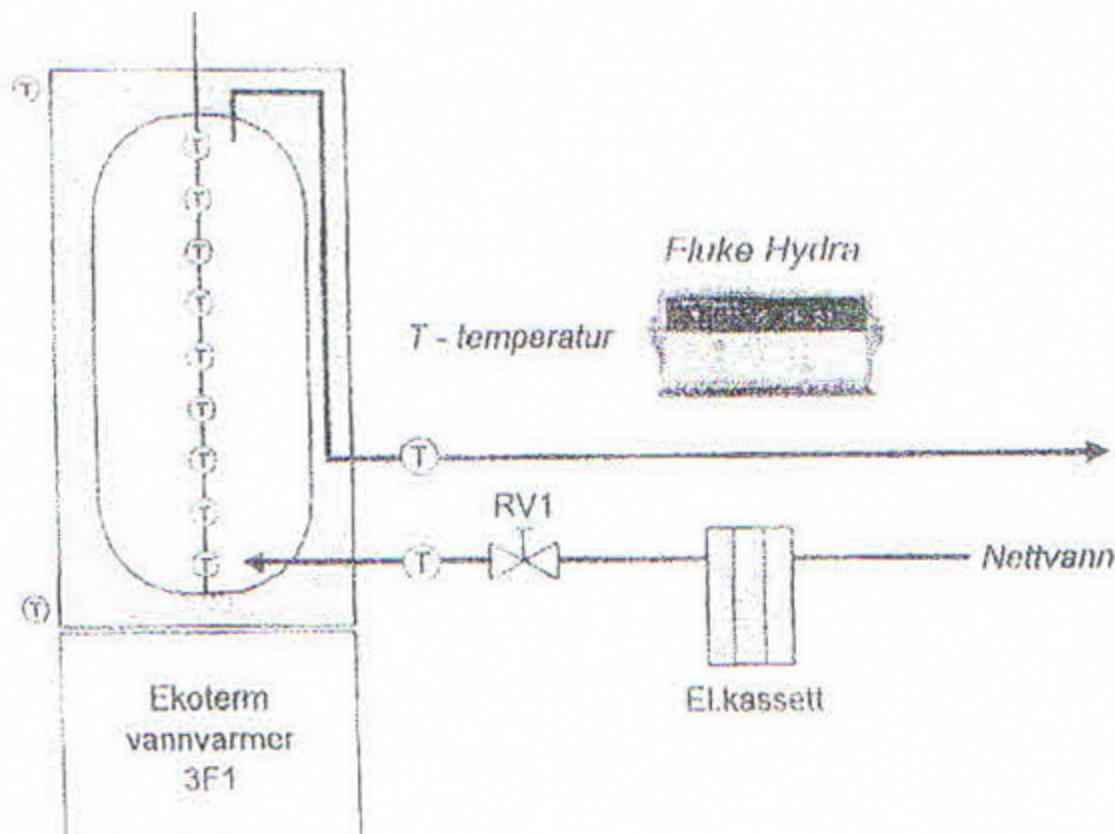
Tabela 3.3 Izračunate apsolutna nepreciznost [W] i relativna nepreciznost [%] u emisiji toplotnog dejstva (Q) i toplotne efikasnosti (η) za Ekoterm uređaje

Tabela 3.3 pokazuje da izračunat stepen tačnosti za toplotno dejstvo i toplotnu efikasnost Ekoterm uređaja u opsegu od ±1.3-2.0 procenata i ±1.7-2.2 procenata pojedinačno.

3.2. TESTIRANJE EKOTERM REZERVOARA TOPLE VODE

3.2.1. Test oprema

Test oprema je konstruisana za merenje gubitka toplote iz rezervoara za vodu od 200 litara u Ekoterm-u 3F1200V. Rezervoar tople vode je bio povezan na otvoreni kružni tok gradske vode, električni grejač (prethodno grejanje), kontrolni ventil (RV1) kao i za temperaturne senzore (T) na ulaznom i izlaznom delu rezervoara. Šipka sa 9 termospojeva (tip T) sa medjusobnim rastojanjem od približno 90 mm je postavljena u sredinu rezervoara zbog merenja temperatura vode, dok su dva termospoja korišćena za merenje temperature okолног vazduha na vrhu i dnu rezervoara. Termospojevi su bili povezani za Fluke Hydra 2625 Data logger. Slika 3.2 ilustruje princip test opreme.



Objašnjenje za sliku 3.2: Ekoterm grejač za vodu 3F1, T-temperatura, Fluke Hydra, RV1, električni grejač i gradska voda

3.2.2. Procedura testa

Procedura je tekla na sledeći nacin:

- Gradska voda je prethodno ugrejana do tražene temperature električnim grejačem, i njena cirkulacija kroz rezervoar je trajala sve dok razlika izmedju ulazne i izlazne temperature vode nije dostigla max 0.1 K.
- Vodeni tok je iskljucen, i temperatura vode u rezervoaru, kao i temperature vazduha na vrhu i dnu rezervoara, su se merile na svakih 15 min za vreme od 24 h. Pad temperature u rezervoaru je iskorišćen za izračunavanje prosečne U-vrednosti rezervoara [W/m²K].

3.2.3. Uslovi testiranja

Merenja temperature su su izvedena sa početnom temperaturom vode od oko 65°C. Ovo je tipični temperaturni nivo u rezervoarima tople vode koji se greju potapajućim električnim elementima. Prosečna temperatura vazduha bila je oko 20°C za vreme testiranja.

3.2.4. Test aparatura

Pt-100 elementi su se koristili za merenje temperatura unutar i izvan rezervoara za vreme punjenja. Po tabeli 3.2 elementi imaju stepen tačnosti ±0.085°C. Merenja temperature u rezervoaru su izvedena termospojevima Tipa T(Cu/K). Prvo, termospojevi su bili označavani u ledenoj kadi pre nego što su povezani za *Fluke Hydra2625 data logger*. Ovaj uredjaj za kompjutersko registrovanje podataka (data logger) ima veoma preciznu unutrašnju nultu tačku (Pt-100 element). U ovoj strukturi, termospojevi imaju stepen tačnosti(preciznosti) od ±0.2°C.

3.2.5. Nepreciznosti u izračunatim vrednostima

Merenja temperature su korišćena da se izračuna prosečni koeficijent prenosa toplote za rezervoar (U-vrednost) [W/m²K] i gubitka toplote [W/m²]. Pogledajte takodje poglavljje 4.2.

4. IZMERENE VREDNOSTI

4.1. TESTIRANJE EKOTERM GREJAČA ZA VODU

4.1.1 Metod izracunavanja

Prosečno toplotno dejstvo sa pločastog izmenjivača topline u Ekoterm uredjajima (W) za vreme perioda merenja (minimum 30 min- registrovanje podataka na svakih 10 sec) je izračunat na sledeći način:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} [V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_t - T_r)] \quad \text{jednačina (4.1)}$$

gde je V izmerena stopa protoka kroz pločasti izmenjivač topline [m^3/s], T_t i T_r su, pojedinačno, izmerene ulazna/izlazna temperatura za pločasti izmenjivač topline [$^\circ C$] dok su ρ i C_p , pojedinačno, gustina [kg/m^3] i toplotni kapacitet [$J/(kgK)$] za vodu na trenutnom toplotnom nivou /3/.

Efikasnost za Ekoterm uredjaje za vreme perioda testiranja (približno 30 min- registrovanje podataka na svakih 10 sec) je izračunata na sledeći način:

$$\eta = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{Q}{P} \right) \quad \text{jednačina (4.2)}$$

gde je Q toplotno dejstvo sa pločastog izmenjivača toplote [W] na datim radnim uslovima a P je ulazna električna struja [W]. Razlika izmedju ulazne električne struje i toplotnog dejstva u pločastom izmenjivaču toplote je zbog gubitaka u bojleru, neophodne ulazne snage za funkcionisanje pumpe za cirkulaciju u bojleru kao i zbog gubitaka toplote u okolini prostora uredjaja.

4.1.2. Izmeren toplotni efekat i toplotna efikasnost

Tabela 4.1 daje pregled izmerenog toplotnog dejstva i izračunate toplotne efikasnosti za Ekoterm uredjaje na varirajucim temperaturnim nivoima i toplotnim dejstvima. Vidite takodje *Dodatak B* za primere podataka testa iz serije testova (1F1, 40/30°C, pribl.3.5 kW)

EKOTERM 3F1 – max. 15 kW			EKOTERM 1F1 – max. 7 kW	
607/40.6°C $Q = 5.61 \text{ kW}$ $P = 5.76 \text{ kW}$ $\eta = 0.973$	60.1/39.8°C $Q = 10.31 \text{ kW}$ $P = 10.47 \text{ kW}$ $\eta = 0.985$	60.8/40.4°C $Q = 13.77 \text{ kW}$ $P = 14.26 \text{ kW}$ $\eta = 0.966$	60.1/40.2°C $Q = 3.57 \text{ kW}$ $P = 3.67 \text{ kW}$ $\eta = 0.973$	59.0/38.9°C $Q = 6.90 \text{ kW}$ $P = 7.03 \text{ kW}$ $\eta = 0.982$
40.2/30.6°C $Q = 4.25 \text{ kW}$ $P = 4.32 \text{ kW}$ $\eta = 0.985$	40.0/30.5°C $Q = 9.91 \text{ kW}$ $P = 10.05 \text{ kW}$ $\eta = 0.986$	39.7/30.2°C $Q = 12.55 \text{ kW}^{*)}$ $P = 12.98 \text{ kW}$ $\eta = 0.967$	40.5/30.0°C $Q = 3.07 \text{ kW}$ $P = 3.13 \text{ kW}$ $\eta = 0.981$	40.0/30.2°C $Q = 6.13 \text{ kW}$ $P = 6.22 \text{ kW}$ $\eta = 0.986$

Tabela 4.1 Prosečni nivo temperature za vreme testiranja, prosečna toplotna dejstvai (Q), prosečne vrednosti ulazne električne struje (P) i izračunata toplotna efikasnost (η) za Ekoterm uredjaje.

*)Toplotni efekat je bio nešto niži od zadatog u tablici, ali ovo nije uticalo na izmerenu toplotnu efikasnost.

4.1.3. Diskusija-zaključak

Označeni nivo toplotnog dejstva za Ekoterm uredjaje je zavisio od nivoa temperature za vreme odbijanja toplote. Npr, Ekoterm 3F1 je označen do oko 15 kW na 60/40°C ulazne/izlazne temperature za pločasti izmenjivač toplote. Pošto su nivoi temperature bili smanjeni na 40/30°C, toplotno dejstvo je smanjeno na oko 10 kW. Ova činjenica je otezala i odužila označavanje uredjaja, i toplotna snaga se nešto razlikovala od prvobitne test tablice. Ovo, pak, nije uticalo na verodostojnost rezultata testa pošto oni jasno pokazuju da je efikasnost skoro uvek konstantna na različitim toplotnim dejstvima. Počevši od tabele 4.1 uz iskustva tokom testiranja može se zaključiti sledeće:

- Toplotna efikasnost za Ekoterm 3F1 (15kW) je bila u domenu od 96.7-98.7 procenata dok je izračunata tačnost bila u domenu od 1.7-2.2 procenata.
- Toplotna efikasnost za Ekoterm 1F1 (7kW) bila je u domenu od 97.2-98.6 procenata dok je izračunata tačnost bila u domenu od 1.7-2.2 procenata.
- Nivo temperature za vreme odbijanja toplote, t.j. ulazna/izlazna temperatura za pločasti izmenjivač toplote imao je minimalni uticaj na toplotnu efikasnost Ekoterm uredjaja (u okviru nepreciznosti test aparature)
- Označeno toplotno dejstvo (3.5-7 kW i 5-15 kW) je imalo min uticaj na toplotnu efikasnost Ekoterm uredjaja (u okviru nepreciznosti test aparature)
- Temperaturni nivo na odbijanju toplote, t.j. ulazna/izlazna temperatura za pločasti izmenjivač toplote imao je veliki uticaj na označeno toplotno dejstvo.

4.2. TESTIRANJE EKOTERM REZERVOARA TOPLE VODE

4.2.1. Metod izračunavanja

Pad temperature u rezervoaru za vreme testiranja je meren sa 9 termospojeva sa medjusobnom razdaljinom od oko 90 mm. I niži i viši termospojevi su postavljeni na oko 5mm i od dna i od vrha rezervoara. Na ovaj način, bilo je moguće dati detaljnu sliku temperaturnog gradijenta (slojevitost) u rezervoaru vremenom. Ranija merenja su pokazala da je stvarni radijalni gradijent temperature u standardno izolovanom rezervoaru tople vode od 60 do 80°C manji od 0.2 K (beznačajno).

Pošto je svaki od 9 temperaturnih senzora merio temperaturu u skoro istoj zapremini vode, prosečna temperatura vode u rezervoaru je merena na sledeći način:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=9} t_i \quad \text{jednačina (4.3)}$$

Počevši od prosečne temperature vode, prosečni koeficijent prenosa toplote za rezervoar (U-vrednost) je izračunat na sledeći način:

$$U = \frac{V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (\bar{t}_{i-1} - \bar{t}_i)}{A \cdot \left[\frac{\bar{t}_{i-1} + t_i}{2} - t_R \right]} \quad \text{jednačina (4.4)}$$

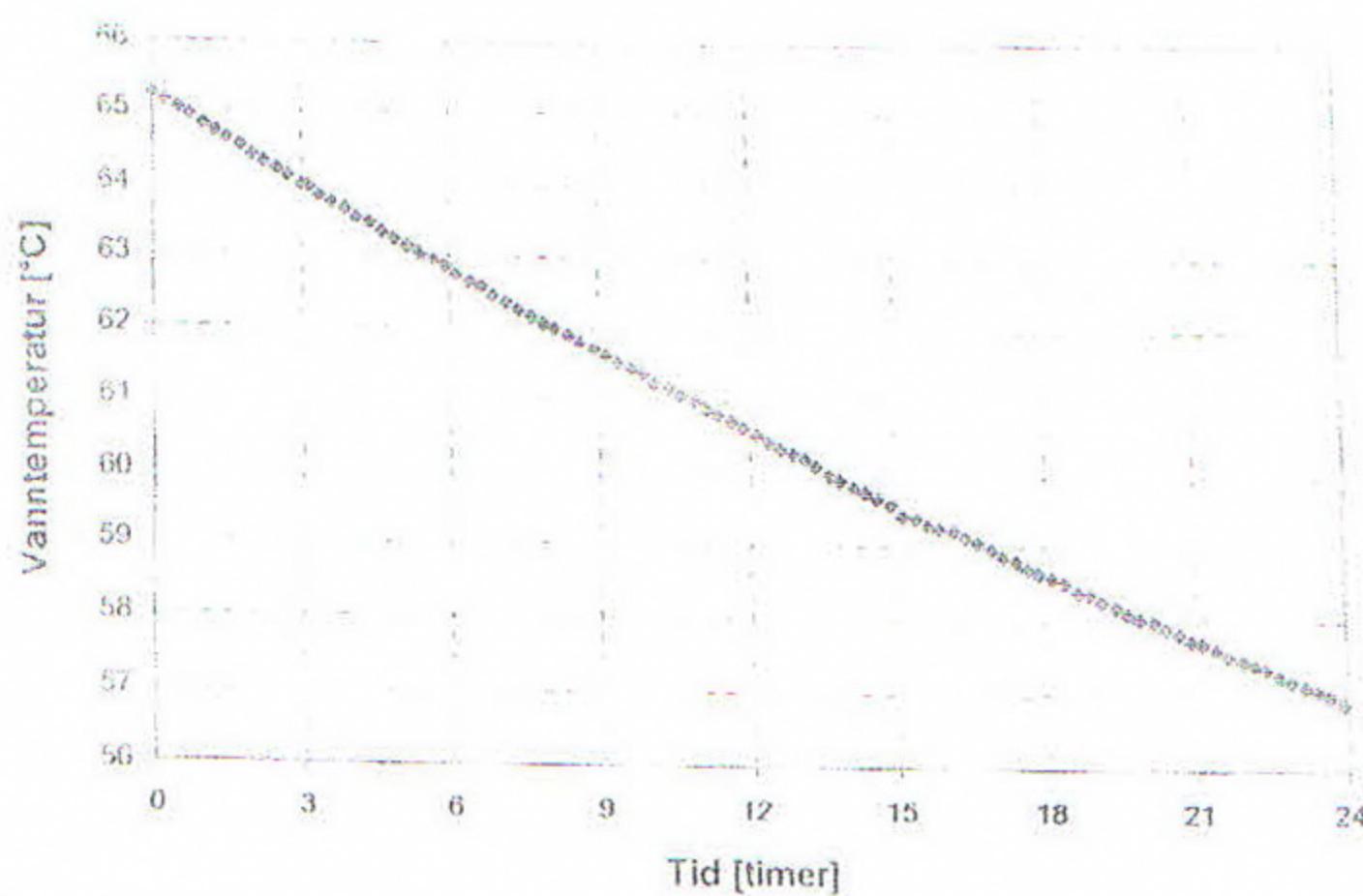
gde je U prosečni koeficijent prenosa toplote u rezervoaru [$\text{W/m}^2\text{K}$], V je ukupna zapremina vode u rezervoaru [m^3], A je spoljna površina [m^2], ρ i C_p su pojedinačno gustina [kg/m^3] i kapacitet specifične topline [J/(kgK)] za vodu na trenutnom temperaturnom nivou, T_0 (t.j. T_{i-1}) je prosečna temperatura u rezervoaru na početku [$^\circ\text{C}$], T_R je temperatura vazduha [$^\circ\text{C}$] dok je n broj koraka u računanju (96 pri merenje na svakih 15 min tokom 24 sata)

Počevši od prosečne U-vrednosti prosečni gubitak toplote kod rezervoara se može izračunati:

$$q = U \cdot (\bar{t} - \bar{t}_R) \quad \text{jednačina (4.5)}$$

4.2.2. Izmereni pad temperature

Na testu gubitka toplote kod rezervoara tople vode (3F1200V), početna temperatura vode bila je 65.2°C ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), i prosečna temperatura vazduha za vreme od 24 h testa bila je 20.3°C . Dijagram 4.1 prikazuje promenu prosečne temperature vode u rezervoaru za vreme testiranja.



Dijagram 4.1 Izmerene prosečne temperature vode u rezervoaru toplo vode na 20.3°C prosečne temperature vazduha
Objašnjenje: temperaturna voda ($^{\circ}\text{C}$), Vreme

Prosečna temperatura vode u rezervoaru tople vode je opala za oko 8.4°K za vreme testiranja, t.j. 0.35°K po satu (izračunato po jednačini 4.3). Varijacija za vreme testiranja je bila od oko 0.4 do 0.3 K po satu.

Dijagram 4.2 prikazuje temperaturni gradijent (slojevitost) u rezervoaru za vreme od 24h testiranja. 0 i 1 se podudaraju pojedinačno sa dnom i vrhom rezervoara (relativno razmeštanje senzora u rezervoaru).

U gornjem delu rezervoara ($z=0.5-1.0$), max razlika temperature posle 24h bila je oko 0.7 K , t.j. zanemarljiv temperaturni gradijent. Na dnu rezervoara ($z=0-0.5$), izmerena temperaturna razlika je bila značajno viša, oko 6.5 K . Ovo se objašnjava gubitkom topline sa dna rezervoara što je bilo mnogo više nego u ostalim delovima rezervoara zbog termalnih mostova.

6. DODATAK A - STEPEN TAČNOSTI

6.1. UVOD

R predstavlja vrednost koja je po danoj jednačini izračunata iz niza merenja gde Xi do Xn predstavlja nezavisna merenja/promenljive variable.

$$R = R(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (\text{A.1})$$

Apsolutni stepen tačnosti je δR za izračunatu vrednost R, nadjen sledećom jednačinom:

$$\delta R = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial R}{\partial X_i} \cdot \delta X_i \right)^2 \right]^{0.5} \quad (\text{A.2})$$

δX_i predstavlja nepreciznost merenja/variable X_i , dok parcijalno izvedeno $\partial R / \partial X_i$ predstavlja osetljivost rezultata R u odnosu na merenje X_i . Svaki deo jednačine ($i=1$ do n) predstavlja doprinos od svakog pojedinačnog merenja u ukupnom stepenu tačnosti (R).

Relativna nepreciznost (R) u izračunatom rezultatu se definiše kao

$$\alpha R = \left(\frac{\delta R}{R} \right) \cdot 100\% \quad (\text{A.3})$$

6.2. Nepreciznosti u odbijenom topotnom dejstvu

Topotno dejstvo za pločasti izmenjivač toplote u Ekoterm uređajima [W] je izracunat na sledeći način:

$$Q = [V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_t - t_r)] \quad (\text{A.4})$$

gde je V stopa protoka kroz pločasti izmenjivač toplote [m^3/s], T_t i T_r su pojedinačno ulazne i izlazne temperature iz pločastog izmenjivača toplote [$^\circ C$] dok su ρ i C_p pojedinačno gustina [kg/m^3] i kapacitet specifične toplote [$J/(kgK)$] za vodu na trenutnom nivou temperature.

Prema jednačini A.2, apsolutni stepen preciznosti u topotnom dejstvu se računa na sledeći način:

$$\delta Q = \left[[\rho \cdot c_p \cdot (t_t - t_r) \cdot \delta V]^2 + [2 \cdot V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \delta t]^2 \right]^{0.5} \quad (\text{A.5})$$

6.3 NEPRECIZNOST KOD TOPOTNE EFIKASNOSTI

Topotna efikasnost za Ekoterm uređaje je izračunata na sledeći način:

$$\eta = \frac{Q}{P} \quad (\text{A.5})$$

gde je Q topotni efekat za izmenjivač toplote u Ekoterm uređajima [W] a P je ulazna električna energija za uređaj, t.j. električni grejač za vodu i pumpa za cirkulaciju [W]. Prema jednačini A.2, apsolutna nepreciznost u topotnom dejstvu je izračunata na sledeći način:

$$\delta \eta = \left[\left(\frac{\delta Q}{P} \right)^2 + \left(-\frac{Q}{P^2} \cdot \delta P \right)^2 \right]^{0.5} \quad (\text{A.7})$$

DODATAK B- PRIMER TEHNIČKIH PODATAKA SA REZULTATIMA TESTA

(1F1, 40/30°C, approx. 3.5 KW)

101(Time stamp)	101(Seconds)	101(C)	102(C)	103(VDC)	104(VDC)
08.06.2005 08:45:33	4040.062	4.06E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:45:43	4050.023	4.06E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:45:53	4060.039	4.06E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:46:03	4070.055	4.06E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:46:13	4080.015	4.06E+01	3.02E+01	3.12E-01	4.71E+00
08.06.2005 08:46:23	4090.029	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:46:33	4100.043	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:46:43	4110.059	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:46:53	4120.014	4.05E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:47:03	4130.036	4.06E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:47:13	4140.054	4.05E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:47:23	4150.01	4.06E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:47:33	4160.035	4.06E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:47:43	4170.056	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:47:53	4180.011	4.06E+01	3.02E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:48:03	4190.029	4.06E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:48:13	4200.047	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:48:23	4210.059	4.06E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:48:33	4220.02	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:48:43	4230.04	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:48:53	4240.056	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:49:03	4250.012	4.05E+01	3.01E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:49:13	4260.031	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:49:23	4270.046	4.05E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:49:33	4280.057	4.05E+01	3.01E+01	3.11E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:49:43	4290.015	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:49:53	4300.029	4.05E+01	3.01E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:50:03	4310.045	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:50:13	4320.061	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:50:23	4330.017	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:50:33	4340.034	4.05E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:50:43	4350.053	4.05E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:50:53	4360.012	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:51:03	4370.027	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:51:13	4380.046	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:51:23	4390.062	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:51:33	4400.023	4.05E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:51:43	4410.04	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:51:53	4420.063	4.04E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:52:03	4430.023	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:52:13	4440.038	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:52:23	4450.057	4.04E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:52:33	4460.018	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:52:43	4470.03	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:52:53	4480.05	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:53:03	4490.063	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:53:13	4500.026	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:53:23	4510.049	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:53:33	4520.063	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:53:43	4530.02	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.67E+00
08.06.2005 08:53:53	4540.039	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.67E+00
08.06.2005 08:54:03	4550.055	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:54:13	4560.017	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:54:23	4570.036	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:54:33	4580.054	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:54:43	4590.012	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:54:53	4600.032	4.04E+01	3.01E+01	3.12E-01	4.70E+00
08.06.2005 08:55:03	4610.049	4.04E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:55:13	4620.063	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:55:23	4630.023	4.04E+01	2.99E+01	3.14E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:55:33	4640.039	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 08:55:43	4650.055	4.04E+01	2.99E+01	3.14E-01	4.67E+00

08.06.2005 08:55:53	4660.01	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.67E+00
08.06.2005 08:56:03	4670.03	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 08:56:13	4680.052	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:56:23	4690.014	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.67E+00
08.06.2005 08:56:33	4700.03	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:56:43	4710.043	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.67E+00
08.06.2005 08:56:53	4720.06	4.04E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.66E+00
08.06.2005 08:57:03	4730.019	4.04E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.66E+00
08.06.2005 08:57:13	4740.043	4.04E+01	3.02E+01	3.13E-01	4.66E+00
08.06.2005 08:57:23	4750.06	4.05E+01	3.02E+01	3.14E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:57:33	4760.02	4.06E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.64E+00
08.06.2005 08:57:43	4770.032	4.06E+01	3.02E+01	3.13E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:57:53	4780.048	4.06E+01	3.03E+01	3.14E-01	4.64E+00
08.06.2005 08:58:03	4790.01	4.07E+01	3.02E+01	3.14E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:58:13	4800.037	4.07E+01	3.03E+01	3.13E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:58:23	4810.053	4.07E+01	3.03E+01	3.12E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:58:33	4820.013	4.08E+01	3.04E+01	3.15E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:58:43	4830.029	4.08E+01	3.03E+01	3.14E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:58:53	4840.049	4.09E+01	3.03E+01	3.13E-01	4.63E+00
08.06.2005 08:59:03	4850.012	4.09E+01	3.02E+01	3.15E-01	4.61E+00
08.06.2005 08:59:13	4860.026	4.09E+01	3.03E+01	3.15E-01	4.65E+00
08.06.2005 08:59:23	4870.039	4.09E+01	3.04E+01	3.16E-01	4.64E+00
08.06.2005 08:59:33	4880.056	4.09E+01	3.03E+01	3.15E-01	4.62E+00
08.06.2005 08:59:43	4890.02	4.09E+01	3.03E+01	3.15E-01	4.64E+00
08.06.2005 08:59:53	4900.035	4.09E+01	3.04E+01	3.15E-01	4.65E+00
08.06.2005 09:00:03	4910.052	4.09E+01	3.03E+01	3.13E-01	4.64E+00
08.06.2005 09:00:13	4920.013	4.09E+01	3.03E+01	3.14E-01	4.62E+00
08.06.2005 09:00:23	4930.033	4.09E+01	3.03E+01	3.15E-01	4.63E+00
08.06.2005 09:00:33	4940.057	4.09E+01	3.03E+01	3.13E-01	4.64E+00
08.06.2005 09:00:43	4950.012	4.09E+01	3.03E+01	3.13E-01	4.63E+00
08.06.2005 09:00:53	4960.03	4.09E+01	3.04E+01	3.13E-01	4.64E+00
08.06.2005 09:01:03	4970.048	4.09E+01	3.03E+01	3.12E-01	4.65E+00
08.06.2005 09:01:13	4980.062	4.09E+01	3.03E+01	3.13E-01	4.63E+00
08.06.2005 09:01:23	4990.017	4.09E+01	3.02E+01	3.13E-01	4.64E+00
08.06.2005 09:01:33	5000.032	4.09E+01	3.02E+01	3.13E-01	4.64E+00
08.06.2005 09:01:43	5010.049	4.08E+01	3.03E+01	3.14E-01	4.64E+00
08.06.2005 09:01:53	5020.066	4.08E+01	3.02E+01	3.13E-01	4.63E+00
08.06.2005 09:02:03	5030.023	4.08E+01	3.03E+01	3.12E-01	4.65E+00
08.06.2005 09:02:13	5040.037	4.08E+01	3.02E+01	3.15E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:02:23	5050.059	4.08E+01	3.03E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:02:33	5060.021	4.07E+01	3.02E+01	3.15E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:02:43	5070.042	4.07E+01	3.02E+01	3.15E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:02:53	5080.058	4.07E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.67E+00
08.06.2005 09:03:03	5090.016	4.07E+01	3.01E+01	3.15E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:03:13	5100.034	4.07E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:03:23	5110.053	4.06E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:03:33	5120.013	4.06E+01	3.02E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:03:43	5130.029	4.06E+01	3.01E+01	3.11E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:03:53	5140.047	4.06E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:04:03	5150.061	4.06E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:04:13	5160.018	4.06E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:04:23	5170.038	4.06E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:04:33	5180.049	4.05E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:04:43	5190.01	4.05E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:04:53	5200.026	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:05:03	5210.047	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:05:13	5220.056	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:05:23	5230.018	4.05E+01	3.01E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:05:33	5240.029	4.05E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:05:43	5250.049	4.05E+01	3.01E+01	3.14E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:05:53	5260.062	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:06:03	5270.021	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.67E+00
08.06.2005 09:06:13	5280.041	4.05E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:06:23	5290.055	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.67E+00
08.06.2005 09:06:33	5300.02	4.05E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:06:43	5310.036	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:06:53	5320.054	4.04E+01	3.00E+01	3.11E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:07:03	5330.014	4.05E+01	3.00E+01	3.14E-01	4.67E+00
08.06.2005 09:07:13	5340.026	4.05E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:07:23	5350.036	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.67E+00
08.06.2005 09:07:33	5360.052	4.04E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.68E+00

08.06.2005 09:07:43	5370.015	4.05E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.66E+00
08.06.2005 09:07:53	5380.027	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:08:03	5390.043	4.04E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:08:13	5400.053	4.04E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:08:23	5410.016	4.04E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:08:33	5420.031	4.03E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:08:43	5430.045	4.03E+01	3.00E+01	3.11E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:08:53	5440.01	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:09:03	5450.024	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:09:13	5460.034	4.03E+01	2.99E+01	3.11E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:09:23	5470.052	4.03E+01	3.00E+01	3.12E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:09:33	5480.064	4.03E+01	2.99E+01	3.11E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:09:43	5490.026	4.03E+01	2.98E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:09:53	5500.04	4.04E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:10:03	5510.058	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:10:13	5520.023	4.03E+01	2.98E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:10:23	5530.035	4.03E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:10:33	5540.049	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:10:43	5550.009	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:10:53	5560.026	4.03E+01	2.98E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:11:03	5570.045	4.03E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:11:13	5580.01	4.03E+01	2.98E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:11:23	5590.024	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:11:33	5600.044	4.03E+01	2.98E+01	3.11E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:11:43	5610.06	4.03E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:11:53	5620.021	4.03E+01	2.99E+01	3.11E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:12:03	5630.039	4.03E+01	2.98E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:12:13	5640.053	4.03E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:12:23	5650.01	4.02E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:12:33	5660.029	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:12:43	5670.046	4.03E+01	2.98E+01	3.13E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:12:53	5680.063	4.03E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:13:03	5690.028	4.03E+01	2.98E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:13:13	5700.04	4.03E+01	2.98E+01	3.12E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:13:23	5710.058	4.03E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:13:33	5720.016	4.02E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:13:43	5730.031	4.02E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:13:53	5740.048	4.03E+01	2.99E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:14:03	5750.009	4.02E+01	2.98E+01	3.13E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:14:13	5760.023	4.02E+01	2.99E+01	3.12E-01	4.70E+00
08.06.2005 09:14:23	5770.037	4.02E+01	2.98E+01	3.14E-01	4.67E+00
08.06.2005 09:14:33	5780.051	4.03E+01	2.98E+01	3.12E-01	4.67E+00
08.06.2005 09:14:43	5790.008	4.02E+01	2.97E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:14:53	5800.021	4.02E+01	2.98E+01	3.13E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:15:03	5810.042	4.02E+01	2.98E+01	3.11E-01	4.68E+00
08.06.2005 09:15:13	5820.057	4.02E+01	2.97E+01	3.12E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:15:23	5830.014	4.02E+01	2.98E+01	3.10E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:15:33	5840.035	4.01E+01	2.98E+01	3.10E-01	4.69E+00
08.06.2005 09:15:43	5850.054	4.02E+01	2.98E+01	3.10E-01	4.70E+00
	30.17	4.05E+01	3.00E+01	3.13E-01	4.68E+00

ΔT
 c_p
 ρ
 m

10.466
 4.177
 994.030
 4.210

Q
 P
 η .
 0.981

Key to symbols

ΔT	Average temperature difference for water in the period [K]
c_p	Specific heat capacity for water in the actual temperature level [kJ/(kgK)]
ρ	Density for water in the actual temperature level [m^3/kg]
m	Average mass flow rate for water in the test period [kg/s] – from calibration curve to water weight
Q	Heat effect from the plate heat exchanger [kW]
P	Input electric power to the Ekoterm unit [kW]
η	Calculated thermal efficiency for the Ekoterm unit [-]